

SERGIO FORTE RAMOS FILHO

**DIMENSIONAMENTO DE MICRO GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E ESTUDO DO
SELO PROCEL EDIFICA PARA UM ESCRITÓRIO CONTÊNER INSTALADO EM
CRICIÚMA-SC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica,
da Universidade do Estado de Santa Catarina,
como requisito para obtenção do grau de Ba-
charel em Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Dr. Sérgio Vidal Garcia
Oliveira

Joinville, SC

2017

SERGIO FORTE RAMOS FILHO

**DIMENSIONAMENTO DE MICRO GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E ESTUDO DO
SELO PROCEL EDIFICA PARA UM ESCRITÓRIO CONTÊINER INSTALADO EM
CRICIÚMA-SC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora

Orientador: _____
(Prof. Dr. Sérgio Vidal Garcia Oliveira)
UDESC

Membro: _____
(Prof. Dr. Adalberto de Araújo Barreto Filho)
UDESC

Membro: _____
(Prof. Dr. Alessandro Luiz Batschauer)
UDESC

Joinville, 1º de Dezembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a realização desse trabalho.

Primeiramente agradeço a minha família, minha mãe Graziela Fátima Giacomazzo Nicoleit, meu padrasto Evânio Ramos Nicoleit, meu irmão Lucas Forte Ramos e minha namorada Ohanna Simioni Picolo Pereira, que com muito amor, carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Agradeço também aos amigos e colegas, presentes nos mais diversos momentos, e que marcaram essa trajetória, pelo incentivo e pelo apoio constante.

Por fim agradeço aqueles responsáveis pela minha formação, aos professores que me acompanharam durante a graduação, em especial ao meu professor orientador Sérgio Vidal Garcia Oliveira que teve paciência e sempre esteve presente para que fosse possível a realização deste trabalho.

“Agir, eis a inteligência verdadeira. Serei o que quiser. Mas tenho que querer o que for. O êxito está em ter êxito, e não em ter condições de êxito. Condições de palácio tem qualquer terra larga, mas onde estará o palácio se não o fizerem ali?”
(Fernando Pessoa)

RESUMO

O crescimento constante de demanda de energia é uma realidade da humanidade, e isto acabou gerando uma dependência por fontes de energia tradicionais, prejudiciais ao equilíbrio ecológico do planeta, insustentáveis. Visando um pensamento mais sustentável, este trabalho trata do estudo da geração de energia elétrica fotovoltaica, e estuda a viabilidade através de dimensionamentos com base teórica para, neste caso, utilizar a fonte de energia solar em um escritório contêiner localizado em Criciúma-SC. O escritório contêiner foi escolhido por também representar a sustentabilidade, com a característica de reutilização refletida no mesmo. É dimensionado um sistema de cerca de 2 kWp para suprir integralmente a energia consumida pelo escritório, seguindo as regras e modelos de compensação da legislação brasileira e da distribuidora de energia local, CELESC. O trabalho também contém um orçamento do sistema dimensionado, assim como uma avaliação de viabilidade econômica do mesmo, que se mostra favorável, de acordo com o trabalho, provendo um retorno financeiro, em três cenários apresentados, entre oito e onze anos. Paralelamente, são apresentados selos relacionados à eficiência do projeto, o Selo PROCEL Edifica, que avalia a eficiência energética de edificações, e o Selo Solar, que garante o selo para consumidores de energia proveniente de sistemas de geração fotovoltaicos para uma potência mínima.

Palavras-chave: Geração de Energia. Geração Distribuída. Energia Solar. Contêiner.

ABSTRACT

The constant growth of energy demand is a human reality, and this has led to a dependence on traditional sources of energy, that is unsustainable and harmful to the ecological balance of Earth. Aiming at a more sustainable thinking, this paper deals with the study of the photovoltaic electric energy generation and studies the viability through theoretical-based sizing to use the solar energy source in a container office located in Criciúma-SC. The container office was chosen because it also represents sustainability because it is a way to reuse materials. A system of approximately 2 kWp is designed to fully supply the energy consumed by the office, following the rules and compensation models of the Brazilian legislation and CELESC, which is the local energy distributor. The work also contains a budget of the photovoltaic system, as well as an evaluation of the economic viability of the same, which is favorable according to the work, providing a financial return between eight and eleven years in three different scenarios presented. Besides that, some stamps certifications related to the efficiency of the project are presented, the PROCEL Edifica Seal, which evaluates the energy efficiency of buildings, and the Solar Seal, which guarantees the seal for consumers of energy from photovoltaic generation systems of a minimum power size.

Keywords: Energy Generation. Distributed Generation. Solar Energy. Container Office.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - 10 países com maior capacidade instalada anual de geração FV (Esquerda) e com maior capacidade acumulada instalada de geração FV em 2016 (Direita).....	25
Figura 2 - Composição do espectro da radiação solar	29
Figura 3 - Mapa mundial de irradiação solar em média anual – 1990 a 2004	31
Figura 4 - Radiação solar global diária - média anual típica (Wh/m ² .dia)	32
Figura 5 - Linha do zênite e ângulo zenital	33
Figura 6 - Efeito da inclinação α na captação de energia	34
Figura 7 - Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol.....	35
Figura 8 - Ângulos azimutal, zenital e da altura solar	37
Figura 9 - Ângulo de inclinação do módulo e ângulo de incidência dos raios solares.....	38
Figura 10 - Equação para classificação geral do edifício	42
Figura 11 - Potência nominal mínima conforme grupo tarifário.....	47
Figura 12 - Organização e componentes de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica.....	49
Figura 13 - Símbolo elétrico de um módulo fotovoltaico	50
Figura 14 - Componentes de um módulo fotovoltaico	50
Figura 15 - Diagrama com a ligação de diodos de desvio nos módulos FV	52
Figura 16 - DPS	54
Figura 17 - Disjuntores	55
Figura 18 - Representação do Sistema de Compensação de Créditos.....	59
Figura 19 - Requerimento de solicitação de acesso para micro geração distribuída com potência igual ou inferior a 10 kW.....	67
Figura 20 - Fluxograma para viabilização do acesso disponibilizado pela Celesc	69
Figura 21 - Irradiação global horizontal diária mensal do local do contêiner.....	76
Figura 22 - Tela inicial do programa Radasol 2	77
Figura 23 - Curva de carga típica da classe comercial	80
Figura 24 - Dimensões contêiner de 40 pés.....	82
Figura 25 - Módulo FV da GCL modelo P6/72	85
Figura 26 - Curvas de tensão em corrente de acordo com a irradiância.....	86

Figura 27 – Curva de desempenho dos módulos.....	87
Figura 28 - Inversor Fronius Galvo 2.0-1.....	91
Figura 29 - String box ecoSolys - CC.....	95
Figura 30 - Diagrama elétrico do sistema.....	98
Figura 31 - Representação visual do sistema instalado.....	99
Figura 32 - Falhas dos sistemas do programa alemão 1.000 telhados.....	100
Figura 33 - Verificações típicas de sistemas de micro geração conectados a rede.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Empreendimentos em operação no Brasil.....	27
Tabela 2 - Legenda dos tipos da tabela 1, 3 e 4.....	27
Tabela 3 - Empreendimentos em Construção.....	28
Tabela 4 - Empreendimentos com Construção não iniciada	28
Tabela 5 - Escolha do ângulo de inclinação	34
Tabela 6 - Densidade de potência de iluminação por níveis para escritório	43
Tabela 7 - Notas estimadas Selo PROCEL Edifica.....	45
Tabela 8 - Níveis de tensão considerados para conexão de centrais geradoras.....	62
Tabela 9 - Requisitos mínimos de proteção para acesso ao sistema de distribuição.....	63
Tabela 10 - Grupo A – Classificação dos Subgrupos.....	70
Tabela 11 - Grupo B – Classificação dos Subgrupos	70
Tabela 12 - Horária verde.....	71
Tabela 13 - Horária azul	72
Tabela 14 - Histórico de consumo de energia elétrica mensal	79
Tabela 15 - Descrições Técnicas do Módulo Fotovoltaico	85
Tabela 16 - Características de entrada do inversor Fronius Galvo 2.0-1	90
Tabela 17 - Características de saída do inversor Fronius Galvo 2.0-1	90
Tabela 18 - Informações físicas e de proteção do inversor Fronius Galvo 2.0-1	90
Tabela 19 - Orçamento do sistema dimensionado.....	103
Tabela 20 - Variáveis financeiras aplicadas	105
Tabela 21 - Fluxo de caixa sem projeto.....	105
Tabela 22 - VPL por taxa de aumento da energia	107
Tabela 23 - TIR por taxa de aumento da energia	108
Tabela 24 - Resultados do retorno financeiro.....	108

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no mundo	24
Gráfico 2 - Os 10 maiores PIBs em trilhões de dólares	25
Gráfico 3 - Participação da demanda de energia FV por País	26
Gráfico 4 - Irradiação média diária por mês, desvio azimutal 0° e inclinação de 43°	78
Gráfico 5 - Irradiação média horária mensal, desvio azimutal 0° e inclinação de 43°	78
Gráfico 6 - Consumo de energia elétrica nos dias úteis	81
Gráfico 7 - Consumo de energia elétrica nos domingos.....	81
Gráfico 8 - Geração de energia média diária por hora	96
Gráfico 9 - Geração e consumo de energia média por hora de segunda a sábado.....	96
Gráfico 10 - Geração e consumo de energia média por hora aos domingos	97
Gráfico 11 - Fluxo de caixa incremental por ano	105
Gráfico 12 - Retorno financeiro.....	106

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
BIG	Banco de Informações de Geração
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas
COP	<i>Coefficient of Performance</i> (Coeficiente de Performance)
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CPF	Cadastro Nacional de Pessoa Física
CREA-SC	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
FV	Fotovoltaica
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Prestação de Serviços
IDEAL	Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas da América Latina
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LABSOL	Laboratório de Energia Solar
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PIS	Programa de Integração Social
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SONDA	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais

SWERA *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (Avaliação de recursos de energia solar e eólica)

UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNIDADES DE MEDIDA

A	ampere
g	gramas
G	giga
h	Hora
Hz	hertz
k	quilo
M	mega
m	metro
m ²	metro quadrado
mm	milímetro
mm ²	milímetro quadrado
°C	grau Celsius
R\$	Real (moeda)
V	tensão elétrica
VA	Volt-Ampere
W	watt
W/W	Consumo elétrico nominal
Wh	watt-hora
Wp	watt pico
Ω	ohm

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
CA	Corrente alternada	A
CC	Corrente contínua	A
d	Distância total do condutor, considerando o trecho de retorno	m
DP_{FV}	Degradação anual dos módulos	%
E	Consumo diário médio anual da edificação	Wh/dia
$E_{mês}$	Consumo mensal médio anual da edificação	Wh
FDI	Fator de dimensionamento do inversor	-
H_{med}	Irradiação média diária anual	kWh/m ² /dia
$HSPMA$	Média diária anual das Horas de Sol Pleno no plano do painel FV	h
I	Corrente elétrica	A
$I_{corrigida}$	Corrente corrigida pelo coeficiente de temperatura	A
I_{FV}	Corrente de saída dos módulos FV	A
NP -	Número de módulos fotovoltaicos	-
NP_{FV}	Potência de pico do painel levando em conta a degradação dos módulos	Wp
P_{FV}	Potência de pico do painel	Wp
PI	Potência individual do painel	kWp
P_{nca}	Potência nominal em corrente alternada do inversor	W
TD	Taxa de desempenho	-
α	Ângulo de inclinação recomendado	°
β	Incidência do raio solar	°
δ	Declinação solar	°
ΔV	Queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado	V
P	Resistividade do material do condutor (cobre)	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
1.1	MOTIVAÇÕES PARA O TRABALHO.....	20
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	21
2	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	23
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO.....	23
2.2	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	26
2.3	CONCEITOS BÁSICOS.....	29
2.3.1	Radiação.....	29
2.3.2	Irradiação.....	30
2.3.3	Insolação.....	31
2.3.4	Massas de ar.....	32
2.3.5	Orientação dos módulos.....	34
2.3.6	Ângulo azimutal.....	35
2.3.7	Movimentos da Terra.....	35
2.3.8	Declinação solar.....	36
2.3.9	Altura solar.....	36
2.3.10	Ângulo de incidência.....	37
3	PROCEL EDIFICA.....	39
3.1	CERTIFICAÇÃO E ETIQUETAGEM.....	39
3.2	PRÉ-REQUISITOS GERAIS.....	40
3.2.1	Circuitos elétricos.....	41
3.2.2	Aquecimento de água.....	41
3.3	BONIFICAÇÕES.....	41
3.4	PONTUAÇÃO.....	42

3.4.1	Envoltória	42
3.4.2	Sistema de iluminação	43
3.4.3	Condicionamento de ar	44
3.5	CERTIFICAÇÃO DE UM ESCRITÓRIO CONTÊINER	44
3.6	SELO SOLAR	46
4	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	48
4.1	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS (OFF-GRID)	48
4.2	SISTEMA CONECTADOS À REDE ELÉTRICA (GRID-TIE).....	48
4.3	COMPONENTES DE UM SISTEMA GRID-TIE.....	49
4.3.1	Módulo, placa ou painel fotovoltaicos	49
4.3.2	Associação dos módulos	51
4.3.2.1	<i>Conexão em série</i>	51
4.3.2.2	<i>Conexão em paralelo</i>	52
4.3.2.3	<i>Efeitos de sombreamento</i>	52
4.3.2.4	<i>Diodo de desvio (by-pass)</i>	52
4.3.2.5	<i>Diodo de bloqueio</i>	53
4.3.2.6	<i>Fusíveis de proteção da série fotovoltaica</i>	53
4.3.3	Inversor	53
4.3.4	Proteção	54
4.3.4.1	<i>Dispositivo de Proteção Contra Surtos</i>	54
4.3.4.2	<i>Dispositivo de Seccionamento Visível</i>	55
4.3.4.3	<i>Disjuntores</i>	55
4.3.4.4	<i>String Box</i>	56
4.3.4.5	<i>Aterramento</i>	56
4.3.4.6	<i>SPDA</i>	56

5	LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	57
5.1	RESOLUÇÕES NORMATIVAS ANEEL Nº 482 E Nº 687	57
5.2	IMPACTOS DA RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 687.....	60
5.3	PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL – PRODIST	61
5.3.1	Módulo 3 do PRODIST	62
5.4	REGRAS E PROCEDIMENTOS DA DISTRIBUIDORA LOCAL – CELESC.....	64
5.4.1	Manual de procedimentos da Celesc	64
5.4.2	Sistema de tarifação	70
5.4.2.1	<i>Grupos A e B.....</i>	70
5.4.2.2	<i>Modalidades tarifárias</i>	71
5.4.3	Taxação	72
5.4.4	Sistema de compensação da Celesc	73
6	ESTUDO DE CASO	74
6.1	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	74
6.1.1	Avaliação do recurso solar	74
6.1.1.1	<i>Irradiância global horizontal</i>	76
6.1.1.2	<i>Irradiância total inclinada.....</i>	76
6.1.2	Parâmetros de consumo	79
6.1.2.1	<i>Consumo médio mensal</i>	79
6.1.2.2	<i>Consumo padrão (dias úteis).....</i>	79
6.1.2.3	<i>Consumo padrão (Domingo)</i>	80
6.1.3	Avaliação do espaço físico	81
6.1.4	Módulo fotovoltaico	82
6.1.4.1	<i>Cálculo de potência</i>	83

6.1.4.2	<i>Escolha do módulo</i>	84
6.1.4.3	<i>Quantidade de módulos</i>	87
6.1.4.4	<i>Área ocupada pelos módulos</i>	88
6.1.5	Inversor	88
6.1.5.1	<i>Fator de dimensionamento de inversores</i>	88
6.1.6	Condutores	91
6.1.6.1	<i>Módulos ao inversor</i>	91
6.1.6.2	<i>Ligação do inversor ao quadro de distribuição</i>	93
6.1.7	Dispositivo de seccionamento visível	94
6.1.8	String Box CC e CA	94
6.1.9	Estimativa de geração	95
6.1.10	Comparação entre geração e consumo	96
6.2	DIAGRAMA ELÉTRICO	97
6.3	REPRESENTAÇÃO VISUAL DO SISTEMA INSTALADO	98
6.4	INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FV	99
6.5	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	101
6.6	VIABILIDADE ECONÔMICA	102
6.6.1	Orçamento	103
6.6.2	Custo da taxa mínima mensal	103
6.6.3	Fluxo de caixa líquido incremental	104
6.6.4	Valor Presente Líquido (VPL)	106
6.6.5	Taxa Interna de Retorno (TIR)	107
6.6.6	Resultados do retorno financeiro	108
7	CONCLUSÃO	109
7.1	SELOS	109

7.2	ESTUDO.....	109
7.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	110
8	REFERÊNCIAS.....	112

1 INTRODUÇÃO

O aumento constante de demanda de energia é uma realidade humana e isto acabou gerando uma dependência por fontes de energia tradicionais, que são prejudiciais ao equilíbrio ecológico do planeta, o que é insustentável, portanto, há uma preocupação crescente com a sustentabilidade.

Tendo em vista menor impacto ao meio ambiente, uma procura para diversificar as matrizes energéticas é gerada, o que acaba por impulsionar globalmente a utilização de fontes renováveis para geração de energia, e a energia solar é uma delas. Sendo assim, o trabalho apresenta uma forma de aproveitar e fazer parte de toda essa transformação, elaborando e analisando a viabilidade de um projeto de micro geração fotovoltaica para um escritório ‘contêiner’¹, instalado em Criciúma, no sul do estado de Santa Catarina. Optou-se por trabalhar a construção em contêiner, por ser um conceito de arquitetura sustentável, alinhando-se a esse projeto a busca de soluções com menor impacto ambiental e ser uma tendência contemporânea em moradias, escritórios e outros. Além disso, é apresentado um estudo do Selo Procel Edifica, explicando o programa e também analisando a potencialidade de classificação do escritório, citado anteriormente, levando em conta o projeto de geração de energia fotovoltaica a ser implementado em contêineres.

1.1 MOTIVAÇÕES PARA O TRABALHO

O potencial brasileiro para geração de energia elétrica solar é alto, os níveis de irradiação solar, conceito que será apresentado mais a frente, conseguem ser maiores do que em países onde a energia solar já é muito mais utilizada, como na Alemanha [1]. A melhor taxa de irradiação solar na Alemanha, que é fundamental para a geração de energia solar fotovoltaica, é de 3.500 Wh/m² (watt-hora por metro quadrado), enquanto no Brasil as taxas variam entre 4.500 Wh/m² e 6.000 Wh/m². Além disso, os avanços tecnológicos, a busca por outras opções de energia e a

-
- ¹ Contêineres marítimos em desuso além de aproveitar material nobre descartado, o uso de contêiner gera economia de recursos naturais que não foram utilizados para a estrutura da casa, como areia, tijolo, cimento, água, ferro etc. Isso significa uma obra mais limpa, com redução de entulho e de outros materiais. Fonte: <http://wwwo.metallica.com.br/container-city-um-novo-conceito-em-arquitetura-sustentavel>.

utilização em larga escala acabam, por consequência, reduzindo os custos e aumentando a competitividade da maioria das fontes renováveis.

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) divulgou a Resolução Normativa número 482, que viabilizou a geração distribuída de pequeno porte no Brasil, permitindo que instalações, como a que será projetada neste trabalho, fossem instaladas, criando enormes oportunidades.

O fato de estar realizando o projeto para um escritório contêiner também é fundamental, pois reflete outra característica da sustentabilidade, que é a reutilização.

Por fim, o desenvolvimento e o crescimento sustentável são necessidades atuais, são cada vez mais pessoas e mais consumo, e é extremamente necessário que os recursos sejam melhores aproveitados e poupados. Certificações e Selos como o Procel Edifica, que será apresentado neste trabalho, incentiva a construção e a adaptação de edificações mais sustentáveis, e no contexto macro deste cenário, a energia solar e a geração distribuída podem atuar como protagonistas, e serem parte fundamental de um futuro mais sustentável.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado a partir da sua introdução, que apresenta a relevância da temática e as motivações iniciais, a partir do contexto da geração de energia, onde é desenvolvido esse estudo. O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre a Energia Solar Fotovoltaica (FV), trazendo dados e informações sobre sua utilização no Mundo e no Brasil, após isto alguns conceitos básicos sobre a mesma. No Capítulo 3 há um detalhamento sobre o Selo de Certificação Procel Edifica e seus pré-requisitos, e a apresentação de outro selo, o Selo Solar. Já o Capítulo 4 aborda os Sistemas Fotovoltaicos, comentando sobre os tipos de sistemas e seus elementos, indo mais à fundo nos sistemas conectados à rede, como o que será dimensionado posteriormente. Em sequência o capítulo 5 discute a legislação brasileira quanto à geração distribuída e fotovoltaica, desde um nível governamental até as distribuidoras de energia. Enfim, no capítulo 6, o dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede de energia elétrica para

um escritório container é apresentado, assim como uma análise de viabilidade financeira do negócio. Os principais resultados do trabalho são discutidos novamente na sua conclusão.

2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A vida no Planeta Terra depende diretamente do Sol, tanto como fonte de calor quanto para permitir a fotossíntese, que inicia a maior parte das cadeias alimentares no nosso Planeta, além de permitir a conversão do gás carbônico em oxigênio, outro componente vital para os humanos e a maioria dos seres vivos.

Além de todos estes benefícios, ainda pode-se obter eletricidade convertida diretamente da luz solar e sua radiação (Efeito Fotovoltaico), através de um dispositivo fabricado com material semicondutor, a célula fotovoltaica. Existem outras formas de se obter energia do Sol, como o Sistema Termosolar, que obtém energia através do calor, porém, este trabalho é voltado para o Sistema Fotovoltaico.

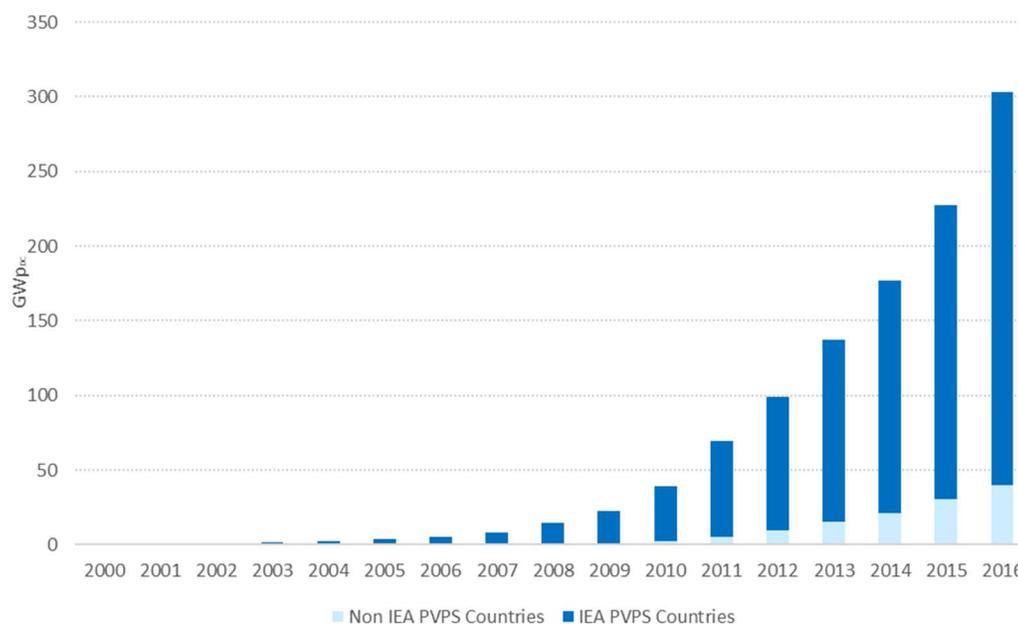
A célula fotovoltaica permite que através da captação direta da luz solar seja possível produzir corrente elétrica e, esta energia, pode ser armazenada em baterias ou aproveitada em sistemas conectados à rede elétrica [2]. Sua instalação pode ser empregada nos locais de consumo, como nos telhados das residências, e também na construção de usinas para gerar eletricidade. Diante dessa possibilidade, que é uma característica extraordinária, no próximo tópico é visto como está o desempenho deste tipo de energia no Brasil e ao redor do Mundo.

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO

Mundialmente, o mercado de energia fotovoltaico vem crescendo de forma exponencial, tendo atingido em 2016, segundo a International Energy Agency (IEA), a capacidade total instalada de mais de 300 GWp, apresentado na Gráfico 1.

Comparada ao ano anterior, 2015, a capacidade total instalada cresceu cerca de 75 GWp, ou seja, um aumento de aproximadamente 33% em apenas um ano.

Gráfico 1 - Evolução da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no mundo



Fonte: [3].

Dentro desta evolução, no ano de 2016, a China foi o país que mais aumentou sua capacidade instalada de geração de energia solar fotovoltaica, um aumento de 34,5 GW em apenas um ano, o que tornou o país líder em capacidade acumulada instalada, com 78,1 GW. Seguida por Japão (42,8 GW), Alemanha (41,2 GW) e Estados Unidos (40,3 GW), como pode-se ver na Figura 1.

Coincidentemente os 8 primeiros países em capacidade acumulada instalada de geração fotovoltaica são, em ordem diferente, os 8 países com as maiores economias do mundo, Estados Unidos, China, Japão, Alemanha, Reino Unido, França, Índia e Itália.

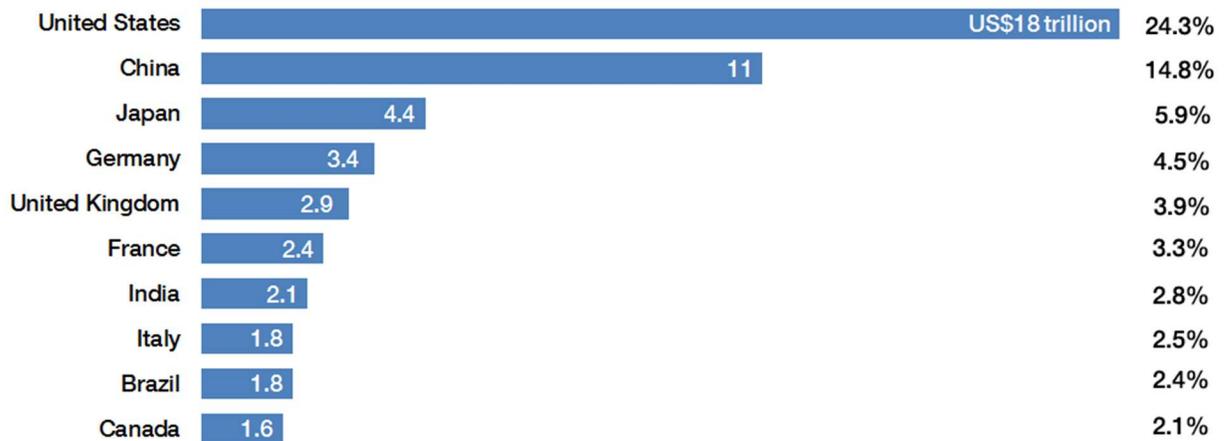
Isso demonstra que há um grande interesse econômico e político em torno da energia solar fotovoltaica. A disputa pelas fontes de energia é algo constante na história da humanidade, e foi muito marcado também pelas disputas por fontes fósseis de energia, e parece que a tecnologia de energia solar FV atingiu uma maturidade e eficiência que faz com que os países mais ricos do mundo façam altos investimentos nesta, conforme a Gráfico 2.

Figura 1 - 10 países com maior capacidade instalada anual de geração FV (Esquerda) e com maior capacidade acumulada instalada de geração FV em 2016 (Direita)

TOP 10 COUNTRIES IN 2016 FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY				TOP 10 COUNTRIES IN 2016 FOR CUMULATIVE INSTALLED CAPACITY			
1		China	34,5 GW	1		China	78,1 GW
2		USA	14,7 GW	2		Japan	42,8 GW
3		Japan	8,6 GW	3		Germany	41,2 GW
4		India	4 GW	4		USA	40,3 GW
5		UK	2 GW	5		Italy	19,3 GW
6		Germany	1,5 GW	6		UK	11,6 GW
7		Korea	0,9 GW	7		India	9 GW
8		Australia	0,8 GW	8		France	7,1 GW
9		Philippines	0,8 GW	9		Australia	5,9 GW
10		Chile	0,7 GW	10		Spain	5,5 GW

Fonte: [4].

Gráfico 2 - Os 10 maiores PIBs em trilhões de dólares



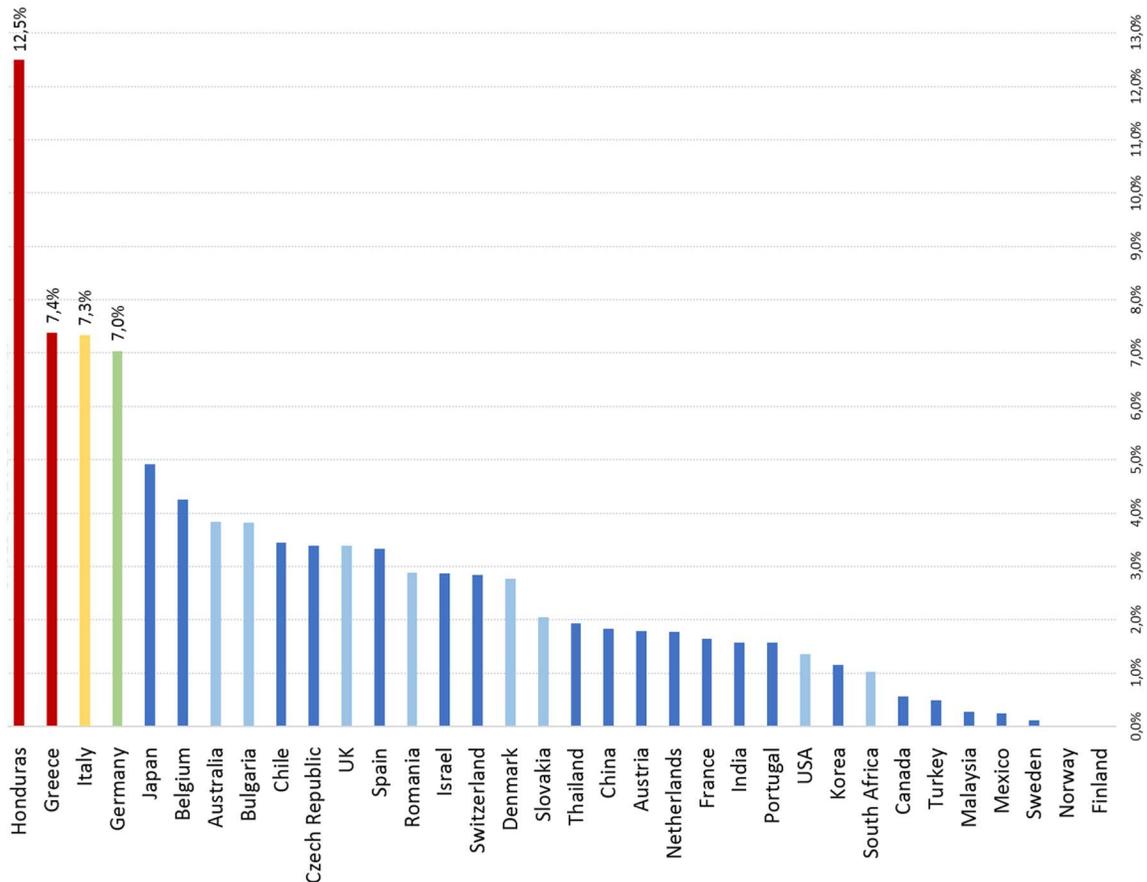
Fonte: [5].

Considerando a participação da fonte solar na matriz energética de um país, o Gráfico 3 indica a demanda percentual que a energia solar FV representa da demanda total do país por eletricidade.

Nota-se que dos 10 países com maior capacidade instalada de geração FV, apenas Alemanha e Itália apresentam participação da demanda maior do que 5%, sendo que o Japão fica bem próximo deste valor. Também pode-se perceber que, apesar de serem os líderes em capacidade

instalada no ano de 2015, China e Estados Unidos possuem menos de 2% de sua demanda total do país por eletricidade fotovoltaica.

Gráfico 3 - Participação da demanda de energia FV por País



Fonte: [6].

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

Apesar das condições naturais favoráveis para o desenvolvimento da fonte solar de energia a utilização no Brasil é baixa. O país possui níveis de insolação altos e matéria prima, como o quartzo, em grande volume e qualidade para produzir silício com alta pureza, que poderia ser utilizado na produção das células fotovoltaicas, dando uma vantagem competitiva para o país [7].

No Brasil, conforme o Banco de Informações de Geração (BIG), em maio de 2017, a capacidade instalada total de geração de energia elétrica solar FV atingiu 69 MW, representando 0,02% da Potência Instalada Total no Brasil, como pode se ver na Tabela 3.

Tabela 1 - Empreendimentos em operação no Brasil

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	609	530.919	532.920	0,35
EOL	424	10.393.738	10.393.742	6,83
PCH	436	4.989.487	4.978.243	3,27
UFV	44	27.761	23.761	0,02
UHE	219	101.138.278	93.216.340	61,24
UTE	2.947	42.842.034	41.073.879	26,99
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,31
Total	4.681	161.912.217	152.208.885	100

Fonte: [8].

Tabela 2 - Legenda dos tipos da tabela 1, 3 e 4

Legenda	
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CGU	Central Geradora Undielétrica
EOL	Central Geradora Eólica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
UTN	Usina Termonuclear

Fonte: [9].

Como apresentado, observa-se que a presença da energia solar fotovoltaica no Brasil ainda é muito pequena. No ano de 2012, a energia solar ainda era empregada principalmente em pequenos sistemas isolados ou autônomos, instalados em locais não atendidos pela rede elétrica, em regiões de difícil acesso ou onde a instalação de linhas de distribuição de energia elétrica não era economicamente viável. Por exemplo, através do programa Luz Para Todos, criado em 2003 e prorrogado até 2018, muitas residências brasileiras começaram a ter eletricidade graças aos sistemas fotovoltaicos autônomos, nas condições descritas anteriormente. [10]

Portanto, tradicionalmente, no Brasil, os sistemas fotovoltaicos foram utilizados para eletrificar propriedades rurais, comunidades isoladas, bombeamento de água, centrais remotas de telecomunicações e sistemas de sinalização, mas isso está mudando. Em 2012, os autores previam que, mesmo que os sistemas isolados de energia solar fotovoltaica fossem uma importante alternativa para a geração de eletricidade em locais que não possuem rede elétrica, o uso da mesma seria em breve concentrado nos sistemas conectados à rede elétrica.

A expectativa de crescimento da geração distribuída aumentou principalmente porque no dia 17 de abril de 2012, a ANEEL divulgou a Resolução Normativa número 482, na qual foram estabelecidos os parâmetros de regulação para a micro geração (até 75 kW) e a mini geração (entre 75 kW e 5 MW) de energia elétrica por sistemas particulares ligados à rede de distribuição, a partir deste dia a geração distribuída de pequeno porte no Brasil era viabilizada. [10]

Alguns parâmetros foram decisivos para a criação dessa nova configuração de produção de energia, foi permitido a produção de energia a partir de unidades consumidoras e a transmissão do excedente energético para a rede pública através de um sistema simples de compensação.

Com isso o potencial imenso de exploração dessa energia pode começar a ser utilizado em micro e minissistemas de geração distribuída, além dos parques de geração que funcionam como grandes usinas de eletricidade. Existem 37 empreendimentos para geração de energia fotovoltaica no Brasil, totalizando uma potência de mais de 1 GW, e outros 74 empreendimentos não iniciados, com cerca de 2 GW previstos de potência, ou seja, 111 empreendimentos que em breve irão contribuir com mais 3 GW de energia solar fotovoltaica ao nosso sistema, 126 vezes mais potência do que se tem atualmente. Os valores podem ser acompanhados nas Tabela 3 e

Tabela 4.

Tabela 3 - Empreendimentos em Construção

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
CGH	3	4.048	0,04
EOL	162	3.795.500	33,12
PCH	29	374.791	3,27
UFV	37	1.063.400	9,28
UHE	6	1.922.100	16,77
UTE	31	2.950.506	25,75
UTN	1	1.350.000	11,78
Total	269	11.460.345	100

Fonte: [11].

Tabela 4 - Empreendimentos com Construção não iniciada

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
CGH	40	31.881	0,24
CGU	1	50	0
EOL	167	3.800.450	29,04
PCH	125	1.627.750	12,44
UFV	74	1.916.997	14,65
UHE	8	731.540	5,59
UTE	133	4.978.589	38,04
Total	548	13.087.257	100

Fonte: [12].

2.3 CONCEITOS BÁSICOS DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

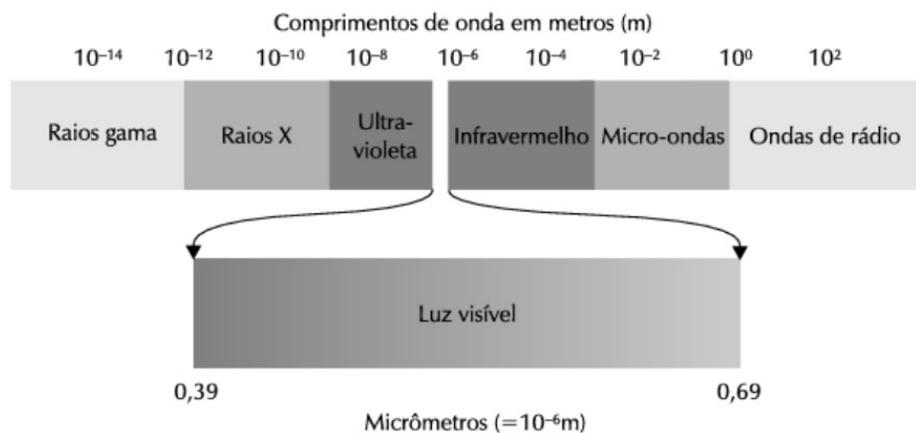
A geração de energia elétrica através do Sol possui características únicas, e toda a dinâmica entre o Sol e a Terra e suas propriedades naturais, são totalmente relevantes neste processo de geração. Portanto, alguns conceitos são necessários para se projetar um sistema fotovoltaico.

2.3.1 Radiação

A transmissão de energia do Sol é feita pelo espaço na forma de radiação eletromagnética, composta por diversas ondas eletromagnéticas com diferentes frequências e comprimentos de onda [13]. Todas estas frequências de ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol são chamadas de Espectro de Radiação Solar, todo este espectro de radiação transporta energia que pode ser captada em forma de calor ou energia elétrica, a Figura 2 demonstra a composição do espectro solar.

A partir destas ondas eletromagnéticas há dois casos, primeiramente a captação do calor solar, que é a transformação das ondas em energia térmica pela absorção de radiação por certos corpos e materiais. Por segundo, existe o caso onde as ondas eletromagnéticas incidem sobre determinados materiais que, ao invés de transmitir calor, conseguem gerar alterações nas propriedades elétricas ou originar tensões e correntes elétricas.

Figura 2 - Composição do espectro da radiação solar



Fonte: [14].

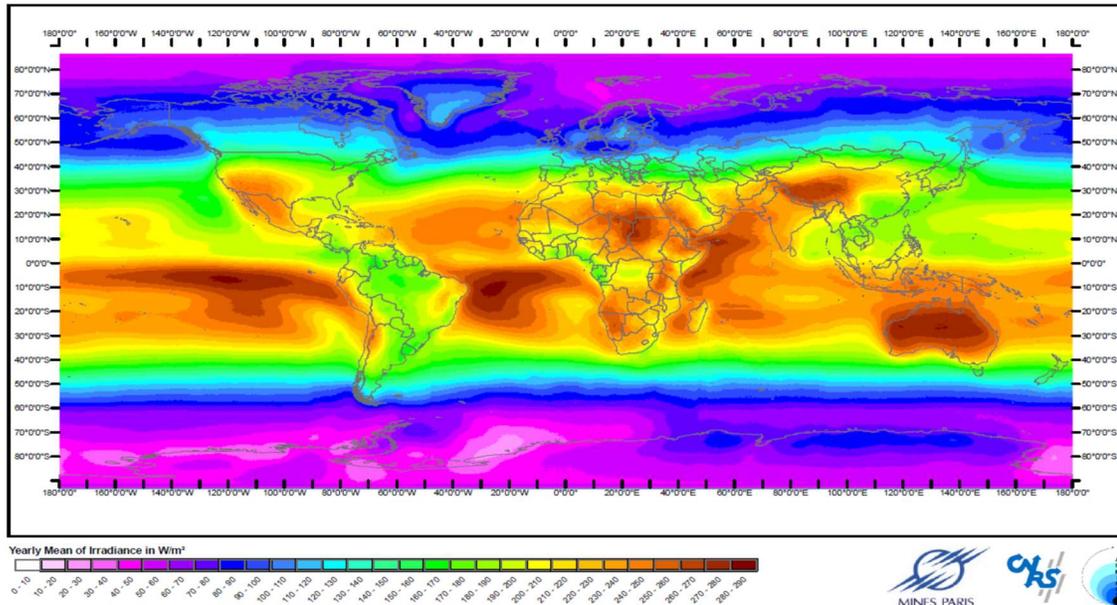
São vários os efeitos elétricos da radiação eletromagnética sobre os corpos, um deles é o efeito fotovoltaico, que é o que permite a existência dos sistemas de energia solar fotovoltaica para produzir energia elétrica. O efeito fotovoltaico permite que os fótons da luz solar sejam convertidos em eletricidade, por meio da interação da radiação com materiais semicondutores, através das células solares. [15]

Portanto, a radiação solar é um componente fundamental para a geração de energia solar fotovoltaica, nos próximos tópicos será visto como quantificá-la.

2.3.2 Irradiação

Para que se possa quantificar a radiação, a grandeza utilizada é a irradiação, chamada também de irradiância. É uma unidade de potência, em watts, por área, em metros quadrados (W/m^2). Portanto, quanto maior a irradiação maior a quantidade de energia que a mesma transporta durante certo tempo. A Figura 3 mostra a média anual de irradiação solar entre os anos 1990 e 2004 no Mundo. Nota-se que o potencial brasileiro é superior aos países da Europa, por exemplo, onde a energia solar fotovoltaica já é usada massivamente em alguns países.

Figura 3 - Mapa mundial de irradiação solar em média anual – 1990 a 2004

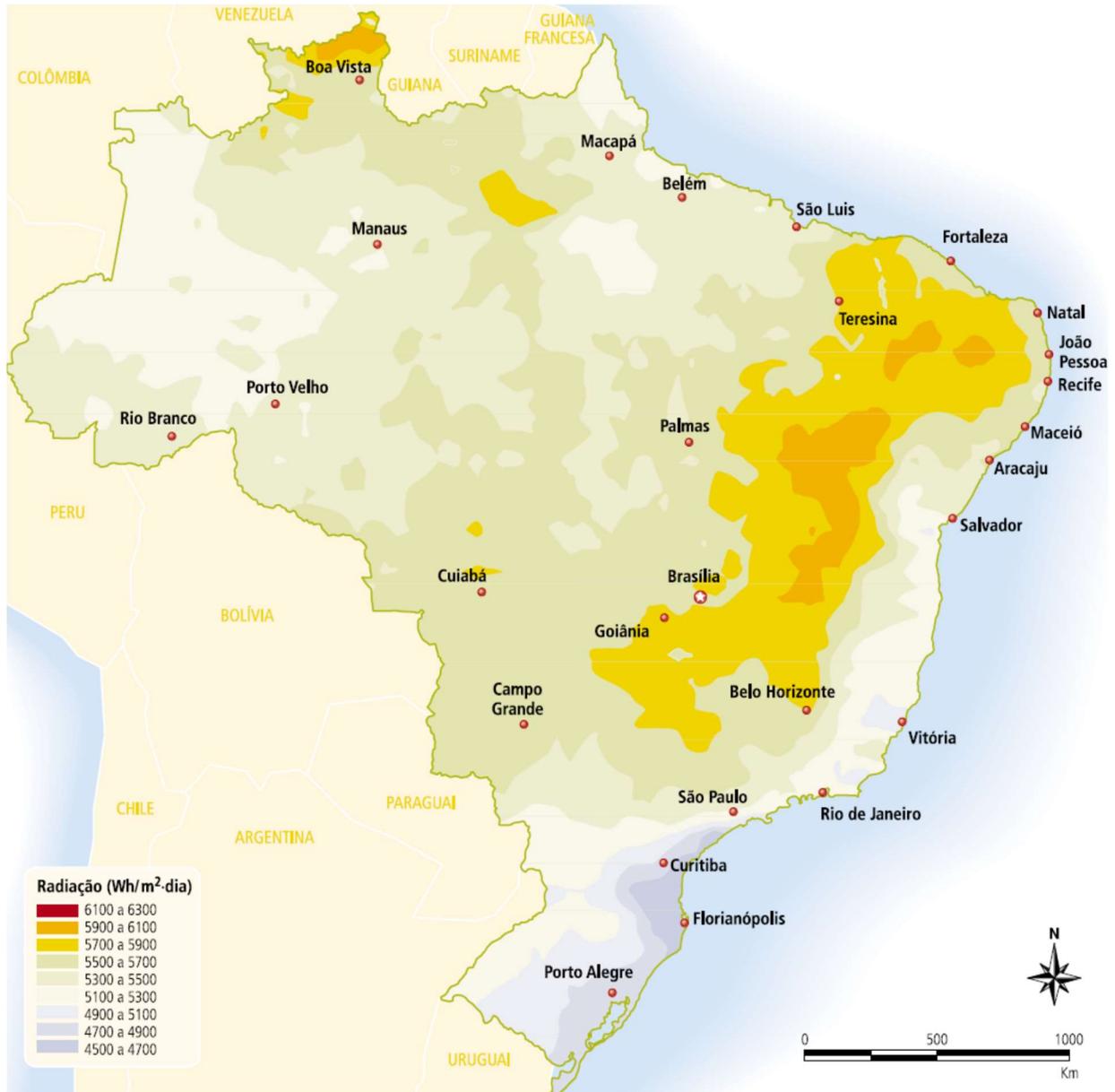


Fonte: [16].

2.3.3 Insolação

Já a insolação, “é a grandeza utilizada para expressar a energia solar que incide sobre uma determinada área de superfície plana ao longo de um determinado intervalo de tempo” [17]. Tendo o Wh/m² (watt-hora por metro quadrado) como sua unidade. Ou seja, é utilizada para expressar a densidade de energia da área.

Figura 4 - Radiação solar global diária - média anual típica (Wh/m².dia)



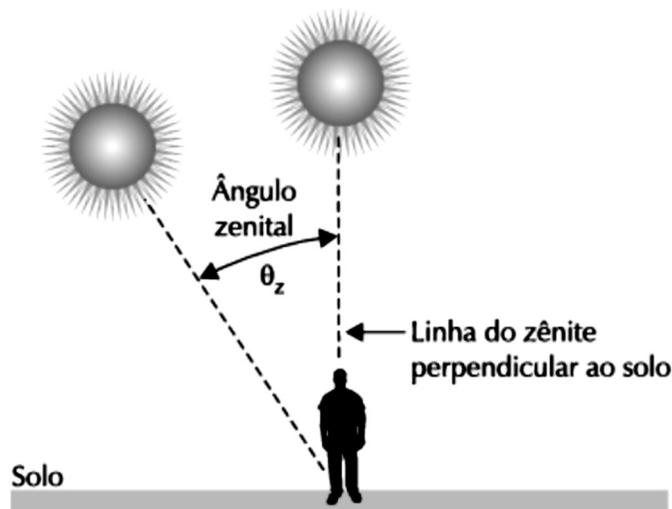
Fonte: [18].

2.3.4 Massas de ar

Ao atravessar a atmosfera terrestre a radiação solar sofre algumas alterações, isso ocorre devido a alguns fatores como a espessura e a composição da atmosfera, que contém o ar e suas impurezas e até vapor de água.

Dependendo do ângulo de incidência dos raios solares os mesmos podem percorrer uma maior ou menor distância, ou seja, percorrendo mais ou menos a massa de ar, isso depende da inclinação da Terra em relação ao Sol. Esta inclinação é chamada de ângulo zenital, que é igual a zero quando o Sol está localizado exatamente acima daquele que o observa, e é medido em relação ao zênite, uma linha imaginária perpendicular ao solo, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Linha do zênite e ângulo zenital



Fonte: [19].

A espessura que será atravessada pelos raios do sol depende do ângulo zenital deste, a massa de ar definida, do inglês Air Mass, como AM é calculada pelo inverso do cosseno do ângulo zenital (equação 1).

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (2.1)$$

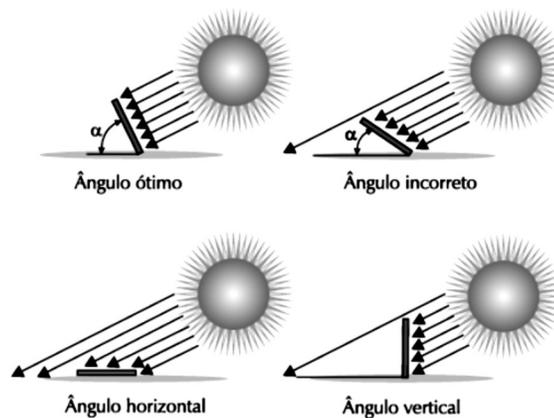
Ou seja, a menor massa de ar possível é quando o ângulo zenital vale zero, com a massa de ar AM1. Porém, tornou-se padrão considerar a distribuição da massa de ar AM1,5, resultado de um ângulo zenital $\theta_z = 48,5^\circ$, porque a tecnologia se desenvolveu em países do hemisfério norte, com características parecidas com essas. A distribuição AM1,5 é referência na maioria dos catálogos de células fotovoltaicas. [20]

2.3.5 Orientação dos módulos

Antes de cruzar a atmosfera terrestre, os raios solares chegam à Terra em linha reta, porém sofrem com o efeito da difusão, sendo desviados e refletidos em muitas direções, mas a radiação direta, que corresponde a maior parte dos raios, continua em linha reta. Esta radiação direta atinge o solo com inclinações diferentes ao redor do planeta, e varia durante o ano, por razões que serão comentadas posteriormente. Quanto a radiação difusa, não há como melhorar sua captação, porém é possível maximizar a captação da radiação direta instalando os módulos solares com uma inclinação adequada. [21]

Normalmente os sistemas fotovoltaicos possuem inclinação fixa, e para definir este ângulo α existem diversas opções, uma das mais simples e adotada por muitos projetistas de módulos fotovoltaicos, depende apenas da latitude geográfica do local onde está sendo projetada, através da Tabela 5 pode-se obter o ângulo de inclinação recomendado (α):

Figura 6 - Efeito da inclinação α na captação de energia



Fonte: [23].

Tabela 5 - Escolha do ângulo de inclinação

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: [22]

2.3.6 Ângulo azimutal

O ângulo azimutal se dá entre a orientação dos raios solares com o norte geográfico. É uma orientação de fundamental importância para a instalação dos módulos, e depende do hemisfério onde o mesmo está localizado. O módulo deve levar em conta o movimento diário do Sol. Para um módulo solar fixo, localizado no hemisfério sul, é indicado que sua face seja voltada para o norte geográfico, pois essa orientação permite aproveitamento da luz solar ao longo de todo o dia, o que não aconteceria se o mesmo estivesse voltado para outra direção. Para instalações em locais no hemisfério norte, o módulo deve estar orientado para o sul geográfico.

2.3.7 Movimentos da Terra

A disponibilidade de radiação também é afetada pela latitude local e os dias e horas do ano. A razão é a mesma que define as estações do planeta Terra, o eixo do movimento de rotação da terra está inclinado em relação ao sol, o que faz com que os hemisférios norte e sul do planeta variem sua distância ao Sol em cada dia do ano, e está em constante movimento devido a trajetória elíptica de translação em torno do sol, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol



Fonte: [24].

Para as latitudes próximas a linha imaginária do equador, esta característica, da inclinação, não causa tantas diferenças nas estações do ano. Porém, ao se afastar da linha, percebe-se que nestes locais o verão tem dias mais longos e no inverno mais curtos. Ou seja, mais ou menos horas de sol, um dos principais fatores que afeta o quanto de energia solar é recebido naquela região.

Existem ainda algumas consequências de origem atmosférica, que tendem a afetar a trajetória dos raios solares até a superfície, e também contribuem para a quantidade disponível de energia solar de cada local.

2.3.8 Declinação solar

A distância angular entre os raios solares e o plano do equador é chamado de Declinação Solar. Seu valor é máximo nos solstícios, marcando o início do verão e inverno, e seu valor é zero nos equinócios, marcando o início do outono e primavera. A equação 2.2 permite obter esse valor e é conhecida como fórmula de Cooper. [25]

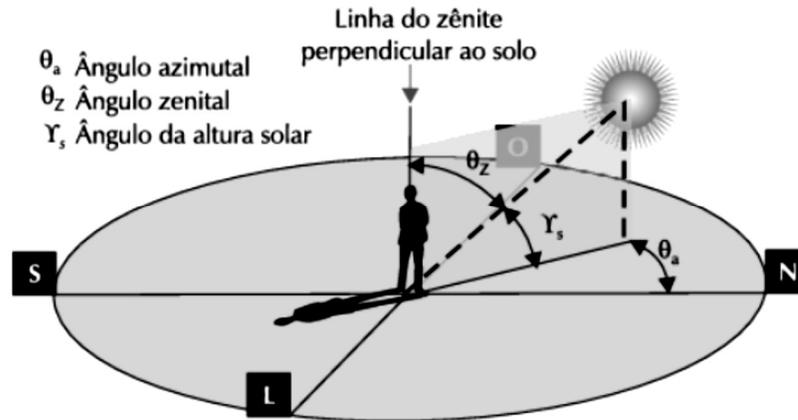
$$\delta = 23,45^\circ * \text{sen}\left[\frac{360(284 + n)}{365}\right]^\circ \quad (2.2)$$

Onde n é o dia do ano e varia de 1 (1 de janeiro) a 365 (31 de dezembro).

2.3.9 Altura solar

O ângulo da altura solar é diferente para cada localização geográfica e depende do ângulo da declinação solar. Sua representação é feita por γ_s , e quanto mais próximo da linha do equador seus valores são maiores, e diminuem a partir da proximidade com os polos terrestres. É formado pelo ângulo entre o raio solar e o plano horizontal, como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 - Ângulos azimutal, zenital e da altura solar



Fonte: [26].

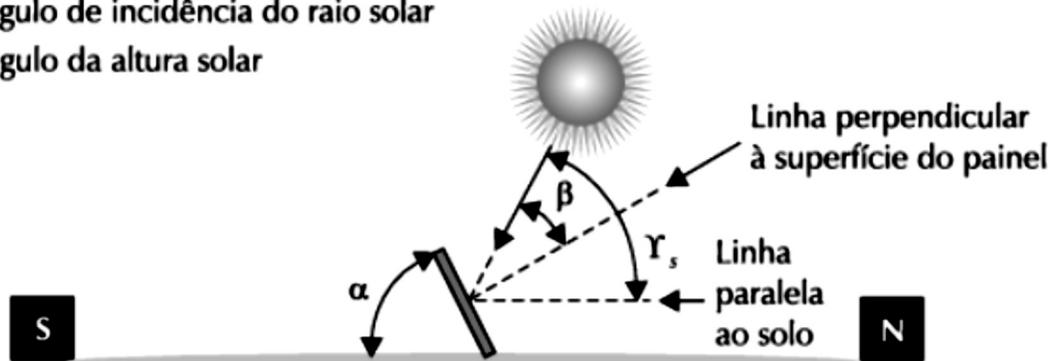
2.3.10 Ângulo de incidência

A posição do Sol altera ao longo das horas do dia e dos dias do ano, sendo determinada, como apresentado anteriormente, pelos ângulos azimutal e zenital e pela altura solar. Na Figura 9 observa-se como os raios incidem em um módulo fotovoltaico de inclinação α , e incidem na placa com um ângulo de incidência do raio solar (β), que durante o ano, conforme a altura solar γ_s é alterada, assume novos valores.

O ângulo $\beta=0$ têm-se o melhor aproveitamento da energia solar, pois os raios estariam perpendiculares ao módulo. Ou seja, idealmente a inclinação do módulo deveria ser ajustada diariamente para se adequar ao novo ângulo γ_s de altura solar para maximizar a captação de energia.

Figura 9 - Ângulo de inclinação do módulo e ângulo de incidência dos raios solares

- α Ângulo de inclinação do painel
- β Ângulo de incidência do raio solar
- γ_s Ângulo da altura solar



Fonte: [27].

3 PROCEL EDIFICA

Criado em 2003, como um subprograma do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), o Procel Edifica veio para divulgar e estimular os conceitos de eficiência energética em edificações. Segundo o Manual Para Etiquetagem de Edificações (2014), 50% do consumo de energia no Brasil é representado por edificações das classes residencial, comercial e poder público. Muitas dessas edificações apresentam desperdício alto de energia, pois muitos avanços, em áreas como arquitetura bioclimática, materiais, equipamentos e tecnologias construtivas, e que fazem melhor uso da eletricidade, são ignorados pela maioria das construções.

Segundo o Procel Edifica, os objetivos serão atingidos atuando em seis áreas: Regulamentação da “Lei de Eficiência Energética”, Educação, Disseminação, Tecnologia, Habitação de Interesse Social, Capacitação e Suporte e Marketing. Dentro destas áreas, uma atividade que se destaca é a etiquetagem e certificação, que visa garantir que a aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações está dentro de termos pré-estabelecidos, sendo apoiada pela Lei de Eficiência Energética (10.295/2001), e resultando em edificações energeticamente eficientes e reduzindo os custos de operação tanto na construção quanto na utilização dos mesmos.

3.1 CERTIFICAÇÃO E ETIQUETAGEM

Uma das maneiras de atingir os objetivos do Procel Edifica é a certificação e etiquetagem das edificações, para isto é utilizada a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que consiste em um documento que classifica a eficiência energética de edificações utilizando uma escala que vai de A, mais eficiente, até a E, menos eficiente. O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) é o responsável pela emissão da etiqueta, sendo fiscalizado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

Por conta do processo de etiquetagem e para prover apoio no desenvolvimento do programa, o PBE desenvolveu os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), o Regulamento Técnico da Qualidade para

o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), e também os Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC), assim como documentos complementares, como os Manuais para aplicação dos mesmos. O RAC traz os procedimentos burocráticos necessários para permitir que o edifício obtenha a ENCE, já os RTQ-C e RTQ-R descrevem as necessidades para classificar o nível de eficiência energética de edificações.

A ENCE já é conhecida dos brasileiros, é utilizada para classificar a eficiência energética de eletrodomésticos no país. Segundo o Procel, a experiência foi positiva, em geral os consumidores brasileiros passaram a escolher produtos levando em conta também sua eficiência energética. Acredita-se que isso possa ocorrer com as edificações, desde que a etiqueta também se torne conhecida.

O primeiro passo para obtenção da ENCE é que se apresente os projetos, especificações e planilhas requeridas a um laboratório acreditado Inmetro, este laboratório checa e avalia as informações e emite uma primeira etiqueta, podendo conter sugestões de melhoria para a obra. Após receber o habite-se, chama-se o laboratório para uma inspeção, se tudo estiver dentro dos conformes a primeira etiqueta é mantida, se não, uma segunda é emitida.

Para este trabalho, serão considerados os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais de Serviços e Públicos (RTQ-C) para a análise de certificação e etiquetagem da edificação, por se tratar de um edifício comercial. Os próximos tópicos levarão isso em conta, trazendo informações relevantes a RTQ-C.

3.2 PRÉ-REQUISITOS GERAIS

Para cumprir com os RTQ-C, a edificação deve cumprir os pré-requisitos descritos em seguida:

3.2.1 Circuitos elétricos

Os circuitos elétricos devem ser separados ou por utilidade, por exemplo circuito de iluminação, ou por equipamento específico, por exemplo um condicionador de ar, para que seja possível a medição por uso final. Segundo (Diretrizes para Obtenção de Classificação Nível A para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas RTQ-C; 2014) há exceções para hotéis, onde há desligamento automático para os quartos e edificações com múltiplas unidades autônomas de consumo e edificações cuja a construção seja anterior a junho de 2009.

3.2.2 Aquecimento de água

Apenas edificações que possuam percentual de uso de água quente de 10% ou mais do consumo de energia ou locais com alta demanda de água quente como: academias, clubes, hospitais e restaurantes, entre outros. Para o nível A a edificação necessita comprovar que 100% da água quente é proveniente de algum dos seguintes sistemas: aquecimento solar, aquecedores a gás do tipo instantâneo, aquecimento de água por bombas de calor ou caldeiras a gás. Além disso, devem atender algumas condições de isolamento das tubulações, que podem ser encontrados no manual Diretrizes para Obtenção de Classificação Nível A para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas RTQ-C (2014).

3.3 BONIFICAÇÕES

As bonificações são parte fundamental do Procel Edifica pois permitem premiar a edificação que possua iniciativas que aumentam a eficiência energética. Esta bonificação poderá ser de até 1 ponto na nota final, que tem valor máximo de 5. Uma iniciativa já pode atingir a pontuação máxima de bonificação, porém, se for o caso, mais de uma iniciativa pode ser combinada para atingi-la. Podem receber bonificações: sistemas e equipamentos que racionalizem o uso de água, sistemas ou fontes renováveis de energia e sistemas de cogeração e inovações técnicas ou de sistemas. Há também a bonificação para edifícios com elevadores que atingirem o nível A (0,5 pontos)

No caso deste trabalho, a edificação pode se valer da bonificação por ter um sistema de geração de energia com fonte renovável.

3.4 PONTUAÇÃO

Quanto aos requisitos para pontuação, o RTQ-C divide a classificação em três partes, com pesos diferentes na nota final, Envoltória, valendo 30%, Sistema de Iluminação, também 30% e Sistemas de Condicionamento de Ar, com 40% de peso.

A pontuação final é obtida por meio de uma classificação que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) apresentada na ENCE.

Cada sistema avaliado se utiliza de equivalentes numéricos que correspondem a um nível de eficiência, que podem atingir uma nota máxima de 5, que equivale a classificação A, até 1, equivalente a E. A nota final pelo RTQ-C é calculada através da distribuição dos pesos na equação da Figura 10 abaixo:

Figura 10 - Equação para classificação geral do edifício

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,30 \cdot (EqNumDPI) + 0,40 \cdot \left\{ \left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + \delta \frac{1}{0}$$

Fonte: [28].

Os detalhes da equação da Figura 10 não serão abordados neste trabalho. Para atingir o nível de Eficiência A do RTQ-C no Procel Edifica, é necessária uma pontuação maior que 4,5.

Para melhor entendimento, os sistemas que compõe a classificação serão abordados nos itens a seguir.

3.4.1 Envoltória

A envoltória da edificação é composta pelas paredes, fachadas, telhado, coberturas, ou seja, tudo que separa o espaço interno do externo. Dependendo da Zona Bioclimática sua avaliação é diferente. No documento de Diretrizes classificação A edificações Comerciais, de Serviços e

Públicas RTQ-C são descritas as principais cidades que compõe cada Zona, e também indica os tipos de coberturas, cores de paredes, e informações relevantes que contribuem para melhorar a eficiência das edificações nestes locais. Neste mesmo documento ao fim da análise de cada Zona são descritos os procedimentos para determinação da eficiência da envoltória, para se obter a determinação da envoltória (IC_{env}), utilizada para classificar a mesma.

3.4.2 Sistema de iluminação

Inicialmente existem alguns pré-requisitos que devem ser cumpridos quanto à iluminação. Circuitos de iluminação interna e externa devem ser separados, para a contribuição da luz natural, a fileira de luminárias próximas à abertura deverá ter controle independente e para ambientes com mais de 250m² deverá haver sistema de desligamento automático do sistema de iluminação.

Quanto à avaliação do sistema de iluminação existem dois métodos, o Método das Áreas, mais simples, e o Método das atividades, mais complexo.

No método das Áreas são calculados os limites de potência na iluminação para o prédio como um todo, deve ser utilizado quando a edificação possui no máximo três atividades, ou se as atividades ocupam mais de 30% da área. O RTQ-C (Inmetro) traz na tabela 4.1 as definições das atividades e a densidade de potência de iluminação limite (DPIL- W/m²). Para obter a potência máxima multiplica-se a DPIL pela área do prédio como um todo.

Para o caso estudado neste trabalho, será utilizado o método das áreas, pois a edificação possui apenas uma atividade, Escritório, com os valores de DPIL descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Densidade de potência de iluminação por níveis para escritório

Função do Edifício	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível D)
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1

Fonte: [29].

Portanto não será aprofundado o Método das Atividades.

3.4.3 Condicionamento de ar

Há dois casos no sistema de condicionamento de ar, sistemas etiquetados pelo PBE e não etiquetados. Para os não etiquetados, o manual Diretrizes para Obtenção de Classificação Nível A para Edificações Comerciais (2014), de Serviços e Públicas RTQ-C indica os padrões que devem ser cumpridos, já os etiquetados, regulamentados pelo Inmetro, desde que cumpram alguns pré-requisitos, refletem a nota que os mesmos possuem em suas etiquetas.

Como pré-requisitos se tem inicialmente a espessura mínima dos isolantes dos dutos, os valores mínimos para a espessura do isolamento de tubulações para sistemas de aquecimento e refrigeração podem ser encontrados nas tabelas 5.1 e 5.2 do RTQ-C (2013). Há também, segundo a RTQ-C (2013), para os sistemas com aquecimento artificial, outros pré-requisitos, que serão: Sistemas com bombas de calor devem apresentar um *Coefficient of Performance* (COP) para aquecimento maior ou igual a 3,0 W/W através do método definido na norma AHRI 340/360. Os sistemas unitários de condicionamento de ar com ciclo reverso também devem apresentar um COP para aquecimento maior ou igual a 3,0 W/W através do método definido na norma AHRI 340/360; E os aquecedores de acumulação a gás devem ter eficiência mínima. [30]

3.5 CERTIFICAÇÃO DE UM ESCRITÓRIO CONTÊINER

Uma breve discussão sobre as possibilidades de classificação do escritório contêiner será apresentada neste tópico baseado no documento que contém as Diretrizes para Obtenção de Classificação Nível A para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas RTQ-C (2014), no entanto não será uma avaliação detalhada, pois o procedimento de avaliação do selo é minucioso de muitos profissionais e gerar uma nota de eficiência final não é o intuito deste trabalho, e sim avaliar o potencial para obtenção do selo.

Não há restrições para a avaliação de uma edificação em contêiner para o Selo PROCEL Edifica, porém, sua complexidade é alta, e envolve muitos elementos. No caso do objeto de estudo deste trabalho, os pré-requisitos, atualmente são atendidos, de circuitos elétricos e aquecimento de água, além disso, o fato de agregar um sistema de micro geração fovoltaica, acumula um ponto de bonificação. Sendo assim, necessário mais 3,5 pontos para atingir a nota A de eficiência.

Quanto as outras pontuações, a de envoltória, pela cor do contêiner atualmente, que é cinza, não se encaixa nas cores permitidas pela zona bioclimática, deveria ser mais claro segundo os manuais do selo, porém o atual isolamento interno é compatível com o exigido para uma nota B neste quesito.

Quanto ao Sistema de Iluminação, atualmente o contêiner cumpre com os requisitos de circuitos separados, e por ser um contêiner de 40 pés, com menos de 30 m², não necessita de desligamento automático. Seria necessária uma avaliação da DPIL, para determinar sua nota, mas é algo que, se necessário, pode ser trabalhado para melhorar então possivelmente obteria uma nota A neste quesito.

No último quesito de avaliação, o Sistema de Condicionamento de Ar, atualmente há um aparelho com nível A de eficiência instalado para o condicionamento de ar do escritório, sem sistemas de aquecimento, portanto, levando em conta que as outras necessidades técnicas de isolamento de tubos do condicionador sejam atendidas, a nota deste quesito refletiria a nota do equipamento, como citado anteriormente.

Relembrando que a nota final seria composta por bonificação, que nesse caso é de 1 ponto na nota geral, envoltória, valendo 30%, que de acordo com a estimativa do estudo poderia atingir nota 4 (B), sistema de iluminação, também valendo 30% que segundo os levantamentos chegaria a atingir entre 4,5 (A), e sistemas de condicionamento de ar, com 40% de peso e que teria potencial de atingir nota 5 (A). Notas resumidas na tabela

Tabela 7 - Notas estimadas Selo PROCEL Edifica

Requisito	Nota
Envoltória (30%)	4
Sistema de Iluminação (30%)	4,5
Sistemas de Condicionamento (40%)	5
Total	4,55

Fonte: Autor, 2017.

A nota seria suficiente para receber nível A de eficiência, o máximo, e ainda contaria com mais um ponto de bonificação, ou seja, mesmo que alguma das notas não fosse tão boa quanto estimado, ainda assim seria possível ganhar o selo de nota máxima de eficiência energética PROCEL Edifica.

3.6 SELO SOLAR

Outra opção para agregar valor à empresa através de selos com caráter socioambientais é o Selo Solar, que foi criado pelo Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas da América Latina (IDEAL), com sede em Florianópolis, em parceria com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) para estimular a geração de energia solar no Brasil.

O IDEAL é uma organização sem fins lucrativos, fundada em 2007 com objetivo de promover as energias renováveis atuando na sociedade através do governo, universidades e empresários, visando integração e desenvolvimento regional através do uso das matrizes energéticas alternativas nos países latino-americanos

Este selo tem validade de 5 anos e é concedido para empresas, instituições públicas e privadas e proprietários de edificações que consumam um valor mínimo anual de eletricidade proveniente da matriz solar seja por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede ou contratação no mercado livre de energia. Ou seja, são duas categorias de selo, o Selo Solar para Mercado Livre e o Selo Solar para Geração Distribuída.

Para o caso desse estudo, interessa o Selo Solar da Categoria Geração Distribuída, que tem como objetivo principal reconhecer publicamente os consumidores de energia que atendam aos critérios mínimos de consumo de eletricidade produzida por micro ou minigeradores fotovoltaicos (FV).

Para a categoria que interessa, o consumidor precisa atender dois critérios, que são tempo mínimo de operação do gerador de 6 meses, e outro de potência mínima instalada de energia FV. A potência mínima instalada é referente ao subgrupo tarifário da unidade consumidora que está instalada, a classificação dos subgrupos está apresentada na Tabela 10, na página 70 deste trabalho. Os valores mínimos da potência nominal para cada subgrupo são exibidos abaixo:

Figura 11 - Potência nominal mínima conforme grupo tarifário

Subgrupo tarifário		Potência nominal mínima
A1		2 MWp
A2		1 MWp
A3		200 kWp
A3a		75 kWp
A4		40 kWp
AS - B3	Industrial	10 kWp
	Comercial	5 kWp
	Poder Público	5 kWp
B2	Rural	5 kWp
B1	Residencial	3 kWp

Fonte: [31].

Segundo o IDEAL, às pessoas jurídicas que não atingirem os valores mínimos de potência instalada, podem solicitar o Selo Solar em caráter socioambiental, desde que consumam energia solar e que tenham cunho social ou como atividade central, a contribuição para a conservação ambiental. Casos especiais serão analisados individualmente pelo IDEAL, conforme comprovação de benefícios e impacto social ou ambiental. [32]

Como será visto no tópico 6.1, no dimensionamento de sistema para o objeto em estudo, o mesmo não atingirá o mínimo de potência instalada, porém a abertura que o IDEAL promove para pessoas jurídicas que não atingem o mínimo pode ser aproveitada para obter o selo para a empresa consumidora.

4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

O sistema de energia solar fotovoltaico produz energia elétrica através da radiação emitida pelo Sol. Basicamente existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos, os sistemas autônomos (*Off-grid*), e os sistemas conectados à rede elétrica (*Grid-Tie*).

4.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS (*OFF-GRID*)

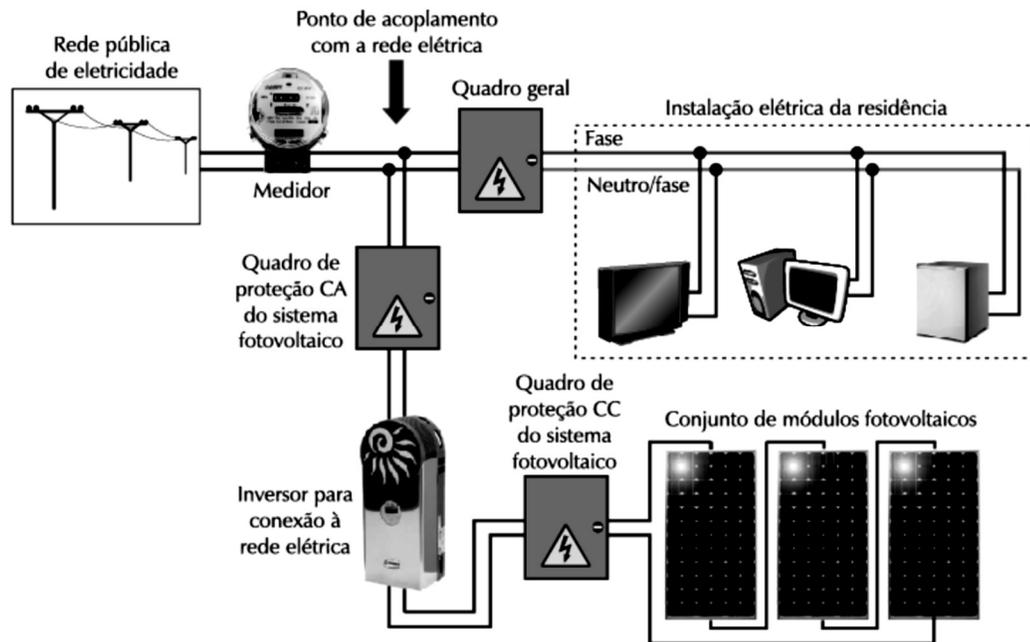
Sistemas fotovoltaicos autônomos são aqueles que não se conectam à rede elétrica. Normalmente, é composto por placas fotovoltaicas, um controlador de carga, baterias e um inversor de tensão contínua para alternada, se necessário. O sistema abastece diretamente os aparelhos que estão conectados e que utilizarão a energia, as baterias servem para garantir que o abastecimento não seja interrompido em períodos em que as placas não geram energia.

4.2 SISTEMA CONECTADOS À REDE ELÉTRICA (*GRID-TIE*)

Sistemas deste tipo, Grid-Tie, estão integrados à rede elétrica, e permitem o consumo local da energia, podendo reduzir o consumo da energia da rede pública ou até gerar excedentes de energia. A grande vantagem é de não precisar de baterias e controladores de carga, tornando-os mais eficientes e baratos.

Sistemas fotovoltaicos deste tipo podem ser conectados a redes monofásicas ou trifásicas, e os tamanhos podem ser dos mais variados, por serem divididos em módulos. Para serem conectados à rede os módulos fotovoltaicos são conectados a um inversor CC-CA, com as devidas proteções, e acoplados a rede elétrica antes do medidor de energia, Figura 12.

Figura 12 - Organização e componentes de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica



Fonte: [33].

4.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA *GRID-TIE*

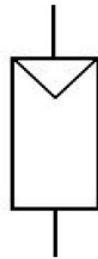
Para melhor compreensão será destacado nos tópicos seguintes, os componentes principais a serem dimensionados em um sistema de micro geração fotovoltaica conectado à rede elétrica.

4.3.1 Módulo, placa ou painel fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos, também chamados de painéis fotovoltaicos, são compostos por células fotovoltaicas conectadas entre si visando transformação da radiação solar, e a energia que a mesma traz, em Energia Elétrica.

Módulo, placa ou painel possuem o mesmo significado, sendo usados sem diferença alguma na literatura para descrever esse conjunto de células fotovoltaicas conectadas e disponível comercialmente. [34]

Figura 13 - Símbolo elétrico de um módulo fotovoltaico



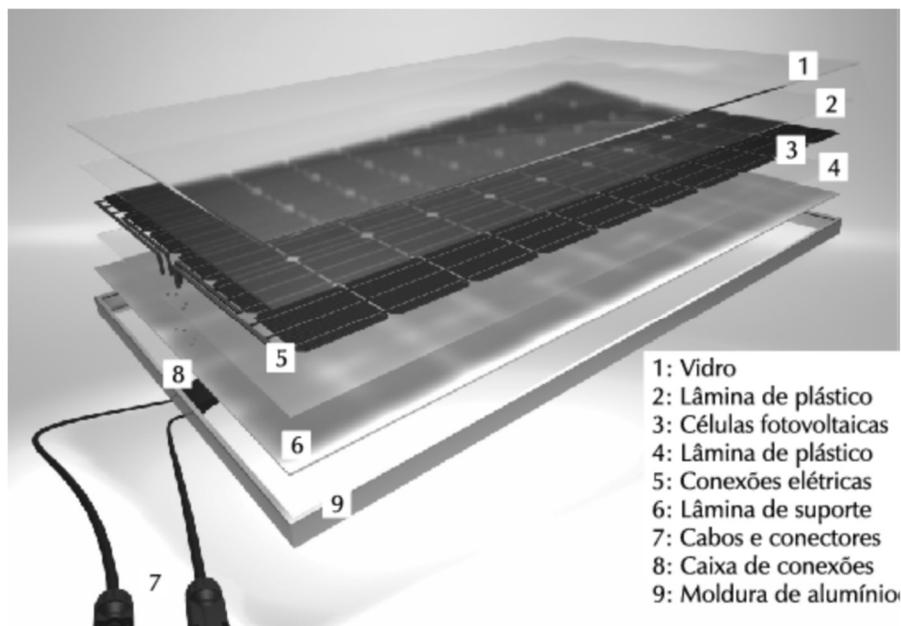
Fonte: [35].

Uma célula sozinha produz pouca eletricidade, então são agrupadas e o modo deste agrupamento depende do quanto se deseja de produção de energia, corrente e tensão para o módulo. Seu símbolo elétrico está demonstrado na Figura 13.

As ligações em série de células produzem o aumento de tensão de cada célula mantendo a Corrente Contínua (CC) de cada célula.

Já as ligações em paralelo das células produzem acréscimo de corrente, mantendo o nível de tensão das células envolvidas. A Figura 14 traz os principais componentes de placa fotovoltaica, incluindo a parte de proteção, estrutura e conexão elétrica.

Figura 14 - Componentes de um módulo fotovoltaico



Fonte: [36].

As células apresentam espessuras muito reduzidas e frágeis, necessitando de uma estrutura que a proteja mecanicamente e também aos fatores ambientais. Na maioria dos casos, é utilizado o vidro que também assegura o isolamento elétrico entre as células e o meio externo evitando em parte acidente com descargas elétricas.

O tipo de encadeamento, o formato das células, o encapsulamento das células, o tipo do material da célula, dependem do fabricante e assim influenciam diretamente em suas características elétricas.

Vale lembrar que no Brasil é necessário o selo do INMETRO para comercialização de placas fotovoltaicas, porém não são feitos testes que garantam o desempenho e a vida útil do módulo solar fotovoltaico, apenas realizam teste em relação a eficiência máxima do módulo fotovoltaico em condições padrão de teste, porém a maioria dos painéis tem certificações internacionais, como a IEC61215, obtida pelas fabricantes para que seus módulos fotovoltaicos possam ser comercializados em países da Europa, EUA, Japão, China obrigatoriamente. Mais a frente na escolha do módulo, este tema será abordado novamente. [37]

4.3.2 Associação dos módulos

Como dito anteriormente os módulos são conectados ou em série ou paralelo, dependendo da corrente e tensão desejadas pelo projetista.

4.3.2.1 *Conexão em série*

Essa conexão é feita conectando o terminal positivo do módulo ao negativo do próximo, e assim por diante, ficando no fim apenas um terminal positivo em uma ponta do sistema, e um negativo na próxima.

Assim como nas células, nas ligações em série dos módulos, as tensões são somadas e a corrente é igual para todos. [55]

4.3.2.2 *Conexão em paralelo*

A conexão em paralelo é feita unindo-se os terminais positivos de todos os módulos entre si e nos negativos também. Este modo resulta na soma das correntes sem alterar o valor da tensão. [39]

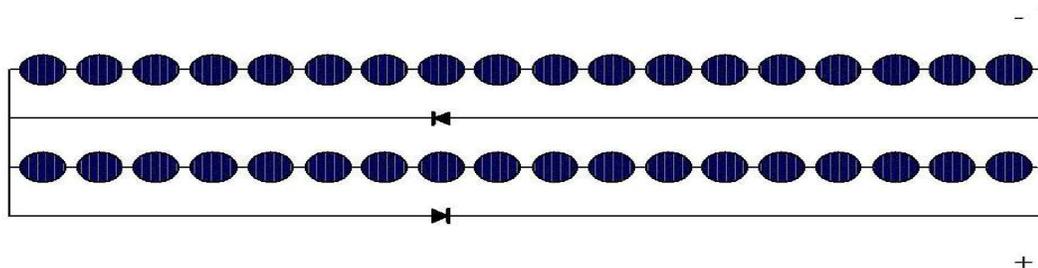
4.3.2.3 *Efeitos de sombreamento*

Ao ser exposto a sombreamento, mesmo que parcial, o módulo tem limitação de corrente a todo conjunto em série. Vários podem ser os motivos, objetos que obstruam o sol, sujeira ou qualquer coisa que tenha caído sobre o módulo. Além disso, um sombreamento parcial pode gerar o fenômeno chamado “ponto quente”, pois a potência elétrica gerada não consegue ser totalmente entregue pela limitação de corrente da célula sombreada, produzindo intenso calor sobre células afetadas, pode causar danos permanentes ao módulo. [40]

4.3.2.4 *Diodo de desvio (by-pass)*

A fim de evitar a ocorrência de “pontos quentes” os módulos usualmente contém diodos de desvio, que criam um caminho alternativo para dissipação de potência para as células sombreadas, diminuindo o risco de danos. São então conectados em antiparalelo, a Figura 15 apresenta como são feitas estas conexões internamente.

Figura 15 - Diagrama com a ligação de diodos de desvio nos módulos FV



Fonte: [41].

4.3.2.5 *Diodo de bloqueio*

Outro componente importante para proteger o sistema, com a função de impedir o fluxo de corrente de um conjunto que tenha tensão maior do que o outro. Para cada arranjo em série instala-se um diodo de bloqueio capaz de suportar pelo menos a corrente de curto-circuito resultante do conjunto. [42]

4.3.2.6 *Fusíveis de proteção da série fotovoltaica*

Componente com função de proteção para proteger os arranjos em série, chamados de *string*, do fluxo de corrente dos conjuntos com tensão maiores para os menores. Deve ser dimensionado para correntes menores que a corrente reversa suportável pelo módulo. Esses fusíveis devem ser para corrente contínua, instalados nas saídas do arranjo em série, no polo positivo e negativo. [43]

4.3.3 **Inversor**

Inversores para este tipo de sistema são responsáveis por receber energia elétrica em corrente contínua (CC) dos geradores e fornecer energia elétrica em corrente alternada (CA) para as cargas e rede elétrica. A tensão CA deve ser adequada para às cargas e rede elétrica, com amplitude, frequência e conteúdo harmônicos aceitáveis, nesse caso, quando o sistema é conectado à rede elétrica a tensão de saída do inversor tem de ser sincronizada com a rede. [44]

Existem muitos modelos de inversores, mas sua classificação se dá principalmente para a potência de conversão do mesmo e o modo de ligação, monofásico e trifásico. Normalmente, para sistemas conectados à rede os inversores de potência até 5 kW tem saída monofásica, a partir disso é comum a saída trifásica.

Os inversores interferem no desempenho do sistema, e tem uma representatividade alta no valor total do projeto, pois seu custo é alto.

No tópico 6.1, no dimensionamento do sistema FV, os inversores serão abordados novamente.

4.3.4 Proteção

Visando a minimização e até mesmo evitar por completo as possíveis falhas no sistema este tópico traz os dispositivos de proteção principais para sistemas FV conectados à rede elétrica. Hoje os próprios equipamentos contam com dispositivos de proteção, porém além deles, outros dispositivos devem ser utilizados, como disjuntores, dispositivos de proteção contra surtos (DPS), dispositivo de seccionamento visível (DSV), sistemas de aterramento e sistemas de proteção contra descargas atmosféricas,

4.3.4.1 *Dispositivo de Proteção Contra Surtos*

O DPS tem como função desviar para a terra qualquer alta corrente proveniente de um surto elétrico, uma descarga atmosférica, por exemplo, e também limitar sobretensões transientes.

Figura 16 - DPS



Fonte: [46].

São necessários na parte CC e CA do sistema FV. Normalmente os manuais de instalação dos inversores sugerem sua instalação, para o lado CC, devem ser de classe 2, e instalado próximos

aos terminais do inversor, já para o lado CA, devem ser de classe 1+2, próximo do inversor também. Porém, caso tenha distâncias muito grandes, pode ser necessário a instalação nas extremidades dos cabos. A Figura 16 mostra um exemplo de DPS. [45]

4.3.4.2 *Dispositivo de Seccionamento Visível*

O DSV tem como função interromper o fluxo de energia do sistema, é necessário um DSV entre os módulos e o inversor, que deve ser adequado para operação em CC e capaz de interromper os condutores positivos e negativo simultaneamente, e outro acessível para a concessionário, para ser acionado por questões de manutenção ou eventual necessidade. Para o lado CC pode ser utilizado seccionadoras com fusíveis, para fazer a função do DSV e de disjuntor. [47]

4.3.4.3 *Disjuntores*

Disjuntores possuem a função de proteger a instalação de correntes elevadas, protegem cabos, equipamentos, e qualquer outro componente conectado ao sistema. Abaixo um exemplo de disjuntores. Devem ser instalados tanto do lado CC quanto CA. Para o lado CC podem ser utilizados seccionadores com fusíveis para proteção, que seria equivalente a proteção com disjuntores.

Figura 17 - Disjuntores



Fonte: [48].

4.3.4.4 String Box

A *string box* é composta por dispositivos de proteção em uma única peça, consegue, se necessário, isolar o sistema FV, protegendo o sistema de acidentes elétricos como curtos-circuitos e surtos elétricos. Para o lado CC, é composta por dois dispositivos, um DSV e um DPS. [49]

4.3.4.5 Aterramento

Deve ser realizado o aterramento elétrico das instalações, dos equipamentos e das estruturas metálicas seguindo as normas vigentes. [50]

4.3.4.6 SPDA

Deve proteger o local onde o gerador FV está instalado, assim como os dispositivos de potência, e o mesmo deve ser conectado a um aterramento adequado.

5 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Os consumidores de energia elétrica no Brasil podem, desde 2012, gerar a própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e fornecer o excedente para a rede de distribuição. A regulamentação dessa prática, é de responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Quanto ao tema de geração distribuída, a regulamentação engloba a Resolução Normativa nº 482/2012 de 17 de abril de 2012 e a Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015. E ainda a Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST, e algumas definições do Módulo 8 do PRODIST.

5.1 RESOLUÇÕES NORMATIVAS ANEEL Nº 482 E Nº 687

A partir da publicação da Resolução Normativa nº 482/2012, a Aneel estabeleceu condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica assim como o sistema de compensação para os mesmos.

Portanto, a partir desta regulamentação cada consumidor, físico ou jurídico, recebeu a concessão para conectar um sistema gerador de energia elétrica particular, oriundo de fontes renováveis (hidráulica, Solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada), paralelamente às redes de distribuição das concessionárias.

É importante ressaltar que a Resolução Normativa nº 482 sofreu uma atualização, que já era prevista na época da sua publicação. Em novembro de 2015, através da Resolução Normativa nº 687, com alterações significantes em praticamente todos os seus capítulos. Sendo assim, este trabalho, levará em conta estas modificações.

Abaixo as definições de acordo com a resolução quanto a micro geração e mini geração distribuída relevantes ao trabalho:

- Micro geração distribuída – Sistema gerador de energia elétrica, com potência instalada inferior ou igual a 75 kW e que utilize fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. [51]

- Mini geração distribuída – Sistema gerador de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e inferior ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. [51]

Quanto ao Sistema de Compensação a sua regulamentação estabelece que toda a energia ativa injetada na rede pelo sistema gerador de uma unidade consumidora, é emprestada gratuitamente à distribuidora de energia local, e revertida a unidade consumidora através de créditos em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses, permitindo o acúmulo de créditos.

Os créditos frutos da compensação não são sujeitos a alterações nas tarifas de energia elétrica pois são determinados pela quantidade de energia ativa, como dito anteriormente, e também podem ser aproveitados por outras unidades consumidoras, desde que ambas compartilhem do mesmo titular em CPF ou CNPJ, cabendo ao consumidor definir a ordem de compensação dessas unidades, porém a unidade consumidora que gera a energia é necessariamente a primeira a ter seu consumo compensado.

Em relação a cobrança, se o consumidor gerar energia elétrica suficiente para devolver à rede potência ativa referente a 100% ou mais do seu consumo, o mínimo que deve ser cobrado é o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, baixa tensão, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, de alta tensão. Mais detalhes sobre o sistema de tarifação e a divisão de consumidores em grupos podem ser encontrados no tópico 5.4.2, que trata do sistema de tarifação da CELESC.

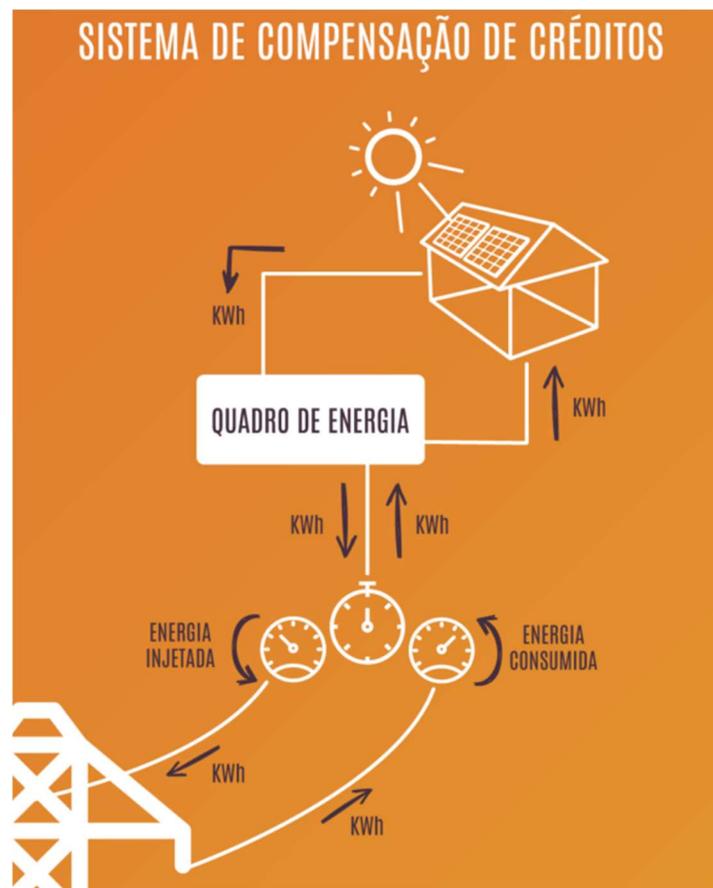
O custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B, conforme a Resolução 414/2010 da ANEEL, é o valor da energia elétrica em moeda corrente equivalente a:

- 30 kWh, se monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores.
- 50 kWh, se bifásico a 3 (três) condutores.
- 100 kWh, se trifásico. [52]

E ainda, o custo de disponibilidade deve ser aplicado sempre que o consumo medido ou estimado for inferior aos referidos neste artigo, não sendo a diferença resultante objeto de futura compensação.

Para outros casos, com geração menor do que 100% do consumo, a cobrança do faturamento se dá pelo consumo de energia, levando em conta os horários de ponta e fora de ponta, sendo subtraídos os créditos de energia de acordo com o sistema de compensação no mesmo horário da geração.

Figura 18 - Representação do Sistema de Compensação de Créditos



Fonte: [53].

Além disso, foram definidos que para as centrais geradoras de micro geração e mini geração distribuída, a potência instalada fica limitada à potência disponibilizada pela concessionária para a unidade onde o sistema gerador será conectado. A limitação através da quantidade de potência que é fornecida a unidade garante, para a concessionária, que nenhum consumidor instalará, por

exemplo, uma central geradora a uma instalação de distribuição que não a suporte, prevenindo defeitos elétricos para a própria unidade e as adjacentes.

Porém, se for de desejo do consumidor instalar um sistema gerador com potência maior do que o limite estabelecido, é possível solicitar o aumento da potência disponibilizada, sem necessidade de aumento da carga instalada.

5.2 IMPACTOS DA RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 687

Grande parte das características destacadas no tópico anterior são provenientes das atualizações e novas regras resultantes da Resolução Normativa nº 687 sobre a nº 482. Uma das consequências positivas foi um processo burocrático menor para a inserção das centrais geradoras junto às concessionárias de energia elétrica.

Além das características que já foram citadas, como o aumento no prazo para uso dos créditos energéticos, que era de 36 e foi para 60 meses, também houve alteração no período para a aprovação de sistemas junto à concessionária, de 82 para 34 dias. Também a potência limite para micro geração e mini geração distribuída sofreu alteração, antes a potência permitida para a micro geração era de até 100 kW e passou a ser 75 kW, e para a mini geração, que ficava entre 100 kW a 1 MW, agora passa a valer dos 75 kW aos 5 MW.

Outros pontos importantes que passaram a valer a partir da Resolução nº 687 foram a adição de três modalidades de classificação de unidades consumidoras:

- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras
- Geração compartilhada
- Autoconsumo remoto

Para o primeiro tipo de empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, são considerados condomínios verticais e/ou horizontais, que estejam situados em uma mesma área ou que seja contígua, com uma central geradora instalada no local, porém com unidades consumidoras e área comum do condomínio sendo energizadas independentemente. Sendo assim, os créditos energéticos gerados são divididos entre as unidades consumidoras do condomínio e a área comum

do empreendimento, com a administradora local sendo a responsável. Não sendo necessário definir tipo algum de consórcio ou associação, pois a própria administradora do condomínio é responsável pelo sistema gerador através de seu Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ).

Já o segundo tipo, denominado geração compartilhada, é quando unidades consumidoras com Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou CNPJ diferentes, abastecidos pela mesma concessionária, e devidamente associados por meio de cooperativa ou consórcio, tem sua central geradora em um local diferente das unidades consumidoras compensatórias. Nessa modalidade de geração, é necessário que uma entidade (CNPJ), que administre um consórcio, associação ou cooperativa, represente e administre a geração e a divisão dos créditos energéticos.

Por fim, a terceira categoria adicionada é o autoconsumo remoto, onde a pessoa física com unidades consumidoras de mesma titularidade, tem a geração distribuída de energia elétrica em um local diferente dos locais que fazem uso dos créditos do sistema de compensação. O mesmo é válido para pessoa jurídica com unidades consumidoras em mesmo CNPJ.

5.3 PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL – PRODIST

A distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional é regulada por um conjunto de regras que compõe várias resoluções da ANEEL em um documento chamado intitulado Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Este documento descreve as formas, modos, responsabilidades e penalidades em relação à conexão, expansão, operação e medição da energia elétrica, definindo inclusive critérios e indicadores de qualidade da energia. Destacando que o PRODIST é composto pelos oito módulos abaixo:

- Módulo 1 – Introdução
- Módulo 2 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição
- Módulo 3 - Acesso aos Sistemas de Distribuição
- Módulo 4 - Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição
- Módulo 5 - Sistemas de Medição
- Módulo 6 - Informações Requeridas e Obrigações

- Módulo 7 - Perdas Técnicas Regulatórias
- Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica [54]

Porém, tratando de mini geração e micro geração distribuída de energia os módulos que necessitam atenção são o Módulo 3, para a proteção e controle quanto ao acesso ao sistema de distribuição e o Módulo 8, para garantir a qualidade da Energia Elétrica.

5.3.1 Módulo 3 do PRODIST

Este módulo é composto pelas condições de acesso ao sistema de distribuição, levando em conta a conexão e o uso, e trata de estabelecer os critérios técnicos e operacionais, os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, para novas conexões assim como às já existentes. A versão considerada neste trabalho é a de revisão 7, válida a partir de 1º de junho de 2017.

Para as centrais geradoras de micro geração ou mini geração distribuída, há os seguintes níveis de tensão de conexão a serem considerados para cada uma das faixas de potência demonstradas na Tabela 8.

Tabela 8 - Níveis de tensão considerados para conexão de centrais geradoras

Potência Instalada	Nível de Tensão de Conexão
< 10 kW	Baixa Tensão
10 a 75 kW	Baixa Tensão
76 a 150 kW	Baixa Tensão / Média Tensão
151 a 500 kW	Baixa Tensão / Média Tensão
501 kW a 10 MW	Média Tensão / Alta Tensão
11 a 30 MW	Média Tensão / Alta Tensão
> 30 MW	Alta Tensão

Fonte: [55].

Levando isso em conta, para as centrais geradoras de micro geração e mini geração, a Tabela 9 traz os requisitos mínimos de proteção e controle em função da potência instalada do mesmo para ter acesso ao sistema de distribuição.

Tabela 9 - Requisitos mínimos de proteção para acesso ao sistema de distribuição

EQUIPAMENTO	Potência Instalada		
	< 10 kW	10 Kw A 500 Kw	> 500 kW
Elemento de desconexão (1)	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção (2)	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobre tensão	Sim (3)	Sim (3)	Sim
Proteção de sub e sobre frequência	Sim (3)	Sim (3)	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobre corrente direcional	Não	Não	Sim
Sobre corrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim

Fonte: [56].

Notas da proteção:

- Chave seccionadora visível e acessível que a acessada, que é a distribuidora, usa para garantir a desconexão da central geradora durante manutenção em seu sistema.
- Elemento de desconexão e interrupção automático acionado por comando e/ou proteção.
- Não é necessário relé de proteção específico, mas um sistema eletro-eletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de desconexão.
- Nas conexões acima de 300 kW, se o lado da acessada do transformador de acoplamento não for aterrado, deve-se usar uma proteção de sub e de sobretensão nos secundários de um conjunto de transformador de potência em delta aberto. [57]

Além da proteção, o Módulo 3 apresenta, para a conexão de unidades da categoria de produção ao sistema de distribuição, algumas condições gerais para tal, entre elas destaca-se:

- O paralelismo das instalações do acessante com o sistema da acessada não pode causar problemas técnicos ou de segurança aos demais acessantes, ao sistema de distribuição acessado e ao pessoal envolvido com a sua operação e manutenção.
- O acessante é o único responsável pela sincronização adequada de suas instalações com o sistema de distribuição acessado.

- O acessante deve ajustar suas proteções de maneira a desfazer o paralelismo caso ocorra desligamento, antes da subsequente tentativa de religamento.
- Os estudos básicos, de responsabilidade do acessante, devem avaliar tanto no ponto de conexão como na sua área de influência no sistema elétrico acessado os seguintes aspectos:
 - Nível de curto-circuito;
 - Capacidade de disjuntores, barramentos, transformadores de instrumento e malhas de terra;
 - Adequação do sistema de proteção envolvido na integração das instalações do acessante e revisão dos ajustes associados, observando-se estudos de coordenação de proteção, quando aplicáveis;
 - Ajuste dos parâmetros dos sistemas de controle de tensão e de frequência e, para conexões em alta tensão, dos sinais estabilizadores.
 - A instalação do acessante, conectada ao sistema de distribuição, deve operar dentro dos limites de frequência estabelecidos no Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica. [58]

5.4 REGRAS E PROCEDIMENTOS DA DISTRIBUIDORA LOCAL – CELESC

A distribuidora de energia do estado de Santa Catarina, Celesc, tem suas próprias regras e procedimentos quanto a geração distribuída, um dos principais documentos é o Manual de Procedimentos da Celesc, os próximos tópicos abordam esses assuntos.

5.4.1 Manual de procedimentos da Celesc

É uma Instrução Normativa com o objetivo de estabelecer os requisitos mínimos necessários para a conexão de agentes classificados como micro ou mini geração de energia elétrica apenas ao sistema da Celesc Distribuição, em baixa tensão (BT) e em média tensão (MT). Em um aspecto legal a mesma é apoiada em todas as resoluções citadas anteriormente. Sua aplicação é destinada a todos os micros e minigeradores de energia elétrica e a todas as áreas da Celesc Distribuição envolvidas com sua conexão.

São necessárias algumas etapas para ter acesso da micro e mini geração ao sistema elétrico da Celesc Distribuição, primeiramente o acessante deverá encaminhar à distribuidora o Formulário de Solicitação de Acesso, que está anexado ao manual, Anotação de Responsabilidade Técnica – ART do profissional que é tecnicamente responsável pelo projeto elétrico, emitida pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina (CREA-SC), devidamente assinada pelo Responsável Técnico e pelo titular da unidade consumidora.

A classificação das atividades deve conter:

- Micro geração de Energia Solar até 5 kW com Alimentação Monofásica, ou;
- Micro geração de Energia Solar até 10 kW em Alimentação Trifásica, ou;
- Geração solar de energia elétrica, ou;
- Geração térmica de energia elétrica, ou;
- Geração eólica de energia elétrica, ou;
- Geração hidráulica de energia elétrica. [59]

Para a ART a atividade técnica deve ser “Projeto”. Além da classificação das atividades como mostrado anteriormente, a ART deve conter também as seguintes atividades técnicas:

- Aterramento de instalações elétricas em baixa tensão;
- Verificação final de instalações elétricas em média tensão (item 7 da NBR143);
- Verificação de instalação elétrica em baixa tensão com demanda de até 300 kVA (Capítulo 7 – NBR5410);
- Instalação elétrica em baixa tensão para fins residenciais/comerciais, ou;
- Instalação elétrica em baixa tensão para fins industriais, ou;
- Instalação elétrica média/alta tensão para fins residenciais/comerciais, ou;
- Instalação elétrica em alta tensão para fins industriais. [60]

Por fim, também deve ser enviado a Celesc um Memorial Descritivo da instalação contendo, os ajustes de proteção, diagramas unifilares, desenhos/projetos elétricos da instalação do micro ou minigerador, memória de cálculo dos condutores e eletrodutos utilizados e especificações técnicas dos equipamentos a serem instalados, neste caso, dos painéis fotovoltaicos.

Caso seja uma mini geração, há estudos operacionais extras necessários à conexão. Na Figura 19 há um exemplo de Requerimento de Solicitação de Acesso para Micro geração Distribuída com Potência Igual ou Inferior a 10 kW

Somente a partir do recebimento de todos os documentos que a Celesc aceitará a solicitação, para qualquer informação pendente o acessante terá 15 (quinze) dias para corrigi-las e a contagem do Parecer de Acesso é suspensa.

O Parecer de Acesso ou Parecer Técnico de Acesso é um documento emitido pela Celesc Distribuição em que ficam estabelecidos os requisitos e características técnicas da conexão, as condições de acesso que o acessante deverá atender, e demais características do empreendimento. Este parecer tem alguns prazos que devem ser cumpridos pela distribuidora quanto à sua emissão, são eles:

- 15 dias para solicitação de acesso de micro geração distribuída, se não houver necessidade de melhorias ou reforços no sistema de distribuição;
- 30 dias para solicitação de acesso de micro geração distribuída, se houver necessidade de melhorias ou reforços no sistema de distribuição;
- 30 dias para solicitação de acesso de mini geração distribuída, se não houver necessidade de melhorias ou reforços no sistema de distribuição;
- 60 dias para solicitação de acesso de mini geração distribuída, se houver necessidade de melhorias ou reforços no sistema de distribuição. [62]

Caso sejam necessárias qualquer tipo de melhorias ou reforços na rede para conexão da micro geração ou mini geração distribuída, a execução da obra pela distribuidora em questão será precedida da assinatura de contrato específico com o interessado, no qual devem estar discriminados as etapas e o prazo de implementação das obras e as condições de pagamento da participação financeira do consumidor.

Figura 19 - Requerimento de solicitação de acesso para micro geração distribuída com potência igual ou inferior a 10 kW

À

Celesc Distribuição S.A.

Ag. Regional de _____

Divisão Comercial

Prezado Senhor,

Vimos formalizar a solicitação de acesso ao Sistema Elétrico da Celesc Distribuição, na modalidade de microgerador de energia elétrica, participante do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, nos termos da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, de 17 de abril de 2012, conforme dados apresentados abaixo.

1. Identificação da Unidade Consumidora			
Código da Unidade Consumidora (ou consulta prévia, caso se trate de uma nova unidade consumidora):			
Classe	<input type="checkbox"/> Residencial	<input type="checkbox"/> Comercial	<input type="checkbox"/> Rural
	<input type="checkbox"/> Industrial	<input type="checkbox"/> Poder Público	
	<input type="checkbox"/> Serviço Público	<input type="checkbox"/> Outros	
Titular da UC			
CPF/CNPJ			
Nome do Representante Legal (se for o caso)			
CPF do Representante Legal (se for o caso)			
Endereço			
Município		CEP	
E-mail			
Telefone fixo		Celular	
2. Dados da Unidade Consumidora			
Carga instalada (kW)		Tensão de atendimento (V)	
Tipo de conexão	<input type="checkbox"/> Monofásica	<input type="checkbox"/> Bifásica	<input type="checkbox"/> Trifásica
3. Dados da Geração			
Potência Instalada de geração (kW)			
Tipo da Fonte de Geração	<input type="checkbox"/> Hidráulica	<input type="checkbox"/> Solar	<input type="checkbox"/> Eólica
	<input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada	<input type="checkbox"/> Biomassa	
	Outra (especificar): _____		

Fonte: [61].

Ao finalizar o Parecer Técnico de Acesso, o acessante receberá além deste o Acordo Operativo ou Acordo de Relacionamento Operacional, conforme o caso. O Acordo Operativo deverá ser celebrado entre as partes no prazo máximo de 120 (cento e vinte) dias após a emissão do parecer de acesso. Nos casos de micro geração, não há necessidade de celebrar o Relacionamento Operacional, sendo suficiente a emissão deste por parte da Celesc.

Em casos onde o acessante possua mais de uma unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia elétrica, a relação dessas unidades deve ser apresentada pelo consumidor no momento da Solicitação de Acesso. O consumidor deverá definir o percentual da energia excedente que será destinado a cada unidade consumidora que esteja no sistema de compensação, podendo ser alterados a qualquer momento, mediante solicitação por escrito com 60 dias de antecedência no mínimo.

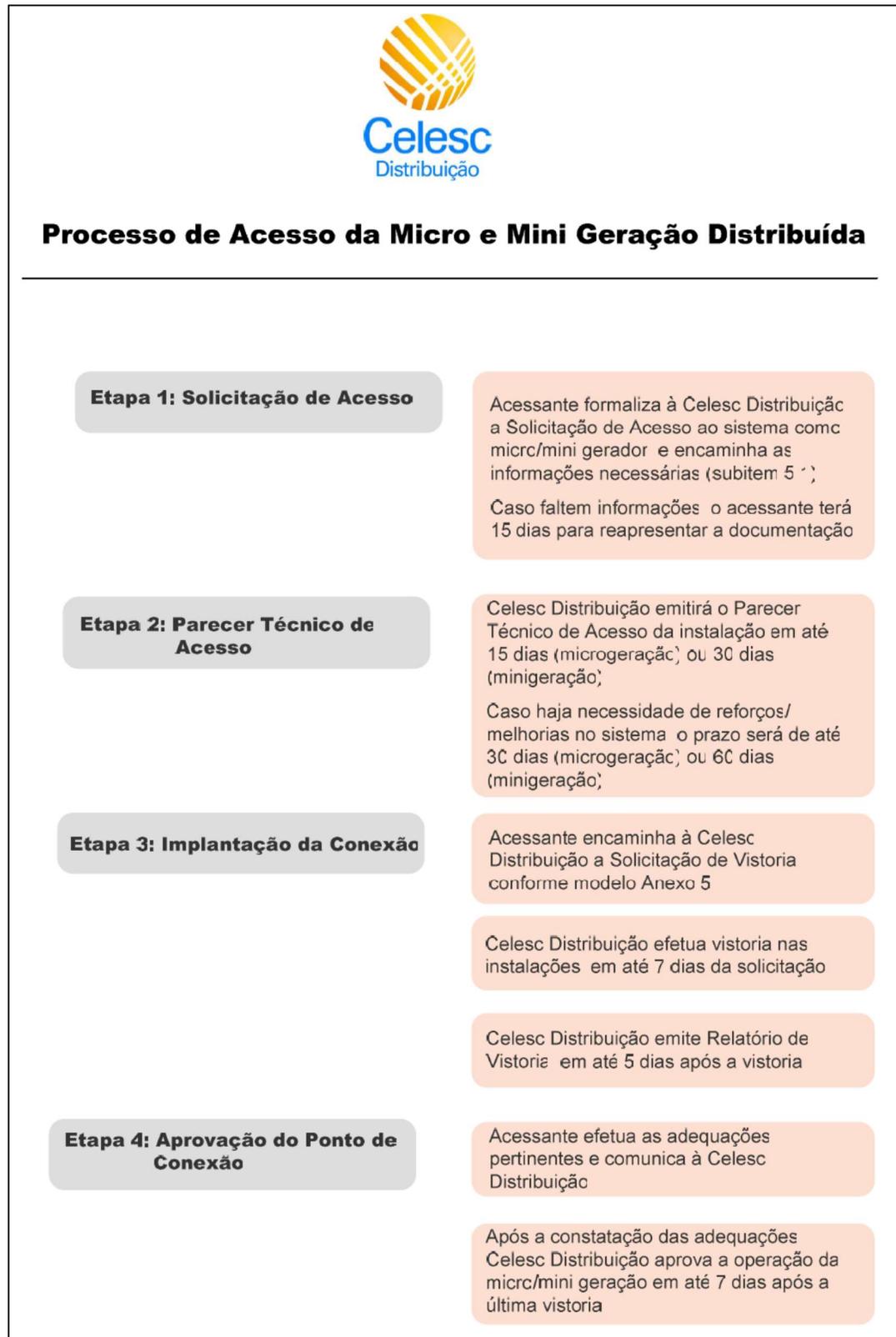
Estando sem pendências e realizado uma vistoria, a Celesc emitirá a aprovação do ponto de conexão em até 7 (sete) dias após isto. Com pendências o acessante deverá efetuar as adequações técnicas pertinentes, conforme o Relatório de Vistoria, e informar a Celesc Distribuição quando as pendências foram eliminadas. A Celesc efetuará a avaliação técnica e, caso não haja pendências, a aprovação do ponto de conexão será efetuada no mesmo prazo inicial de 7 (sete) dias.

O manual também traz critérios básicos de conexão e proteção, que são descritos como os mesmos apontados anteriormente no Módulo 3 e 8 do PRODIST.

Quanto aos requisitos do sistema de medição de energia, fica definido que para os acessantes classificados como micro ou minigeradores de energia, a Celesc instalará um medidor de energia bidirecional, em substituição ao medidor instalado na unidade consumidora. Porém, em alguma situação especial, por conveniência técnica, a Celesc poderá optar pela instalação de dois medidores de energia unidirecionais. E ficará responsável o acessante da mini geração pela diferença entre os custos dos componentes do sistema de medição requeridos para o sistema de compensação de energia elétrica e dos componentes do sistema de medição convencional utilizados em unidades consumidoras do mesmo nível de tensão. [63]

A Figura 20 traz um fluxograma para viabilização do acesso para micro e mini geração de energia, que é disponibilizado pela Celesc.

Figura 20 - Fluxograma para viabilização do acesso disponibilizado pela Celesc



5.4.2 Sistema de tarifação

Os tópicos abaixo descrevem as principais características e definições do sistema de tarifação brasileiro, que segue a Resolução Normativa N° 414/2010.

5.4.2.1 Grupos A e B

Sendo que o grupo A (alta tensão) é composto por unidades consumidoras que recebem energia em tensão igual ou superior a 2,3 (kV) ou são atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia (aplicada ao consumo e à demanda faturável), consumo (kWh) e demanda (kW). No grupo A, subdividido em seis subgrupos, geralmente se enquadram indústrias e estabelecimentos comerciais de médio ou grande porte. O grupo B (baixa tensão) é caracterizado por unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 2,3 kV, com tarifa monômia (aplicável apenas ao consumo), consumo (kWh). Está subdividido em quatro subgrupos. O consumidor do tipo B1 é o residencial. O consumidor rural é chamado de B2, enquanto estabelecimentos comerciais ou industriais de pequeno porte, como por exemplo uma pastelaria ou uma marcenaria, são classificados como B3. A iluminação pública é enquadrada no subgrupo B4, divididos em duas categorias, B4a, quando se trata da rede de distribuição da iluminação pública e B4b, para o consumo referente aos bulbos das lâmpadas. [65]

Tabela 10 - Grupo A – Classificação dos Subgrupos

Subgrupos	Tensão de Fornecimento
A1	230 kV ou mais
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	inferior a 2,3 kV (sistema subterrâneo)

Fonte: [66].

Tabela 11 - Grupo B – Classificação dos Subgrupos

Subgrupos	Descrição
B1	Residencial
B2	Rural
B3	Demais Classes
B4a e b	Iluminação Pública - Rede de Distribuição e Lâmpadas

Fonte: [67].

5.4.2.2 Modalidades tarifárias

Além dos grupos, são definidas também as modalidades tarifárias, que são classificadas a partir do grupo, horários de consumo e demandas. Sendo as modalidades descritas abaixo:

- Convencional monômnia: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia.
- Horária branca: Aplicada às unidades consumidoras do grupo B, exceto para o subgrupo B4 e para as subclasses Baixa Renda do subgrupo B1, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia.
- Convencional binômnia: Aplicada às unidades consumidoras do grupo A caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia.
- Horária verde: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência. [68]

Tabela 12 - Horária verde

Horários do Dia	Maio a Novembro (Período Seco)	Dezembro a Abril (Período Úmido)
Ponta - 3 horas (18h30 às 21h30)	Consumo - Ponta seca	Consumo - Ponta úmida
Fora de ponta (21h restantes)	Consumo - Fora de ponta seca	Consumo - Fora de ponta úmida
Dia inteiro (24 horas)	Demanda única	Demanda única

Fonte: [69].

- Horária azul: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia;

Tabela 13 - Horária azul

Horários do Dia	Maio a Novembro (Período Seco)	Dezembro a Abril (Período Úmido)
Ponta - 3 horas (18h30 às 21h30)	Consumo e Demanda - Ponta seca	Consumo e Demanda - Ponta úmida
Fora de ponta (21h restantes)	Consumo e Demanda - Fora de ponta seca	Consumo e Demanda - Fora de ponta úmida

Fonte: [70].

Para melhor entendimento, abaixo as definições dos horários de ponta e fora de ponta, e período seco e úmido.

- Horário de Ponta: período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora, nesse caso a CELESC, com exceção feita aos sábados, domingos, e alguns feriados.
- Horário Fora de Ponta: Período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.
- Período úmido: período de 5 (cinco) ciclos de faturamento consecutivos, referente aos meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.
- Período seco: período de 7 (sete) ciclos de faturamentos consecutivos, referente aos meses de maio a novembro. [71]

Lembrando que no período seco (maio a novembro) as tarifas de consumo na ponta e fora de ponta são mais caras que no período úmido.

5.4.3 Taxação

A tarifa de energia elétrica é calculada da seguinte forma: estimam-se os custos com geração, transmissão e distribuição de energia. Acrescentam-se os valores estipulados como encargos e divide-se esse valor pelo mercado da distribuidora para obter a tarifa a ser cobrada dos consumidores. Sobre esse valor ainda incidem os tributos Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). [72]

É importante ressaltar que a grande maioria dos estados brasileiros isentaram o ICMS da energia obtida pelo sistema de compensação, pois o excedente produzido durante o dia, entregue

gratuitamente a concessionária, poderia ser compensado no período da noite (por exemplo) sem o ICMS, porém a distribuidora de Santa Catarina, Celesc, ainda incide o imposto sobre toda a energia consumida, o que prejudica no retorno sobre os investimentos nos sistemas de geração distribuída. Há ainda, no estado de Santa Catarina, muitos clientes da concessionária entrando com ações judiciais para excluir completamente a cobrança de ICMS nas suas contas, isso possibilitaria numa redução de aproximadamente 10% nas contas de luz².

5.4.4 Sistema de compensação da Celesc

A CELESC tem o sistema de compensação tal qual a legislação vigente define. Para conectar sistemas de micro geração fotovoltaicos ao sistema de distribuição em baixa tensão o medidor utilizado possui dois registros: um de consumo, da energia entregue à unidade consumidora e outro de geração, da energia entregue pela unidade consumidora ao sistema elétrico. Sendo feita a leitura dos dois registros, é cobrada do consumidor a diferença entre os dois, ao fim de cada período de faturamento. Porém, nos casos em que o consumo verificado for inferior ao consumo mínimo ou em que a geração seja maior do que o consumo, para unidade consumidora do grupo B, é cobrado um consumo mínimo, de acordo com o tipo de instalação.

Tendo o consumidor, quando sua geração for maior do que o consumo, o direito a ter um crédito de energia, referente a diferença da geração e consumo, junto à distribuidora. Sendo que os créditos obtidos podem ser acumulados por até 60 meses e utilizados para compensar o consumo de outros períodos. Também há a possibilidade desses créditos serem utilizados para compensar o consumo de outras unidades consumidoras, desde que possuam o mesmo CPF ou CNPJ e estejam conectadas a rede de distribuição da CELESC. A unidade consumidora na qual se encontra instalado o sistema de geração é a primeira a ter seu consumo compensado, havendo outras unidades o acessante poderá determinar a ordem de prioridade das unidades que terão o consumo compensado. [73]

² Disponível em: <http://dc.clicrbs.com.br/sc/estilo-de-vida/noticia/2017/07/catarinenses-conseguem-na-justica-exclusao-da-cobranca-do-icms-na-conta-de-luz-9836988.html>

6 ESTUDO DE CASO

Com base nos elementos apresentados nos capítulos anteriores e suas análises, este capítulo tem como objetivo estudar a viabilidade técnica e financeira de um sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede, *Grid-Tie*, para um escritório contêiner, localizado na cidade de Criciúma, Sul do Estado de Santa Catarina, com quatro funcionários. A unidade é atendida por uma rede de distribuição secundária, com tensão contratada de 220 V, e classificada como uma unidade Comercial. Além disso, a unidade está classificada no Grupo B de tarifas, que tem tarifa monômnia, ou seja, cobrada apenas pelo consumo.

Por meio de sua metodologia, o estudo visa se aproximar da realidade utilizando os conceitos previamente apresentados no trabalho e as devidas simulações. Portanto, as escolhas e soluções apresentadas são baseadas no panorama atual de tecnologia, legislação e condições climáticas.

6.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Serão apresentadas ferramentas e métodos para avaliar o recurso solar do local, seguindo com estimativas para dimensionar o tamanho do sistema, com a escolha dos principais componentes do sistema, uma representação em imagem do sistema instalado e seu diagrama elétrico.

6.1.1 Avaliação do recurso solar

Para iniciar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico necessita-se a avaliação do potencial energético solar do local de destino, para que seja estimada a quantidade de irradiação global horizontal na localização. Após isto, determina-se a orientação azimutal e inclinação dos painéis, obtendo a irradiação total incidida sobre os módulos fotovoltaicos podendo assim calcular a estimativa de energia gerada.

Em se tratando do Brasil os dados históricos de irradiação estão disponíveis em diversas formas, abaixo algumas das fontes com que disponibilizam estes dados e que são reconhecidas:

- Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) - Programa SunData. [74]
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição – 2017. [75]
- Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da UFRGS - Programa Radasol 2. [76]
- Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA). [77]
- Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA). [78]

A fim de obter as informações relevantes quanto ao recurso solar, foram utilizados o banco de dados da SWERA e o programa Radasol 2. Isto foi necessário pois o Radasol 2, criado pelo LABSOL da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), permite que o usuário defina o ângulo de inclinação e o ângulo de orientação azimutal do plano dos módulos fotovoltaicos, porém, dependendo do caso, é necessário que o usuário informe os dados da irradiação horizontal média diária de cada mês e dados de temperatura mensais. Depende do caso pois existe um banco de dados incorporado ao programa, com dados do Atlas Solarimétrico, e do próprio SWERA que não contemplam todos os locais, e sim utilizam-se de ferramentas de interpolação para gerar dados dos outros locais que não tenham dados. Como o programa Radasol 2 não possui dados da localização necessários, foi mais prudente a adição dos dados necessários.

O software Radasol 2 então, é capaz de sintetizar dados horários de irradiação global, e dividir esses dados em valores de radiação direta e difusa para cada hora ao longo de um ano, e por fim calcular a desejada irradiação horária sobre o plano inclinado. Por fim, os resultados são apresentados em gráfico e permitem a exportação de dados mensais ou horários da radiação solar e suas componentes direta e difusa, assim como a inclinada.

Um dos parceiros e colaboradores do SWERA é o próprio INPE, que disponibiliza seus dados para a iniciativa.

6.1.1.1 *Irradiância global horizontal*

O SWERA disponibiliza uma ferramenta executada diretamente no navegador de internet, que permite localizar, através de uma representação gráfica em mapa, a localização que se deseja obter os dados mensais de irradiação global horizontal diária por mês em kWh/m²/dia. Com os dados de latitude e longitude, 28° 67' 82,67'' e 49° 36' 32,71'' O, na cidade de Criciúma, Santa Catarina, obtem-se os resultados apresentados na Figura 21.

Figura 21 - Irradiação global horizontal diária mensal do local do contêiner

▲ GHI INPE Moderate Resolution	
▲ Result 1 of 1	
Annual Avg GHI 4.656	
(kWh/m sq. per day):	
Jan Avg GHI:	6.338
Feb Avg GHI:	5.786
Mar Avg GHI:	4.988
Apr Avg GHI:	4.094
May Avg GHI:	3.349
Jun Avg GHI:	2.884
Jul Avg GHI:	2.847
Aug Avg GHI:	3.683
Sep Avg GHI:	4.34
Oct Avg GHI:	4.995
Nov Avg GHI:	6.059
Dec Avg GHI:	6.513

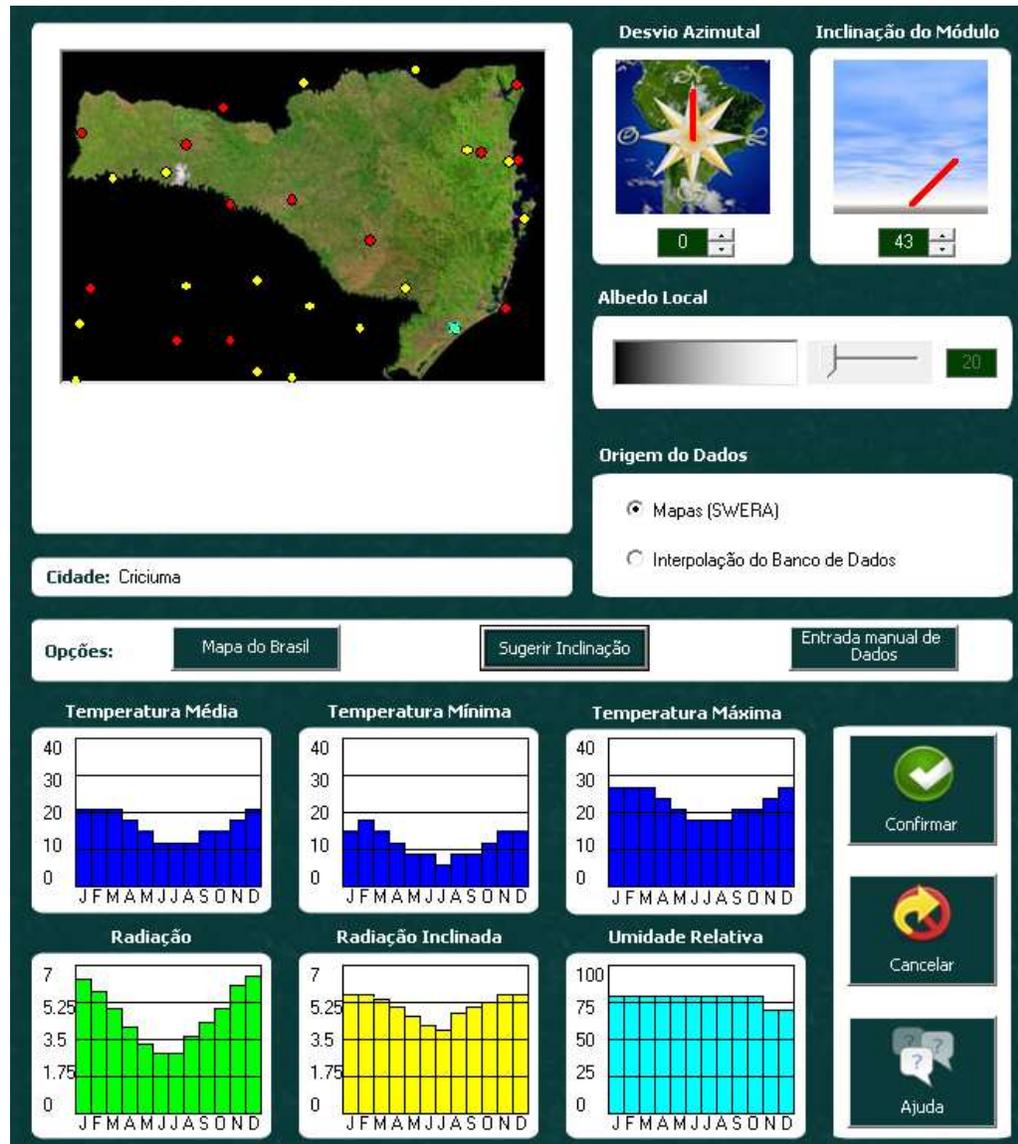
Fonte: [79]

6.1.1.2 *Irradiância total inclinada*

O programa Radiasol 2 ao receber os dados da localidade através da entrada manual de dados, adiciona a mesma em sua interface de mapas, e permite ao usuário escolher o desvio azimutal, que neste caso, por se tratar de um contêiner, além de sua superfície ser totalmente plana,

sua disposição azimutal é flexível, então foi estipulado o melhor desvio azimutal para os módulos, que é em direção ao norte, ou seja, desvio azimutal 0.

Figura 22 - Tela inicial do programa Radiasol 2

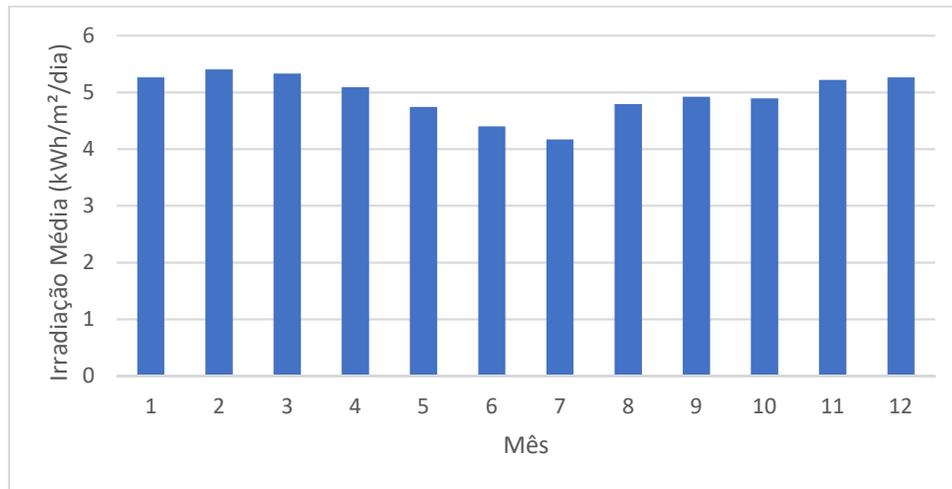


Fonte: Autor, 2017.

A ferramenta também pode fazer uma sugestão de inclinação, que no nosso caso resultou em um ângulo de 43° para as placas, que leva em conta o melhor resultado no geral, para todos os meses, visando diminuir a disparidade entre meses de inverno e outono, que possuem menor incidência solar, com verão e primavera, que tem maior. A Figura 22, o Gráfico 4 e o Gráfico 5 trazem respectivamente a tela inicial, com as configurações citadas a cima, os dados exportados de

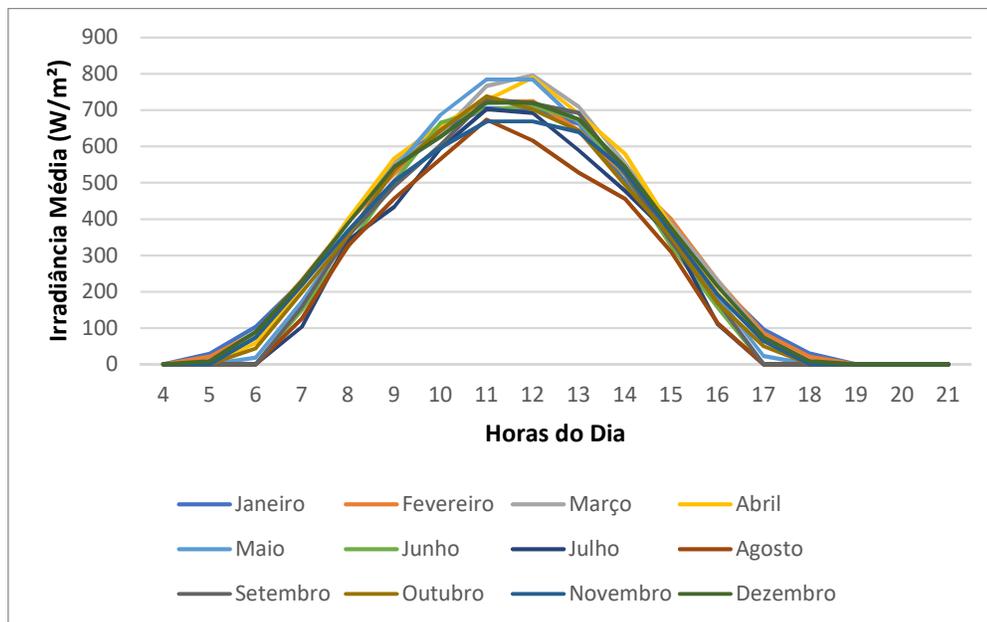
irradiação média mensal e os dados exportados de irradiação média horária mensal, para um desvio azimutal de 0° e inclinação de 43° dos módulos.

Gráfico 4 - Irradiação média diária por mês, desvio azimutal 0° e inclinação de 43°



Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 5 - Irradiância média horária mensal, desvio azimutal 0° e inclinação de 43°



Fonte: Autor, 2017.

A irradiância média diária anual, do Gráfico 5, levando em conta o resultado de todos os meses, é de $4,95 \text{ kWh/m}^2$.

6.1.2 Parâmetros de consumo

Inicialmente levantou-se o valor médio de consumo da unidade consumidora, porém pelas características da mesma, sendo a atividade do consumidor comercial, ficou estipulado que aproximadamente 95% do consumo mensal ocorre durante os dias úteis do escritório, de segunda a sábado, e 5% durante os domingos, pois o escritório não abre, ficando com carga mínima, apenas lâmpadas, frigobar, e equipamentos fora de uso, porém conectados à tomada, em *stand-by*.

6.1.2.1 Consumo médio mensal

Analisando o histórico de consumo de 12 meses do ano, Tabela 14, calcula-se uma média de consumo em kWh do escritório contêiner. O valor médio de consumo é de cerca de 207 kWh. Por se tratar de uma unidade comercial, seu subgrupo tarifário é o B3.

Tabela 14 - Histórico de consumo de energia elétrica mensal

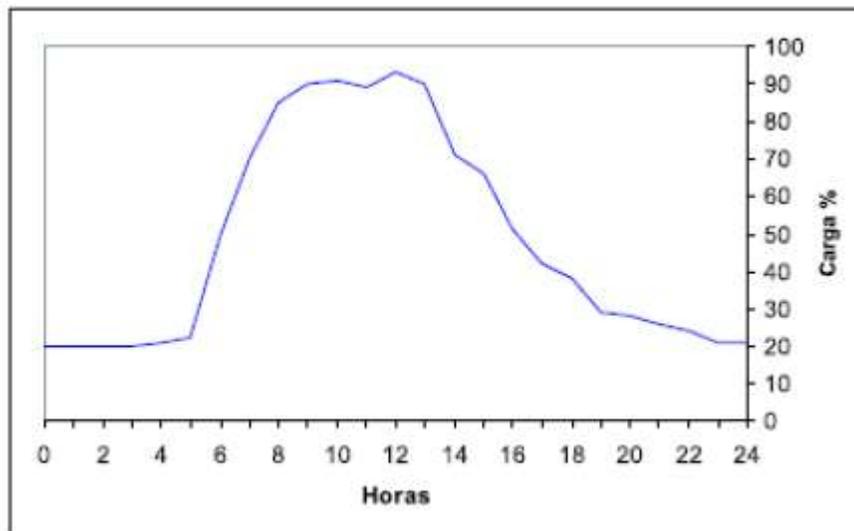
Mês	Consumo de Energia Elétrica (kWh)
Janeiro	178
Fevereiro	398
Março	360
Abril	225
Mai	175
Junho	180
Julho	223
Agosto	259
Setembro	109
Outubro	100
Novembro	100
Dezembro	176

Fonte: Autor, 2017.

6.1.2.2 Consumo padrão (dias úteis)

Cada consumidor tem uma característica de consumo particular, nesse caso o consumidor exerce atividade comercial, ou seja, sua curva de carga tem algumas peculiaridades na utilização de energia, a maior parte do consumo se dá dentro do horário comercial, com uma leve queda entre 11 e 12 horas, período do almoço. O escritório funciona de segunda a sábado, ou seja estes são considerados os dias úteis para o consumo padrão.

Figura 23 - Curva de carga típica da classe comercial



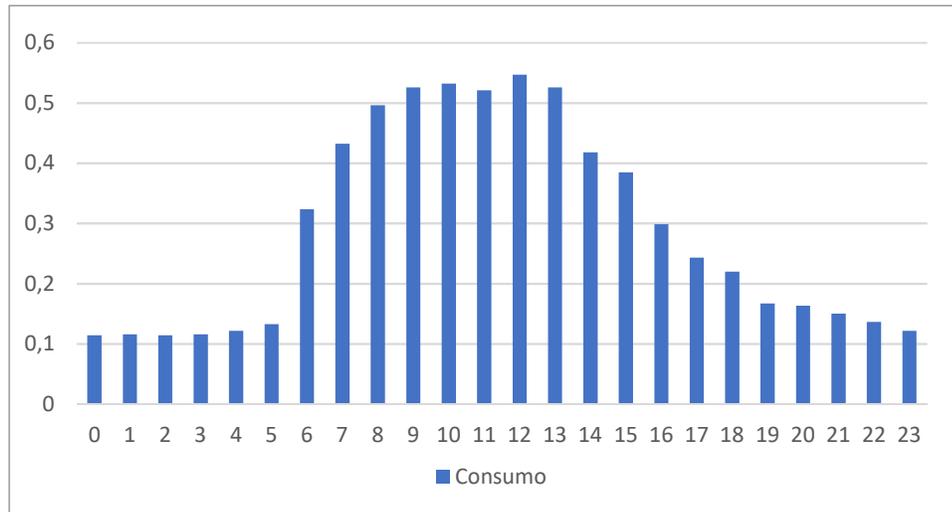
Fonte: [80].

Com auxílio de ferramentas computacionais os dados da curva típica foram exportados da imagem. Então, a Gráfico 6 traz, para dias úteis, nesse caso de segunda a sábado, a curva de carga típica para consumidor comercial para um consumo diário de 7,56 kWh. O que em um período de 30 dias, com 26 úteis, totaliza em 95% do consumo médio da unidade.

6.1.2.3 Consumo padrão (Domingo)

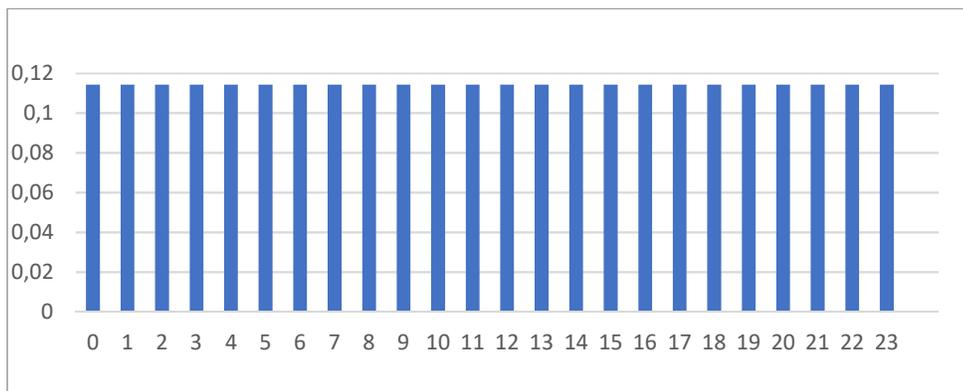
Já para os finais de semana, onde não há atividades no escritório, estipulou-se que a carga se comporta como nos horários onde o escritório está fechado, com cerca de 20% da carga em uso. Usando a mesma lógica anterior, porém agora totalizando um consumo diário para os domingos de 2,59 kWh. O que em um período de 30 dias, com 4 domingos, totaliza em 5% do consumo médio da unidade. Então para os domingos tem-se o Gráfico 7.

Gráfico 6 - Consumo de energia elétrica nos dias úteis



Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 7 - Consumo de energia elétrica nos domingos



Fonte: Autor, 2017.

6.1.3 Avaliação do espaço físico

O local de instalação será na parte cobertura de um escritório contêiner de 40 pés, as dimensões de altura, largura e comprimento estão descritas na Figura 24. A área total disponível na parte superior do contêiner é de 29,74 metros quadrados. Porém, por questões de manutenção e instalação, tem de se ter bom senso ao determinar a área de ocupação das placas.

Para objetivo deste estudo, não será considerado construções que produzam significativas perdas por sombreamento, pelo fato de a construção em contêiner ter a flexibilidade de escolher o local mais adequado. O lado com maior face do contêiner está voltado para o Norte geográfico, sendo esta a direção ideal para instalações fotovoltaicas no hemisfério Sul para módulos solares fixos.

Figura 24 - Dimensões contêiner de 40 pés



Fonte: Autor, 2017.

6.1.4 Módulo fotovoltaico

A etapa do cálculo da potência do sistema fotovoltaico é realizada levando em conta a energia que se deseja gerar, a irradiação total diária e a taxa de desempenho do sistema, já considerando estes valores para uma inclinação de 43° e voltada para o Norte geográfico. Após isto, com a definição de marca e modelo do módulo, pode-se encontrar a quantidade de painéis necessárias para o sistema.

6.1.4.1 Cálculo de potência

Definiu-se que a instalação irá suprir 100% da energia média consumida pelo escritório, sem descontar os 30kWh pagos obrigatoriamente a distribuidora mensalmente, para servir como uma margem de segurança e até para permitir certos aumentos na carga instalada da unidade, já que uma instalação dessas leva alguns anos para se pagar e adições de carga podem ocorrer. O cálculo da potência das placas a serem instaladas são calculadas pela equação 6.1:

$$P_{FV} = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}} \quad (6.1)$$

Onde:

P_{FV} (Wp) – Potência de pico do painel;

E (Wh/dia) – Consumo diário médio anual da edificação;

HSP_{MA} (h) – Média diária anual das HSP (Horas de Sol Pleno) incidente no plano do painel FV;

TD (*adimensional*) - Taxa de desempenho. [81]

Sendo:

$$HSP_{MA} = \frac{H_{med}}{1 \text{ kW/m}^2} \quad (6.2)$$

$$E = \frac{E_{mês}}{30} \quad (6.3)$$

Onde:

H_{med} (kWh/m²/dia) - Irradiação média diária anual;

$E_{mês}$ (Wh) – Consumo mensal médio anual da edificação. [82]

Será considerado $TD=0,75$, pois para SFCRs de potência menor, uma TD entre 70 e 80% pode ser obtida nas condições de radiação solar encontradas no Brasil. [83]

Então, para os seguintes valores:

$$E_{mês} = 207.000 \text{ Wh};$$

$$H_{med} = 4,95 \text{ kWh/m}^2;$$

$$TD = 0,75.$$

Obtém-se um valor de potência nominal de painéis fotovoltaicos a ser instalada de 1,86 kWp para suprir o consumo médio mensal. Porém, como será visto no próximo tópico, o módulo tem uma previsão de degradação anual de potência, para os módulos FV nos próximos 25 anos, de 0,7%. A partir da equação 6.4 calcula-se a nova potência:

$$NP_{FV} = P_{FV}x(1 + DP_{FV})^{anos} \quad (6.4)$$

NP_{FV} (Wp) – Potência de pico do painel levando em conta a degradação dos módulos;

P_{FV} (Wp) – Potência de pico do painel;

DP_{FV} (%) – Degradação anual dos módulos.

Portanto, levando em conta a degradação dos módulos, o novo valor de potência nominal de painéis fotovoltaicos a ser instalada é de 2,21 kWp para suprir o consumo médio mensal. Seguem os cálculos da potência necessária e da nova potência levando em conta a degradação nas equações 6.5 e 6.6, respectivamente.

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{207000}{30}\right)/0,75}{4,95} = 1,858 \text{ kWp} \quad (6.5)$$

$$NP_{FV} = 1,858x(1 + 0,007)^{25} = 2,21 \text{ kWp} \quad (6.6)$$

6.1.4.2 Escolha do módulo

O módulo fotovoltaico para ser utilizado neste estudo é o da marca GCL modelo P6/72, Figura 25, cuja folha de dados encontra-se no Anexo 1. A Tabela 15 especifica, para *Standard Test Conditions* (STC), ou seja, com massa de ar = 1,5, irradiância = 1000 W/m² e temperatura da célula de 25°C, as seguintes características para este módulo:

Tabela 15 - Descrições Técnicas do Módulo Fotovoltaico

Marca	GCL
Modelo	P6/72
Tipo	Poly - Si
Máxima Potência (Pm)	325 W
Tolerância	0 ~ + 5 W
Voltagem de Máxima Potência (Vm)	37,6 V
Corrente de Máxima Potência (Im)	8,64 A
Voltagem de Circuito Aberto (Voc)	46,0 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9,24 A
Voltagem Máxima do Sistema	1000 V
Eficiência do Painel	16,7%
Dimensões do painel	(1956 x 992 x 40) mm
Peso	26 kg
Número de Células	72 (6x12)

Fonte: Autor, 2017.

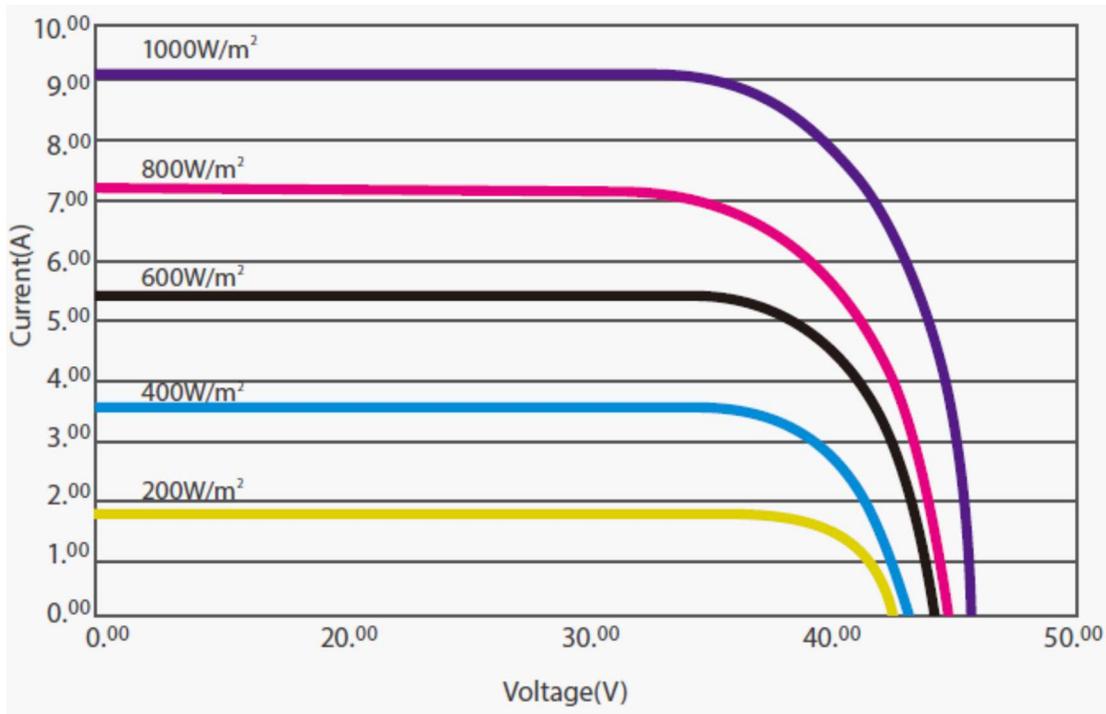
Figura 25 - Módulo FV da GCL modelo P6/72



Fonte: Anexo 1.

O módulo funciona bem até em condições de irradiância menor, de $200\text{W}/\text{m}^2$, uma das razões pela escolha dele. Este desempenho pode ser verificado na Figura 22, que traz as curvas de tensão em corrente de acordo com a irradiância sobre o módulo para o modelo de 315 W da mesma marca, que acompanha o datasheet do modelo escolhido.

Figura 26 - Curvas de tensão em corrente de acordo com a irradiância

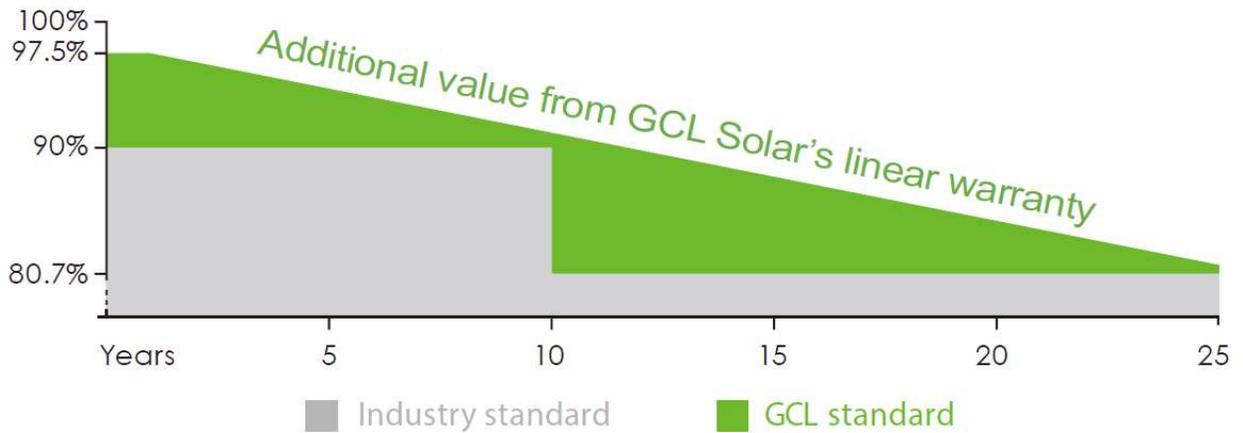


Fonte: Anexo 1.

Além disso, os módulos possuem certificação IEC 62716, Anexo 1, que incluem os testes da certificação IEC 61215 [84], que garante a preservação física do mesmo, em chuvas de granizo com esferas de gelo de 203 gramas a uma velocidade de 142 km/h, além de outros testes e ensaios, como potência máxima e desempenho em situações extremas [85]. Adicionado a isso, os módulos passam por testes de qualidade bem rigorosos e possuem certificado Inmetro Classe A, índice máximo do instituto. Certificações como estas dão mais segurança na escolha dos módulos [86].

Outra razão pela escolha, são as garantias oferecidas pela fabricante, uma com garantia total do produto de 10 anos, e outra que garante um decréscimo linear de potência, de 25 anos. A previsão é que em 25 anos os módulos operem com 80,7% da potência nominal, ou seja, uma degradação anual de aproximadamente 0,7% (levando em conta que a performance inicial é de 97,5%), a Figura 23 demonstra a perda de desempenho. Isto é importante, pois o retorno do investimento de um sistema fotovoltaico é de longo prazo, e tais garantias dão mais segurança ao investidor.

Figura 27 – Curva de desempenho dos módulos



Fonte: Anexo 1.

6.1.4.3 Quantidade de módulos

Em posse dos valores da potência de módulos necessária e da potência nominal do módulo escolhido, poderá se determinar o número de módulos, ou painéis, necessários, dividindo um pelo outro.

$$NP = \frac{1000 * P_{FV}}{PI} \quad (6.7)$$

Onde:

NP - Número de módulos fotovoltaicos;

P_{FV} (kWp)- Potência instalada;

PI - Potência individual do painel (kWp).

Com isso, através da equação 6.7, determina-se o número de módulos necessários para atingir a potência instalada necessária determinada anteriormente. Com $P_{FV} = 2,21$ kWp e $PI = 325$ Wp serão necessários 7 módulos fotovoltaicos da marca GCL modelo P6/72.

6.1.4.4 *Área ocupada pelos módulos*

Levando-se em conta as dimensões apresentadas anteriormente, cada módulo possui área de 1,94 metro quadrado, ou seja, seis módulos ocupariam 11,64 metros quadrados, condizente com o espaço disponível na parte superior da estrutura. E, de acordo com as informações listadas anteriormente também, os módulos resultam em um peso total de 156 kg, que são suportados pela estrutura do contêiner. A disposição dos módulos será detalhada mais a frente, em outro tópico.

6.1.5 **Inversor**

São necessários ao dimensionamento de um inversor, a potência do gerador FV, as características elétricas do módulo utilizado, características ambientais (no caso de instalações externas), além da topologia de instalação escolhida. [87]

Tal como na escolha do modelo dos módulos FV, a escolha por um fabricante de inversores também deve considerar a credibilidade da empresa, a garantia do equipamento, entre 5 e 10 anos normalmente, sua capacidade produzida acumulada e se dispõe de assistência técnica no Brasil.

6.1.5.1 *Fator de dimensionamento de inversores*

O Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) representa a relação entre a potência nominal C.A. do inversor e a potência de pico do gerador FV, como mostra a Equação abaixo. Análise de literatura mostra que os valores inferiores de FDI recomendados por fabricantes e instaladores situam-se na faixa de 0,75 a 0,85, enquanto que o limite superior é de 1,05.

$$FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} \quad (6.8)$$

FDI (adimensional) – Fator de dimensionamento do inversor;

PNca (W) – Potência nominal em corrente alternada do inversor;

PFV (Wp) – Potência pico do painel fotovoltaico. [88]

No sistema dimensionado, determinou-se que para produzir a energia necessária seriam necessários 7 módulos. Optou-se por ligar os módulos em série, pois o número de módulos é baixo.

De acordo com os dados do fabricante a tensão de circuito aberto dos módulos em STC é $V_{OC} = 46,0 \text{ V}$. Portanto, com 7 módulos ligados em série tem-se $V_{OC,STRING} = 46,0 \times 7 = 322 \text{ V}$.

A tensão de entrada do inversor é a soma das tensões dos módulos associados em série, porém a tensão possui forte dependência da temperatura, as condições extremas de inverno e verão deverão ser utilizadas no dimensionamento. Na folha de dados do módulo encontra-se o coeficiente de temperatura para a tensão de circuito aberto igual a $-0,35\%/^{\circ}\text{C}$, o que significa que para cada grau de redução de temperatura existe um aumento de $0,35\%$ na tensão de saída do módulo. Considerando que em Criciúma/SC, de acordo com históricos de temperatura, os painéis não irão operar em temperaturas menores do que 5°C , calcula-se:

$$\text{Variação percentual de tensão} - (25-5) \times 0,35\% = 7,0\%$$

$$\text{Variação de Tensão} - 7,0\% \times 322\text{V} = 22,54\text{V}$$

$$\text{Tensão total na temperatura de } 5^{\circ}\text{C} - V_{OC,STRING} = 322\text{V} + 22,54\text{V} = 344,54\text{V}$$

Para saber se é possível ligar esses módulos em série com a tensão total de $344,54\text{V}$ na temperatura mais baixa considerada, é preciso verificar se existe um modelo de inversor adequado para essa tensão. [89]

Sabendo do valor de pico total do sistema fotovoltaico de $2,275 \text{ Kw}$ e do valor de tensão total na temperatura mais baixa considerada, foi escolhido um inversor para que o fator de dimensionamento resultante fique no intervalo de $0,75$ e $1,05$, para melhor aproveitamento e com melhor relação de custo-benefício. O inversor escolhido foi o modelo Galvo 2.0-1 da marca Fronius, de $2,0 \text{ kW}$ de potência nominal, com um fator de dimensionamento resultante de $0,88$, suas principais características de entrada, que estão na Tabela 11, e de saída na Tabela 12.

O inversor possui diversos certificados e já possui um disjuntor CC integrado para proteção. Suas informações físicas e de proteção estão na Tabela 13.

Tabela 16 - Características de entrada do inversor Fronius Galvo 2.0-1

Dados de Entrada	Fronius Galvo 2.0-1
Potência CC máxima para $\cos \varphi=1$	2140 W
Máx. corrente de entrada	17,8 A
Corrente curto circuito	26,8 A
Min. Tensão MPP	120 V
Min. tensão de entrada	140 V
Tensão nominal de entrada	260 V
Tensão máxima de entrada	420 V
Faixa de tensão MPP	120-335 V

Fonte: [90].

Tabela 17 - Características de saída do inversor Fronius Galvo 2.0-1

Dados de Saída	Fronius Galvo 2.0-1
Potência nominal	2000 W
Potência máxima	2000 VA
Corrente máxima	9,7 A
Tensão mínima	180 V
Tensão máxima	270 V
Frequência	50/60 Hz
Faixa de frequência	45 - 60 Hz

Fonte: [91].

Tabela 18 - Informações físicas e de proteção do inversor Fronius Galvo 2.0-1

Dimensões (altura x largura x profundidade)	645 x 431 x 204 mm
Peso	16,4 Kg
Instalação	Montagem interna e externa
Faixa de temperatura ambiente	-25°C to +50°C
Umidade relativa permitida	0 % to 100 %
Certificados e requisitos	IEC 62109-1-2, IEC 62116, IEC 61727
Comportamento de sobrecarga	Mudança do ponto de operação, limitação da produção
Disjuntor CC	Integrado

Fonte: [92].

Figura 28 - Inversor Fronius Galvo 2.0-1



Fonte: [94].

6.1.6 Condutores

Dois trechos de cabeamento serão dimensionados, o primeiro entre os módulos fotovoltaicos e o inversor, e o segundo do inversor até o quadro de distribuição. O dimensionamento de condutores, deve respeitar a NBR 5410/2004.

A corrente em máxima potência dos módulos é de 9,00 A, com os módulos conectados em série, esta será a corrente máxima do sistema também.

6.1.6.1 *Módulos ao inversor*

Considerando a disposição dos módulos, lado a lado, deitados, com um comprimento individual de 1,9 metros cada, totalizando 13,7 metros e mais a descida do cabeamento, que estará

na parte interna do contêiner, próximo da descida do cabo, supondo folga de mais 3 metros, cerca de 17 metros de cabeamento.

Para este trecho o tipo de linha elétrica será de condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto (B1), utilizando cabos unipolares.

É importante que os cabos utilizados nessas instalações estejam preparados para suportar as mais adversas condições climáticas, pois estarão expostos a intensa radiação, calor, frio e chuva por um longo período de tempo. Recomenda-se o dimensionamento de cabos da instalação de acordo com a temperatura efetiva de trabalho e o método escolhido de proteção de condutores utilizando-se o fator de correção de temperatura contido na NBR 5410. [95]

$$I_{\text{corrigida}} = \frac{I_{FV}}{\text{Coeficiente de Temperatura}} \quad (6.9)$$

$I_{\text{corrigida}}$ (A) – Corrente corrigida pelo coeficiente de temperatura;

I_{FV} (A) – Corrente de saída dos módulos FV. [96]

Optou-se pelo fator de correção para temperatura ambiente para 40°C, maior do que a média, pois está se levando em conta a exposição ao ambiente externo, com isolação EPR de 0,91.

Então, sendo a corrente da associação em série das placas FV de 8,64 A, o valor de corrente para a entrada do inversor será de 9,49 A. Através da tabela 36 da NBR 5410 de 2004, resulta em um condutor de 0,75 mm².

Porém, de forma complementar, utiliza-se a equação 6.10 para determinar a seção mínima de condutor S, necessária levando em conta um limite de queda de tensão, que será considerado de 2%. [97]

$$S = \rho \cdot \frac{d \cdot I}{\Delta V} \quad (6.10)$$

P (Ω.mm²/m) - Resistividade do material do condutor (cobre);

d (m) - Distância total do condutor, considerando o trecho de retorno;

I (A) – Corrente que passa pelo condutor;

ΔV – Queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado.

A resistividade do material condutor cobre a 20°C $\rho_{cu}=0,01724 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ e o coeficiente de variação de temperatura vale $\alpha_{cu}=0,0039/^\circ\text{C}$, assim é possível determinar a influência da temperatura na resistividade dos materiais através da equação 6.11. [98]

$$\rho(T) = \rho(20^\circ\text{C}) \cdot [1 + \alpha(T - 20^\circ\text{C})] \quad (6.11)$$

Com uma temperatura ambiente de 40°C, acima da média para a região, porém levando em conta que os mesmos ficarão expostos ao ambiente externo é importante levar isto em conta. Portanto substitui-se na equação 6.7 $\rho=0,01858$, $d=2 \cdot 17\text{m}$, $I_{sc}=9,49 \text{ A}$, segundo a literatura $\Delta V=2\%$ em sistemas em corrente contínua nas condições do sistema.

Sendo assim, para queda de tensão a secção mínima é de 2,99 mm², ou seja, para cabeamento comercial, 4,0 mm². Que atende ao valor mínimo de 2,5 mm² do manual de instalação do modelo do inversor escolhido. [99]

Foram selecionados dois condutores de 17 metros, nas cores preto e vermelho, do tipo cabo solar da fabricante Prysmian, modelo Afumex de 4 mm² Preto e Vermelho, até 1 kV.

6.1.6.2 *Ligação do inversor ao quadro de distribuição*

Os condutores conectados a saída do inverso passam pela *string-box* CA, e vão para o quadro de distribuição. O quadro de distribuição ficará localizado próximo do inversor, a três metros de distância.

Na saída do inversor, tem como corrente, de acordo com as especificações técnicas do inversor escolhido, 9,7 A, com a correção do coeficiente de temperatura, considerando a mesma temperatura do primeiro trecho, se tem a corrente corrigida de 10,66 A, considerando método de isolação B1 se resulta uma fiação com bitola de 1 mm².

Novamente se utiliza a equação 6.7 para calcular queda de tensão para esta distância de 2 metros. Usando os mesmos valores da resistividade de material e queda de tensão de 2%. O valor da seção resultante não altera o resultado anterior de 1 mm².

Porém, de acordo com as instruções de instalação do modelo do inversor escolhido, a fiação mínima para a saída CA é de 2,5 mm², então esta será a bitola da fiação escolhida. [100]

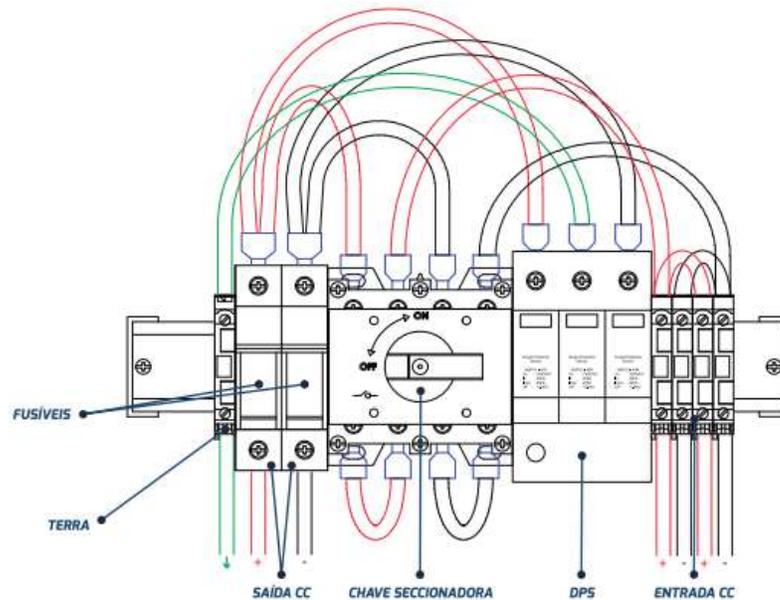
6.1.7 Dispositivo de seccionamento visível

Como exigido pela distribuidora, o padrão de entrada deverá contemplar a instalação de uma caixa com dispositivo de seccionamento visível. [101]

6.1.8 String Box CC e CA

Para isolar o sistema de geração de energia fotovoltaica e impedir o risco de propagação de acidentes elétricos, como os curtos-circuitos e os surtos elétricos, será utilizado as *string box*. Para a proteção do lado CC, sendo que a o valor máximo da corrente com correção de temperatura de saída dos módulos FV é de 10,66 A, será optado uma *string box* da fabricante ecoSolys, composta por fusíveis de 15 A, chave seccionadora de corrente contínua, para até 32 A, e um dispositivo de proteção contra surtos (DPS), a Figura 29 traz o esquema de ligação dos componentes, mais detalhes podem ser encontrados no Anexo 2.

Figura 29 - String box ecoSolys - CC



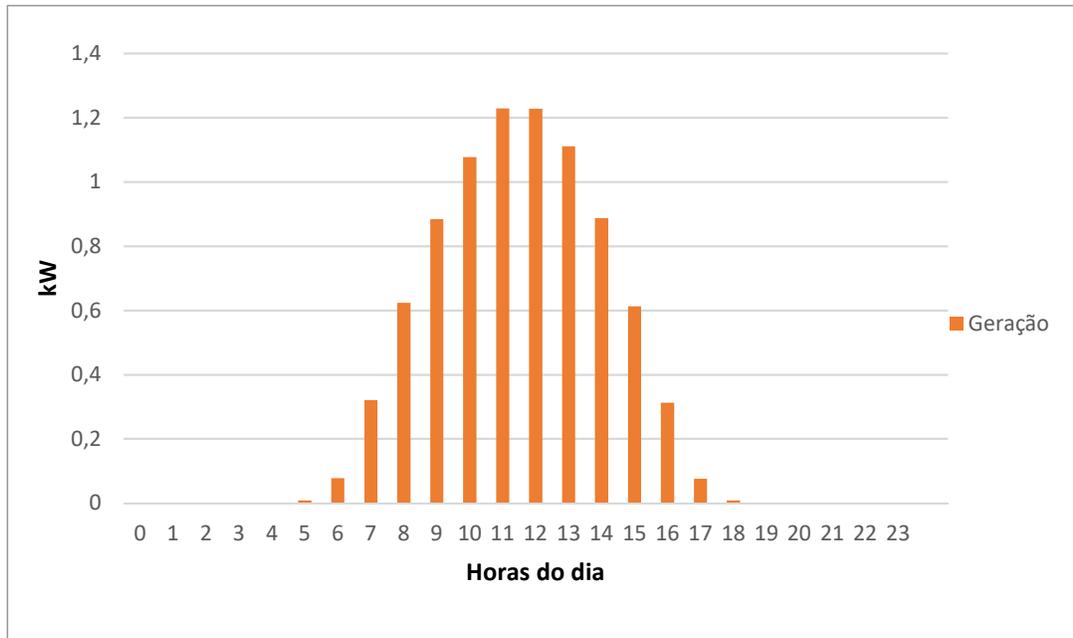
Fonte: Anexo 2.

Já para o lado CA, considerando o valor máximo da corrente de saída do inversor de 10,66 A, será utilizado um disjuntor monopolar de 16 A e de um DPS também.

6.1.9 Estimativa de geração

A partir do dimensionamento escolhido, levando em conta a irradiância média diária para cada hora do dia para a inclinação escolhida e considerando uma eficiência de 75% dos painéis, têm-se o Gráfico 8, com os valores estimados de produção de energia pelo sistema FV para cada hora do dia, totalizando uma média diária de produção de 8,45 kWh, e uma mensal, considerando um mês de 30 dias, de 253,64 kWh. Relembrando que esses valores são resultados da média anual de irradiância horária.

Gráfico 8 - Geração de energia média diária por hora

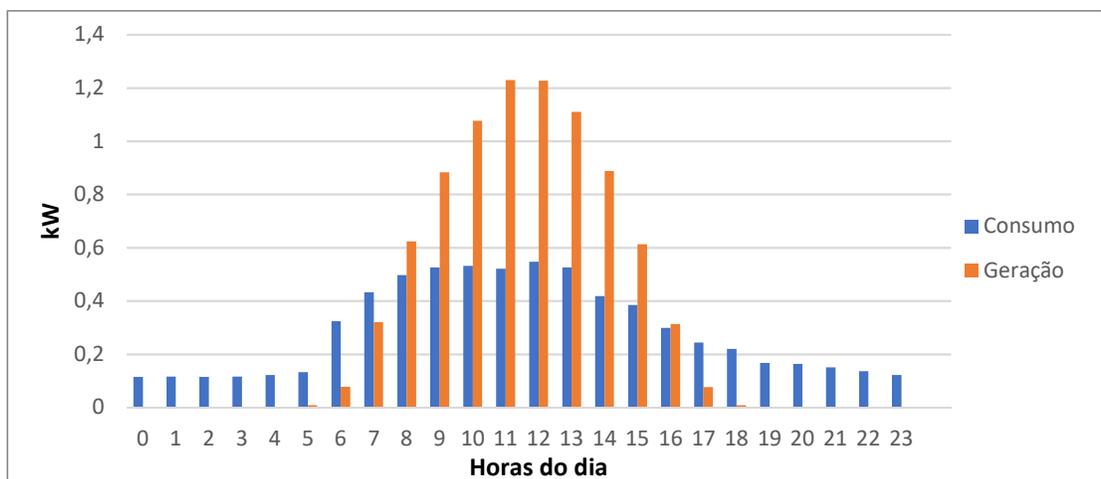


Fonte: Autor, 2017.

6.1.10 Comparação entre geração e consumo

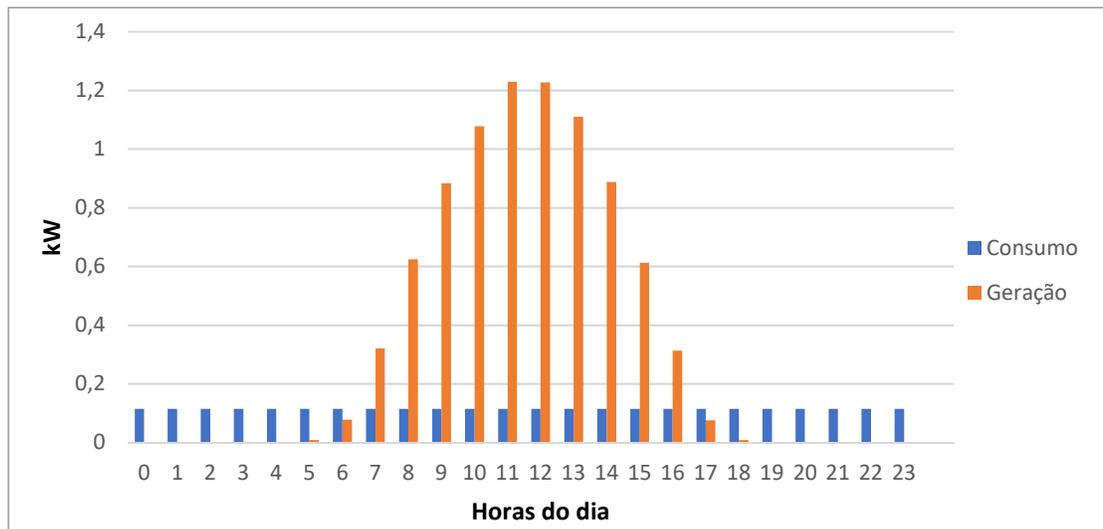
Utilizando os dados de previsão de consumo do tópico 6.1.2 faz-se a sobreposição dos dados de geração e consumo previstas. O Gráfico 9 apresenta a comparação para os dias de funcionamento do escritório, de segunda a sábado, já o Gráfico 10 em relação aos domingos.

Gráfico 9 - Geração e consumo de energia média por hora de segunda a sábado



Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 10 - Geração e consumo de energia média por hora aos domingos



Fonte: Autor, 2017.

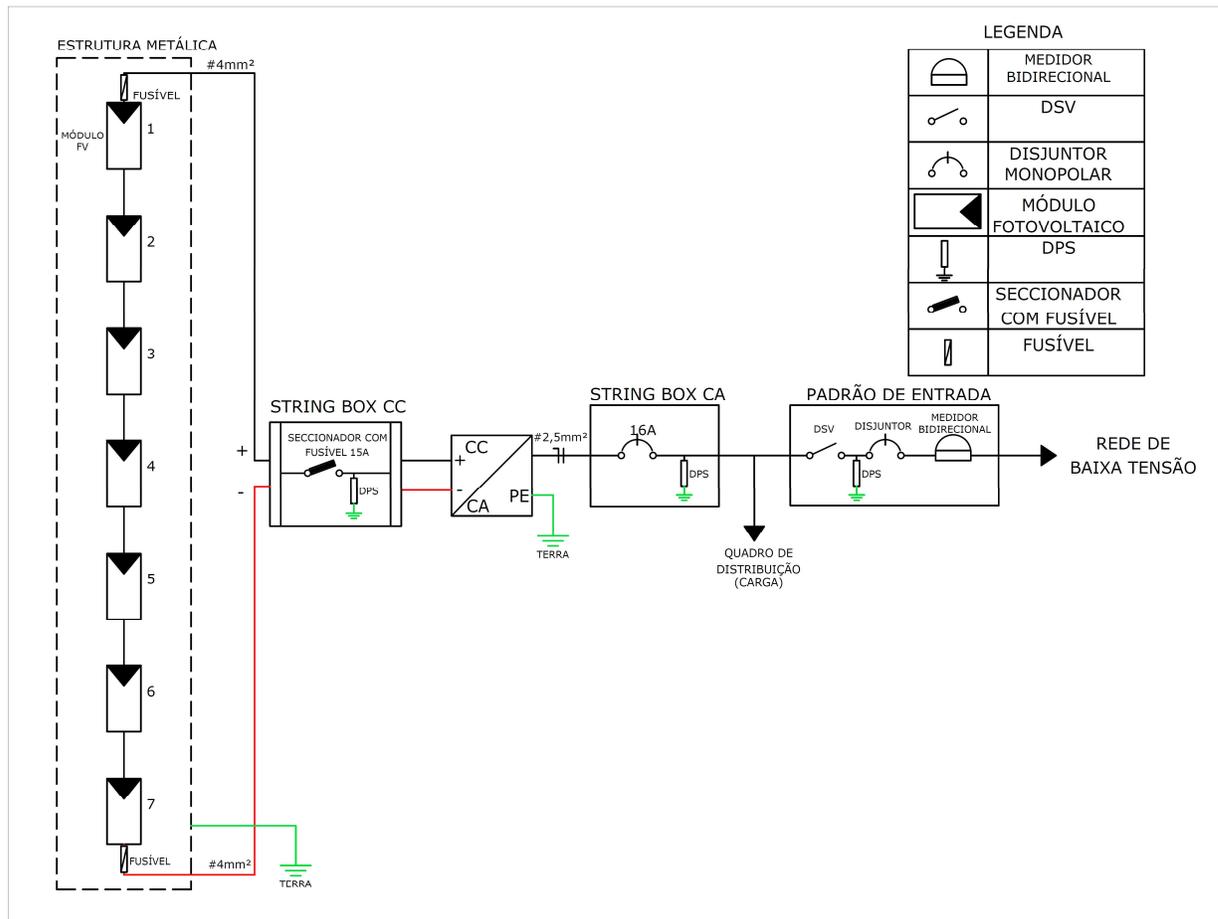
Ao verificar os gráficos, percebe-se que a geração atinge seu pico próximo ao meio-dia, o que é esperado. O total de geração, em média, como apresentado anteriormente, é de aproximadamente 254 kWh, que com o consumo médio de 207 kWh resulta em uma diferença de 44 kWh. Relembrando que o sistema foi dimensionado, levando em conta a perda de desempenho dos painéis durante os anos e que o escritório terá uma margem para aumentar a carga se necessário, e qualquer valor excedente de produção adicionará créditos de energia ao CPF ou CNPJ do acessante.

É importante lembrar que na fatura de energia da distribuidora Celesc há a incidência do ICMS sobre a quantidade de energia injetada e consumida posteriormente. Considerando que, o sistema consome imediatamente 114,8 kWh, sendo injetados para posterior utilização 92,2 kWh, levando em conta o consumo mensal de 207 kWh. Portanto, além da taxa mínima de 30 kWh cobrados, seria incluído o ICMS sobre 92,2 kWh, injetados e consumidos posteriormente.

6.2 DIAGRAMA ELÉTRICO

A Figura 30 traz o diagrama elétrico com os elementos dimensionados e os dispositivos de segurança.

Figura 30 - Diagrama elétrico do sistema



Fonte: Autor, 2017.

6.3 REPRESENTAÇÃO VISUAL DO SISTEMA INSTALADO

A Figura 31 simula como ficaria instalado no contêiner o sistema, com os sete módulos lado a lado, na horizontal, inclinados em direção ao norte geográfico.

Figura 31 - Representação visual do sistema instalado



Fonte: Autor, 2017.

6.4 INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FV

Apenas um bom dimensionamento e a especificação de equipamentos de qualidade não são suficientes para resultar em um bom sistema de geração FV, a fase de instalação como um todo é fundamental. Um estudo com as principais falhas no Programa 1.000 telhados, na Alemanha, entre 1991 e 1995 averiguou que aproximadamente 40% das falhas que ocorreram foram consequências de erros na instalação, e em 30% por erros de projeto. A Figura 32 traz as principais falhas desse projeto.

A fim de evitar falhas como essas, recomenda-se a contratação de uma empresa experiente para instalar o sistema, estes devem estar familiarizados com as medidas de segurança necessárias, normas vigentes e recomendações dos fabricantes, uma instalação pode envolver profissionais de diversas áreas, pois envolve ao menos as partes estrutural e elétrica.

Cada projeto é único e necessita de alta organização a fim de não haver atrasos nos serviços e encarecimento da instalação.

A estrutura de construção dos módulos fotovoltaicos permite que uma capacitância parasita seja formada entre as células fotovoltaicas e a estrutura metálica do mesmo, que por sua vez, podem permitir a circulação de corrente de fuga de modo comum entre a rede elétrica e a capacitância parasita, aterrar a estrutura metálica do gerador FV permite solucionar este problema.

Figura 32 - Falhas dos sistemas do programa alemão 1.000 telhados

Equipamento	Falha	%
Gerador Fotovoltaico	Sombreamento parcial	41
	Condutores não isolados	24
	Corrosão e defeitos na estrutura de suporte	19
	Grampos de conexão à estrutura soltos ou perdidos	5
	Módulos defeituosos	< 2
Equipamentos na caixa de junção	Dissipação de calor dos diodos ineficiente ou inexistente	60
	Dispositivos de isolamento inadequados	56
	Fusíveis e DPS inadequados	15
	Fusíveis defeituosos	4
	Diodos de bloqueio defeituosos	< 2
	DPS defeituosos	< 1
Inversor	Proteção ineficiente contra sobretensão	8

Fonte: [102].

Abaixo sugestões gerais de segurança para uma instalação adequada.

- Estabelecer e fazer cumprir procedimentos de segurança de pessoas e dos equipamentos conforme as normas técnicas vigentes;
- Seguir as normas de conexão dos sistemas à rede elétrica elaboradas pela concessionária local de distribuição;
- Restringir o acesso à área de trabalho;
- Afixar placas de advertência quanto ao perigo de choque elétrico e restrição para pessoas não autorizadas no local de instalação;
- Realizar o aterramento elétrico das instalações, dos equipamentos e das estruturas metálicas, a evitar corrente de fuga;
- Instalar dispositivos de proteção elétrica adequados para equipamentos e pessoas;
- Cobrir o gerador fotovoltaico com uma manta ou cobertura opaca, se possível, ao se trabalhar no sistema, para reduzir o risco de choque elétrico ou curto-circuito;
- Disponibilizar manuais básicos de segurança, operação e manutenção aos usuários do sistema;

- Fixar, em local visível, instruções para desconectar a energia e capacitar pessoas relevantes para o mesmo;
- Retirar todos os objetos pessoais metálicos antes dos trabalhos em instalações elétricas;
- Vestir roupas e equipamentos de proteção adequados ao trabalho;
- Para os módulos, ferramentas adequadas, secas e com cabos isolados;
- Fazer as conexões elétricas respeitando polaridades e instruções do fabricante;
- Descarregar a eletricidade estática do corpo;
- Não trabalhar sozinho. [103]

Outro aspecto importante é a localização do gerador FV, não existem restrições, porém recomenda-se instalar mais próximo das cargas, para evitar a queda de tensão dos cabos, e claro, muito cuidado quanto ao sombreamento de objetos próximos a instalação, como prédios, árvores, cercas, postes e qualquer outro que possa afetar o módulo, pois isso reduz significativamente o potencial de geração do sistema, assim como a sua orientação, que tem de ser bem projetada e executada, tanto na sua inclinação azimutal quanto a inclinação do painel, relevante para a estrutura.

6.5 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Um sistema FV deve passar por inspeção e manutenção regularmente, garantindo uma operação eficiente e impedindo problemas futuro. Recomenda-se elaborar e seguir um plano de operação e manutenção, seguindo as recomendações dos fabricantes e em normas pertinentes. Existem empresas que executam esse tipo de serviço. [104]

É comum que a operação seja simples para sistemas FV pequenos, exigindo pouca ou nenhuma intervenção por parte do usuário, pois o projeto automatiza totalmente o sistema.

Já a manutenção para sistemas pequenos exige algumas atenções. A Figura 33 traz as principais verificações necessárias para manutenção de um sistema FV conectado a rede.

Figura 33 - Verificações típicas de sistemas de micro geração conectados a rede

Periodicidade	Equipamento	Verificação
Diário	Inversor	Se está em operação ou se existe mensagem de erro.
Mensal	Verificação da produção de energia	Registro das medições de energia e se estão de acordo com o esperado.
	Superfície do painel fotovoltaico	Se há acúmulos de sujeira, como folhas ou dejetos de pássaros. Removê-los com água (sem sabão).
A cada 6 meses	Caixa de junção	Se há insetos. Se há corrosão/umidade excessiva. Testar a continuidade dos fusíveis.
	Proteção contra descargas atmosféricas	Se está operacional após tempestades com descargas.
	Cablagem	Se há isolamentos danificados, marcas chamuscadas provenientes de arcos elétricos etc. Se as conexões estão boas.

Fonte: [105].

Não há uma regra para o valor despendido com manutenção, então para este dimensionamento será estimado o valor de 0,5% ao ano sobre o valor do investimento inicial. [106]

6.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise de investimentos baseia-se em retornos nos fluxos de caixa associados aos projetos em estudo. Construir fluxos de caixa requer, dependendo do caso, grande quantidade de dados históricos, projeções de resultados futuros e devem representar de forma realística o futuro projetado. Deve-se dar atenção a esta análise, pois uma má elaboração de fluxos de caixa pode conduzir a decisões de investimento desastrosas. [107]

Inicialmente será levantado o orçamento do sistema, para então ser possível analisar, Fluxo de Caixa, Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). A partir dos métodos propostos, será considerado um projeto viável, se:

- Fluxo de caixa incremental positivo ($FCI > 0$);
- Valor presente líquido positivo ($VPL > 0$);

- Taxa interna de retorno superior ou igual à taxa mínima de atratividade requerida ($TIR \geq$ taxa atratividade). [108]

6.6.1 Orçamento

Para levantar os custos dos materiais, projeto e instalação do sistema dimensionado, consultas a empresas de comércio de equipamentos elétricos e prestação de serviço para instalação de sistemas fotovoltaicos foram realizadas. Os valores apresentados na Tabela 19 apresenta os valores médios levantados.

Tabela 19 - Orçamento do sistema dimensionado

Equipamento	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total R\$
Módulo Fotovoltaico - GLC GCL-P6/72 325Wp	7	R\$ 719,00	R\$ 5.033,00
Inversor – Fronius Galvo 2.0-1	1	R\$ 5.034,00	R\$ 5.034,00
Suporte Solar Group para laje	1	R\$ 3.098,00	R\$ 3.098,00
Cabos solares	1	R\$ 136,00	R\$ 136,00
Cabos elétricos	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
Eletrodutos Rígido (3m)	5	R\$ 12,90	R\$ 64,50
Stringbox ecoSolys CC	1	R\$ 721,39	R\$ 721,39
Dispositivo para Seccionamento	1	R\$ 190,00	R\$ 190,00
Dispositivo de Proteção DPS	2	R\$ 105,00	R\$ 210,00
Disjuntor	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
Fusíveis	2	R\$ 25,00	R\$ 50,00
Projeto	1	R\$ 1.300,00	R\$ 1.300,00
Mão de Obra	1	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
Total	-	-	R\$ 17.166,89

Fonte: Autor, 2017.

O valor total do sistema é de R\$ 17.166,89.

6.6.2 Custo da taxa mínima mensal

A taxa mínima de 30 kWh/mês, atualmente esse valor inclui o valor da energia somado dos tributos PIS, COFINS e ICMS. Com isso, para esta faixa de consumo, e como os valores médios dos últimos 2 meses para PIS = 1,08, COFINS = 4,98 e ICMS = 12,5%. A unidade se enquadra no grupo tarifário B3, o valor da tarifa convencional é única para este grupo, e em Outubro de 2017 possuía o valor de 0,4598 R\$/kWh, que com a incidência dos tributos citados o valor da energia fica em 0,54 R\$/kWh. Então, para 30 kWh, têm-se um valor de R\$ 16,36 mensal. Deve-se ainda

adicionar a este valor, R\$ 6,22, do ICMS sobre o consumo de 92,2 kWh, quantia que é injetada e consumida posteriormente, totalizando como taxa mínima mensal, R\$ 22,58.

6.6.3 Fluxo de caixa líquido incremental

Qualquer método de análise de investimento toma como base o fluxo de caixa líquido incremental, sendo medido ou projetado, que será gerado durante a vida útil do determinado projeto. Fluxo de caixa significa movimentos efetivos de recursos que tem reflexos financeiros sobre o caixa especificamente, não levando em conta receitas e despesas de natureza contábil, como depreciação, amortização e outros que não são pagos ou recebidos em termos de caixa. O fluxo de caixa incremental é a diferença entre os fluxos de caixa associados a duas situações, com projeto e sem projeto.

$$FCI = FC2 - FC1 \quad (6.12)$$

FCI – Fluxo de caixa incremental;

FC1 – Fluxo de caixa sem projeto;

FC2 – Fluxo de caixa com projeto.

Para o fluxo de caixa sem projeto, será descontado o valor mensal de gastos com eletricidade estimados para 207 kWh, se leva em conta os custos tarifários do grupo que a unidade está inserida, que é o B3.

Já para o fluxo de caixa com projeto, levará em conta o investimento do projeto, as taxas de manutenção, consideradas de 0,5% o valor total do sistema instalado por ano, o custo mínimo de energia de R\$ 22,58 mensal e a troca do inversor a cada 15 anos, indicado pelo fabricante.

Para abranger mais cenários, escolheu-se três diferentes taxas de aumento da energia para os primeiros 10 anos, 5%, 10% e 15%, esses possíveis aumentos possuem várias razões, como inflação, escassez de energia, alta demanda, entre outros. Em seguida, se supõe um aumento de apenas 2%, levando em conta que a tendência é que a variação de preços tenda a diminuir, e se torne mais estável no futuro.

Para questão de avaliação do fluxo de caixa sem projeto, o valor da energia é mais caro do que o custo da taxa mínima mensal, pois neste caso será levado em conta quanto se gastaria para

um consumo de 207 kWh, que ultrapassa 150 kWh, entrando em outra categoria de cobrança de ICMS, onde o valor aplicado é de 25%, porém como faz parte do grupo B3 o valor do kWh e dos outros tributos é o mesmo, totalizando um valor de energia de 0,603 R\$/kWh. A Tabela 20 traz as variáveis levadas em conta.

Tabela 20 - Variáveis financeiras aplicadas

Variáveis Financeiras	
Valor do Sistema	R\$ 17.166,89
Tarifa Mínima mensal	R\$ 22,58
Tarifa Atual 207 kWh mensal	R\$ 124,76
Aumento da Tarifa Primeiros 10 Anos	5% / 10% / 15%
Tarifa Ano 11 ao 25	2%

Fonte: Autor, 2017.

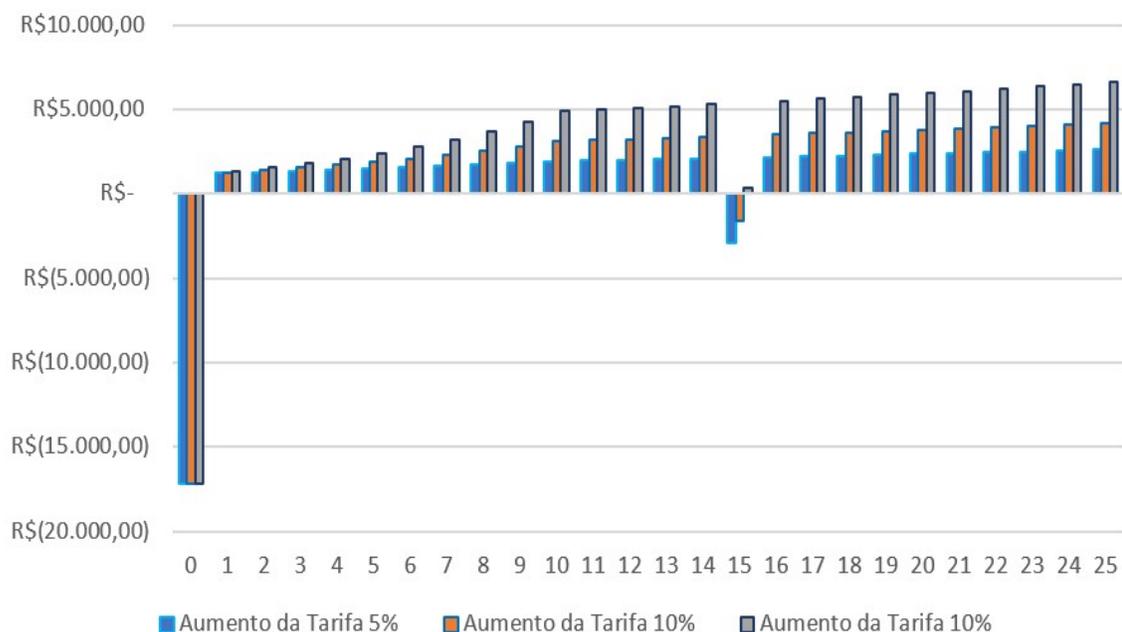
Com o auxílio de ferramentas computacionais, a tabela e os gráficos abaixo foram gerados, e trazem o fluxo de caixa incremental resultante.

Tabela 21 - Fluxo de caixa sem projeto

Aumento anual da eletricidade	5%	10%	15%
Fluxo de caixa sem projeto	- R\$ 62.787,90	- R\$ 94.741,68	- R\$ 141.791,58
Fluxo de caixa com projeto	- R\$ 35.712,39	- R\$ 41.496,55	- R\$ 50.013,36
Fluxo de caixa incremental	R\$ 27.075,51	R\$ 53.245,13	R\$ 91.778,23

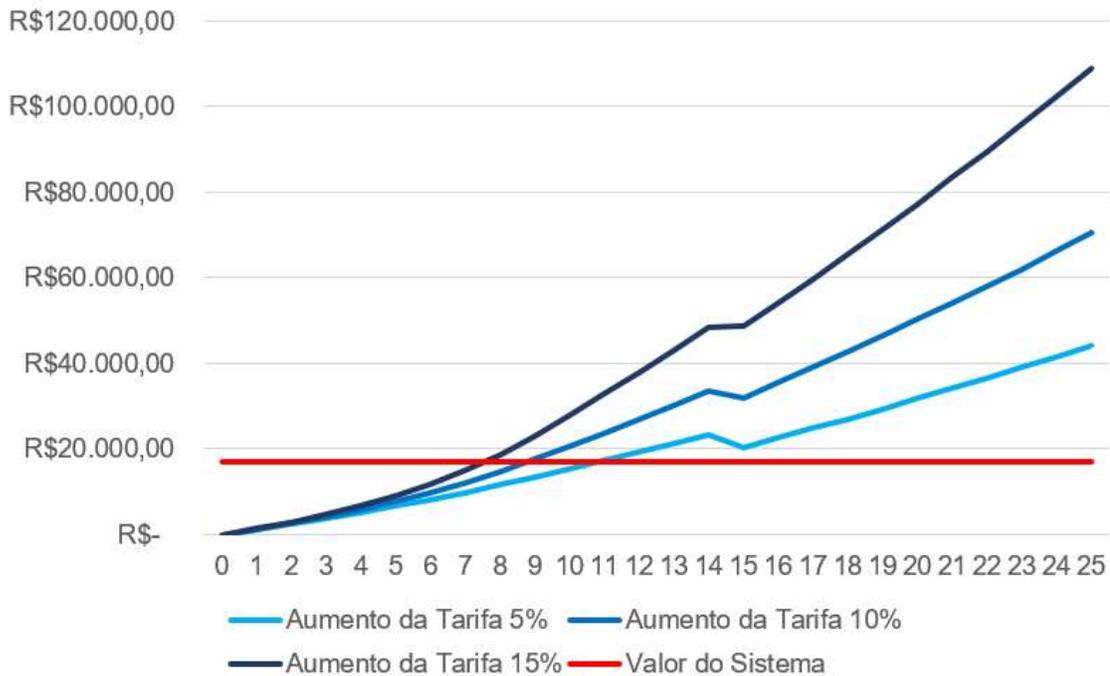
Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 11 - Fluxo de caixa incremental por ano



Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 12 - Retorno financeiro



Fonte: Autor, 2017.

Portanto, o fluxo de caixa incremental é positivo para as três possibilidades levantadas. E com os dados gerados pelo fluxo de caixa, é possível também determinar o tempo de retorno financeiro do mesmo, os resultados de tempo de retorno, economia total e lucro líquido estão listados na Tabela 24, ao fim deste capítulo.

6.6.4 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é um artifício da matemática financeira para auxiliar na análise financeira de um projeto. Nada mais é do que a soma algébrica dos valores presentes de todos os componentes do fluxo de caixa, das entradas e saídas de caixa.

A taxa de desconto a ser utilizada nos cálculos é a taxa de atratividade, que neste caso será considerado de 7,17%, que é a média de valorização da poupança entre 2008 e 2017, e adicionalmente a taxa dos Certificados de Depósito Interbancário (CDI) atual (Novembro de 2017),

que vale 11,08% e reflete os valores de valorização de títulos de renda fixa em sua maioria, além de serem investimentos bastante seguros. [109]

A taxa de atratividade é a taxa de retorno mínima aceitável em um investimento. Em geral, a taxa de atratividade é o custo de capital da empresa ou ainda o retorno médio desejado.

Por definição, os projetos com VPL maior ou igual a zero podem ser aceitos, rejeitando os que obtiverem VPL negativo. Um resultado positivo indica a possível riqueza que será gerada pelo projeto.

Com auxílio de ferramentas computacionais o VPL foi obtido para cada taxa suposta de aumento de energia, analogamente ao tópico 6.6.3, a Tabela 22 traz os resultados.

Tabela 22 - VPL por taxa de aumento da energia

Resultados	5%	10%	15%
VPL	R\$ 1.274,60	R\$ 9.981,12	R\$ 22.535,43

Fonte: Autor, 2017.

Como o VPL é maior que zero em todos os casos, pode se afirmar que o projeto é lucrativo.

6.6.5 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é a taxa de desconto que torna nulo o VPL de um fluxo de caixa. Dito de outra forma, é a taxa de desconto (taxa de juros) que iguala, em um dado momento, os valores atualizados das entradas e das saídas de caixa. [110]

Sendo assim, é desejável que a TIR supere a taxa mínima de atratividade, se esta for a realidade, o investimento pode ser considerado como economicamente viável. Se não, recomenda-se a rejeição ou revisão do projeto.

O programa computacional Excel já possui fórmulas para calcular facilmente a TIR, com auxílio do mesmo foi obtida para cada taxa suposta de aumento de energia o seu valor, analogamente ao tópico 6.6.3, a Tabela 23 traz os resultados.

Estes valores são superiores a taxa mínima de atratividade estipulada de 7,17% em todos os casos, porém, quando comparados a taxa CDI, sendo economicamente atrativa para um aumento anual de energia de 10% para cima.

Tabela 23 - TIR por taxa de aumento da energia

Resultados	5%	10%	15%
TIR	7,95%	12,16%	16,34%

Fonte: Autor, 2017.

6.6.6 Resultados do retorno financeiro

Os resultados obtidos neste capítulo são reunidos neste tópico para avaliação dos mesmos, a Tabela 24 traz os resultados mais relevantes.

Tabela 24 - Resultados do retorno financeiro

Resultados	5%	10%	15%
Economia Total 25 anos	R\$ 44.242,40	R\$ 70.412,02	R\$ 108.945,12
Fluxo de Caixa Incremental	R\$ 27.075,51	R\$ 53.245,13	R\$ 91.778,23
Tempo de Retorno	11 anos e 11 meses	9 anos e 11 meses	8 anos e 8 meses
VPL - Valor Presente Líquido	R\$ 1.274,60	R\$ 9.981,12	R\$ 22.535,43
TIR - Taxa Interna de Retorno	7,95%	12,16%	16,34%

Fonte: Autor, 2017.

Portanto, tendo em vista que independente das taxas de aumento da energia os valores de economia e VPL são positivos, e que o TIR não é superior apenas a taxa do CDI no cenário de aumento anual de apenas 5% do valor da energia, é possível dizer que o projeto é economicamente atrativo, pois ainda possui bons valores de retorno financeiro, pois além dos valores citados, o custo da energia elétrica ainda possui a volatilidade das bandeiras em tempos de escassez, que podem aumentar ainda mais o seu valor.

Vale ressaltar que, para o primeiro caso, de aumento de energia de 5% nos primeiros 10 anos, o investimento fica próximo de não ser atrativo, e que seu retorno financeiro ultrapassa 10 anos, pode se relacionar isso com o fato da inclusão do ICMS em toda energia que é injetada e consumida posteriormente, além do próprio ICMS nas taxas mínimas pagas mensalmente, problema relatado no tópico 5.4.3. Mas mesmo com esses problemas, a longo prazo o investimento é viável e recomendado.

7 CONCLUSÃO

Será descrito nos próximos tópicos deste capítulo a compreensão e conclusão quanto aos assuntos abordados no trabalho, o cenário atual para obtenção dos selos apresentados e sobre a validade na utilização de energia solar para um escritório contêiner nas condições do apresentado, se o dimensionamento é viável e recomendado.

7.1 SELOS

Quanto aos selos apresentados, Selo PROCEL Edifica e Selo Solar, constatou-se que há possibilidade de obtenção dos dois selos. O primeiro, certificado pelo PROCEL, é complexo, pois envolve a eficiência de toda estrutura, porém a questão de receber bonificação pelo uso de energia renovável, e pelo fato de a edificação contêiner ser pequena, faz com que, de acordo com a análise, seja viável uma certificação de máxima eficiência.

Já o Selo Solar, teria um caráter socioambiental, pois o dimensionamento feito não atingiria o mínimo necessário de potência instalada, então entraria numa avaliação individual do IDEAL para dar ou não o selo. Com isso, é verificado que com a instalação de um sistema FV estes selos são possíveis, inclusive para um escritório contêiner, que já é uma forma de reutilização de recursos, agregando ainda mais para a empresa ali instalada uma imagem de empresa sustentável, preocupada com o meio ambiente e de valor para a sociedade.

7.2 ESTUDO

O estudo concluiu que para o nível de consumo atual, levando em conta o local, perdas de eficiência e possível aumento da carga instalada, a solução proposta seria um sistema de 2,275 kWp, com retornos de investimento entre 8 e 11 anos, dependendo de quanto as tarifas de energia vão subir durante os 25 anos analisados.

Constatou-se que a regulamentação brasileira para micro e mini geração distribuídas são novas, e em constante mudança e adequação, e que devem continuar melhorando para fomentar cada vez mais esses tipos de geração para fontes renováveis. Em especial o estado de Santa Catarina

necessita de uma adequação na cobrança de tributos principalmente, pois o ICMS incide em energia injetada e utilizada posteriormente, é um detalhe que prejudica a viabilidade de investimentos na área.

Em relação ao dimensionamento do sistema, há uma gama de programas computacionais e dados disponíveis gratuitamente, isso é muito interessante do ponto de vista de popularização da energia solar, quanto mais informação mais riqueza e valor podem ser criados na área.

O desenvolvimento tecnológico também é ponto fundamental para aumento da utilização da matriz energética solar, ao momento que a indústria cria padrões e equipamentos específicos para instalações tão únicas como as geradoras fotovoltaicas a tendência é que os custos diminuam, e essa foi a realidade dos últimos anos.

Contudo, a análise financeira, além de trazer o tempo de retorno financeiro, apresentou outros artifícios da matemática financeira que demonstraram que o investimento é viável e recomendado. Mesmo em um contêiner, com um espaço pequeno e limitado, a viabilidade é alta.

Por fim, o investimento em energia solar tende a aumentar mundialmente, e está sendo uma ferramenta de quebra de paradigmas em todos lugares, possibilitando a criação de energia limpa e que vem barateando a cada ano. Quanto ao Brasil, o país só tem a ganhar com isso, o território brasileiro é rico em toda sua extensão para o aproveitamento desta energia proveniente do sol. Podendo atuar muito bem como matriz complementar das usinas hidrelétricas, sendo mais sustentável, auxiliando no barateio da energia, ajudando no desenvolvimento econômico como um todo.

Ações como reuso de contêineres e uso de energia limpa são novas tendências para um mundo mais preocupado com o meio ambiente e sustentável, e casam muito bem quando utilizados em conjunto.

7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ficam como sugestões para trabalhos futuros:

- Dimensionamento do projeto com sistema de rastreamento automático do sol para os painéis;

- Estudo de dimensionamento para sistema com o intuito de suprir energia e acumular créditos para abatimento em outra unidade consumidora;
- Estudo de dimensionamento para sistema que produza menos do que consome, para verificar a viabilidade do mesmo;
- Estudo dos impactos de tributos no retorno financeiro de micro e minigerações fotovoltaicas.

8 REFERÊNCIAS

- [1] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág. 34 e 35.
- [2] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Cap. 2.
- [3] IEA PVPS. **Snapshot Report 2017 Tables Figures**. Disponível em: http://www.iea-pvps.org/index.php?id=trends0&eID=dam_frontend_push&docID=3590. Acesso em: Abril de 2017.
- [4] IEA PVPS. **Snapshot Report 2017 Tables Figures**. Disponível em: http://www.iea-pvps.org/index.php?id=trends0&eID=dam_frontend_push&docID=3590. Acesso em: Abril de 2017.
- [5] WORLD ECONOMIC FORUM. **The world's 10 biggest economies in 2017**. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2017/03/worlds-biggest-economies-in-2017/>. Acesso em: Maio de 2017.
- [6] IEA PVPS. **Snapshot Report 2017 Tables Figures**. Disponível em: http://www.iea-pvps.org/index.php?id=trends0&eID=dam_frontend_push&docID=3590. Acesso em: Abril de 2017.
- [7] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Cap. 2.
- [8] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **BIG - Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>
Acesso em: Maio de 2017.
- [9] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **BIG - Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>
Acesso em: Maio de 2017.
- [10] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Cap. 5.

- [11] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **BIG - Banco de Informações de Geração.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>
Acesso em: Maio de 2017.
- [12] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **BIG - Banco de Informações de Geração.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>
Acesso em: Maio de 2017.
- [13] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Cap. 2.
- [14] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág. 40.
- [15] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Cap. 2.
- [16] SODA-PRO. **Yearly average map of irradiance in W/m², averaged over the period (1990-2004). Computed from satellite imagery.** Disponível em: <http://www.soda-pro.com/maps>.
Acesso em: Maio de 2017.
- [17] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág 46.
- [18] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica - 2ª Edição.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>. Acesso em: Maio de 2017. Pág. 35.
- [19] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág 42.
- [20] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág. 43.
- [21] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág. 49.
- [22] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág 59.

- [23] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág. 58.
- [24] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica - 2ª Edição**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>. Acesso em: Maio de 2017. Pág. 30.
- [25] PEREIRA, Alexandre de Sousa; OLIVEIRA, F. Ângelo Sarmiento de Oliveira. **Curso Técnico Instalador De Energia Solar Fotovoltaica**. 2. ed. [s.l.] Porto-Portugal: Publindústria, 2015.
- [26] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág. 56.
- [27] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág. 57
- [28] INMETRO. **RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={02A05065-372B-4133-B054-4369D8F37B3F}#2>. Acesso em: Maio de 2017. Pág. 17.
- [29] INMETRO. **RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={02A05065-372B-4133-B054-4369D8F37B3F}#2>. Acesso em: Maio de 2017. Pág. 43.
- [30] INMETRO. **RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={02A05065-372B-4133-B054-4369D8F37B3F}#2>. Acesso em: Maio de 2017. Pág. 51.
- [31] IDEAL. **Selo Solar incentiva utilização de fotovoltaica**. Disponível em: <http://institutoideal.org/selo-solar-incentiva-utilizacao-de-fotovoltaica>. Acesso em: Outubro de 2017.
- [32] IDEAL. **Selo Solar incentiva utilização de fotovoltaica**. Disponível em: <http://institutoideal.org/selo-solar-incentiva-utilizacao-de-fotovoltaica>. Acesso em: Outubro de 2017.
- [33] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág. 153

- [34] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág. 74.
- [35] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 119.
- [36] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág. 76.
- [37] INMETRO. **Portaria n.º 357, de 01 de agosto de 2014**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002145.pdf>. Acesso em: Setembro de 2017.
- [38] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 157.
- [39] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 158.
- [40] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 159.
- [41] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 160.
- [42] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 161.
- [43] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 163.
- [44] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 163.
- [45] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 389.
- [46] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 385.
- [47] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 394.

[48] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 385.

[49] ENEL SOLUÇÕES. **Tudo sobre energia solar: String Box**. Disponível em: <http://www.enelsolucoes.com.br/blog/2016/05/tudo-sobre-energia-solar-string-box/>. Acesso em: Outubro de 2017.

[50] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 361.

[51] ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA 687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: Setembro de 2017.

[52] ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA 414, de 09 de setembro de 2010**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>. Acesso em: Setembro de 2017.

[53] ENEL SOLUÇÕES. **Entenda o Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.enelsolucoes.com.br/blog/2016/06/entenda-o-sistema-de-compensacao-de-energia-eletrica>. Acesso em Setembro de 2017.

[54] ANEEL. **PRODIST Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo3_Revis%C3%A3o7/ebfa9546-09c2-4fe5-a5a2-ac8430cbca99. Acesso em: Setembro de 2017.

[55] ANEEL. **PRODIST Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo3_Revis%C3%A3o7/ebfa9546-09c2-4fe5-a5a2-ac8430cbca99. Acesso em: Setembro de 2017.

[56] ANEEL. **PRODIST Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo3_Revis%C3%A3o7/ebfa9546-09c2-4fe5-a5a2-ac8430cbca99. Acesso em: Setembro de 2017.

[57] ANEEL. **PRODIST Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo3_Revis%C3%A3o7/ebfa9546-09c2-4fe5-a5a2-ac8430cbca99. Acesso em: Setembro de 2017.

[58] ANEEL. **PRODIST Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo3_Revis%C3%A3o7/ebfa9546-09c2-4fe5-a5a2-ac8430cbca99. Acesso em: Setembro de 2017.

- [59] CELESC. **MANUAL DE PROCEDIMENTOS.** Disponível em em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/normativa%20micro-mini%20gerao.pdf>. Acesso em Outubro de 2017. Pág. 6.
- [60] CELESC. **MANUAL DE PROCEDIMENTOS.** Disponível em em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/normativa%20micro-mini%20gerao.pdf>. Acesso em Outubro de 2017. Pág. 6.
- [61] CELESC. **MANUAL DE PROCEDIMENTOS.** Disponível em em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/normativa%20micro-mini%20gerao.pdf>. Acesso em Outubro de 2017. Pág. 18.
- [62] CELESC. **MANUAL DE PROCEDIMENTOS.** Disponível em em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/normativa%20micro-mini%20gerao.pdf>. Acesso em Outubro de 2017. Pág. 8.
- [63] CELESC. **MANUAL DE PROCEDIMENTOS.** Disponível em em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/normativa%20micro-mini%20gerao.pdf>. Acesso em Outubro de 2017. Pág. 15.
- [64] CELESC. **MANUAL DE PROCEDIMENTOS.** Disponível em em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/normativa%20micro-mini%20gerao.pdf>. Acesso em Outubro de 2017. Pág. 17.
- [65] ANEEL. **Perguntas e Respostas sobre a aplicação da Resolução Normativa nº 482/2012.** Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/FAQ+-V3_20170524/ab9ec474-7dfd-c98c-6753-267852784d86. Acesso em: Setembro de 2017.
- [66] CELESC. **RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 2.286, DE 15 DE AGOSTO DE 2017.** Disponível em: <http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>. Acesso em: Setembro de 2017.
- [67] CELESC. **RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 2.286, DE 15 DE AGOSTO DE 2017.** Disponível em: <http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>. Acesso em: Setembro de 2017.
- [68] ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA 414, de 09 de setembro de 2010.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>. Acesso em: Setembro de 2017.
- [69] ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA 414, de 09 de setembro de 2010.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>. Acesso em: Setembro de 2017.

[70] ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA 414, de 09 de setembro de 2010.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>. Acesso em: Setembro de 2017.

[71] ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA 414, de 09 de setembro de 2010.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>. Acesso em: Setembro de 2017.

[72] CELESC. **Alíquotas de Tributos. (PIS e COFINS).** Disponível em: <http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/pis-cofins>. Acesso em Outubro de 2017.

[73] CELESC. **Perguntas Frequentes sobre a conexão de Sistemas de Micro geração Fotovoltaicos ao Sistema de Distribuição da Celesc em Baixa Tensão.** Disponível em: <http://celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/FAQ-Microgeracao-Fotovoltaica.pdf>. Acesso em Outubro de 2017.

[74] CRESESB. **Potencial Solar – SunData.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em Setembro de 2017.

[75] LABREN. **Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição.** Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em Setembro de 2017.

[76] LABSOL. **LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR.** Disponível em: <http://www.solar.ufrgs.br>. Acesso em Setembro de 2017.

[77] INPE. **Rede Sonda.** Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br>. Acesso em Setembro de 2017.

[78] SWERA. **Solar and Wind Energy Resources Assessment.** Disponível em: <https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=0&bL=groad&cE=0&lR=0&mC=40.21244%2C-91.625976&zL=4>. Acesso em: Setembro de 2017.

[79] SWERA. **Solar and Wind Energy Resources Assessment.** Disponível em: <https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=0&bL=groad&cE=0&lR=0&mC=40.21244%2C-91.625976&zL=4>. Acesso em: Setembro de 2017.

[80] ALVES, H. **Sistemas de Energia Elétrica.** São Luís, 2007. Capítulo 8.

[81] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 329.

[82] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 300.

[83] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 329.

[84] IEEE. **Standard: IEC 62716**. Disponível em: <http://standards.globalspec.com/std/1611158/iec-62716>. Acesso em Setembro de 2017.

[85] PORTAL SOLAR. **CERTIFICADO DO PAINEL SOLAR**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/o-certificado-do-painel-solar---saiba-o-que-voce-esta-comprando.html>. Acesso em Setembro de 2017.

[86] INMETRO. **TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA - MÓDULOS - Edição 2017**. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf. Acesso em Setembro de 2017.

[87] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 331.

[88] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 332.

[89] VILLALVA, Gradella Marcelo. GAZOLLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ed. São Paulo: Érica, 2012. Pág. 216.

[90] FRONIUS. **Fronius Galvo 2.0-1**. Disponível em: http://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_brasil/hs.xsl/7552_9355.htm#.We6Jz2iPLIU. Acesso em Outubro de 2017.

[91] FRONIUS. **Fronius Galvo 2.0-1**. Disponível em: http://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_brasil/hs.xsl/7552_9355.htm#.We6Jz2iPLIU. Acesso em Outubro de 2017.

[92] FRONIUS. **Fronius Galvo 2.0-1**. Disponível em: http://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_brasil/hs.xsl/7552_9355.htm#.We6Jz2iPLIU. Acesso em Outubro de 2017.

[93] FRONIUS. **FRONIUS SOLAR.WEB**. Disponível em: <https://www.solarweb.com/>. Acesso em: Outubro de 2017.

[94] FRONIUS. **Fronius Galvo 2.0-1**. Disponível em: http://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_brasil/hs.xsl/7552_9355.htm#.We6Jz2iPLIU. Acesso em Outubro de 2017.

[95] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

[96] ABNT. **Norma Brasileira - Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410:2004 versão corrigida**, 2008.

[97] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 340.

[98] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 340.

[99] FRONIUS. **Fronius Galvo: Explicação de símbolos e seleção de localização - Avisos para montagem e conexão**. Disponível em: https://www3.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-D4066F2B-D98F9B95/fronius_brasil/42_0426_0171_PB_298634_snapshot.pdf. Acesso em Outubro de 2017. Pág. 16.

[100] FRONIUS. **Fronius Galvo: Explicação de símbolos e seleção de localização - Avisos para montagem e conexão**. Disponível em: https://www3.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-D4066F2B-D98F9B95/fronius_brasil/42_0426_0171_PB_298634_snapshot.pdf. Acesso em Outubro de 2017. Pág. 13.

[101] CELESC. **MANUAL DE PROCEDIMENTOS**. Disponível em em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/normativa%20micro-mini%20gerao.pdf>. Acesso em Outubro de 2017.

[102] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág.443.

[103] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág.361.

[104] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

[105] J PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Pág. 443.

[106] EPE. **MANUAL DE PROCEDIMENTOS**. Disponível em em: http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf. Acesso em Outubro de 2017. Pág 30.

- [107] PUCCINI, E. **Matemática Financeira e Análise de Investimentos**. Brasília: CAPES: UAB, 2011. Pág. 162.
- [108] PUCCINI, E. **Matemática Financeira e Análise de Investimentos**. Brasília: CAPES: UAB, 2011. Pág. 171.
- [109] PORTAL BRASIL. **CADERNETA DE POUPANÇA – ÍNDICES MENSAIS**. Disponível em: http://www.portalbrasil.net/poupanca_mensal.htm. Acesso em Outubro de 2017.
- [110] PUCCINI, E. **Matemática Financeira e Análise de Investimentos**. Brasília: CAPES: UAB, 2011.
- [111] CELESC. **Normativa I-432.0004. Florianópolis, 2016**. Disponível em: <http://celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/Normativa-GD-revisao-03-2016.pdf>. Acesso em: Maio de 2017.
- [112] INMETRO. **RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={02A05065-372B-4133-B054-4369D8F37B3F}#2>. Acesso em: Maio de 2017.
- [113] PROCEL. **Manual para aplicação do RTQ**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={02A05065-372B-4133-B054-4369D8F37B3F}#2>. Acesso em: Maio de 2017.
- [114] PROCEL. **Diretrizes para obtenção de classificação nível A para edificações comerciais, de serviço e públicas - Zonas Bioclimáticas**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={02A05065-372B-4133-B054-4369D8F37B3F}#2>. Acesso em: Maio de 2017.
- [115] SCHLICKMANN, F. **ANÁLISE DO PANORAMA, DIMENSIONAMENTO E ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA ON-GRID COM GERAÇÃO FOTOVOLTAICA**. Blumenau: FURB, 2017.

ANEXO 1



GCL-P6/72

HIGH EFFICIENCY
MULTICRYSTALLINE MODULE

GCL-P6/72 310-325 Watt

325^W

MAXIMUM POWER OUTPUT

16.7%

MAXIMUM MODULE EFFICIENCY

0~+5^W

POWER OUTPUT GUARANTEE

Trust GCL to Deliver Reliable Performance Over Time

- World-class manufacturer of crystalline silicon photovoltaic modules
- Fully automatic facility and world-class technology
- Rigorous quality control to meet the highest standard: ISO9001:2008, ISO 14001: 2004 and OHSAS: 18001 2007
- Tested for harsh environments (salt mist, ammonia corrosion and sand blowing test: IEC 61701, IEC 62716, DIN EN 60068-2-68)
- Long term reliability tests
- 2*100% EL inspection ensuring defect-free modules

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 YEARS PRODUCT WARRANTY 25 LINEAR POWER WARRANTY



-  Ideal choice for large scale ground installation
-  High conversion efficiency due to top quality wafer and advanced cell technology
-  PID and snail trails free
-  Optimized system performance by module level current sorting
-  Excellent performance under low irradiance
-  Additional yield and easy maintenance with high transparent self-cleaning glass

Additional insurance backed by Swiss RE



GCL-P6/72 HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTALLINE MODULE

ELECTRICAL SPECIFICATION (STC)

Peak Power Watts	Pm(W)	310	315	320	325
Power Output Tolerance	Pm(W)	0~+5			
Maximum Power Voltage	Vm(V)	37	37.2	37.4	37.6
Maximum Power Current	Im(A)	8.38	8.47	8.56	8.64
Open Circuit Voltage	Voc(V)	45.4	45.6	45.8	46.0
Short Circuit Current	Isc(A)	8.99	9.08	9.17	9.24
Module Efficiency	(%)	16.0	16.2	16.5	16.7

Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25° C).

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power	Pm(W)	223.8	227.1	231.2	234.6
Power Output Tolerance	Pm(W)	0~+5			
Maximum Power Voltage	Vm(V)	33.5	33.8	34.1	34.3
Maximum Power Current	Im(A)	6.68	6.72	6.78	6.84
Open Circuit Voltage	Voc(V)	42	42.2	42.4	42.6
Short Circuit Current	Isc(A)	7.19	7.30	7.38	7.46

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20° C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Poly 156x156mm (6 inches)
Cell Orientation	72 Cells (6x12)
Module Dimensions	1956x992x40mm (77 x 39.05 x 1.57 inches)
Weight	22.5kg/26kg
Glass	High transparency solar glass 3.2mm (0.13 inches) or 4mm (0.15 inches)
Backsheet	White
Frame	Silver, anodized aluminium alloy
J-Box	IP67 Rated
Cables	4.0mm ² (0.006 inches ²), 1200mm (47.2 inches)
Connector	Original MC4 or Compatible

TEMPERATURE RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C
Temperature Coefficient of P _{MAX}	-0.43% /°C
Temperature Coefficient of V _{OC}	-0.35% /°C
Temperature Coefficient of I _{SC}	0.04% /°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000V DC(IEC)
Max Series Fuse Rating	15A

WARRANTY

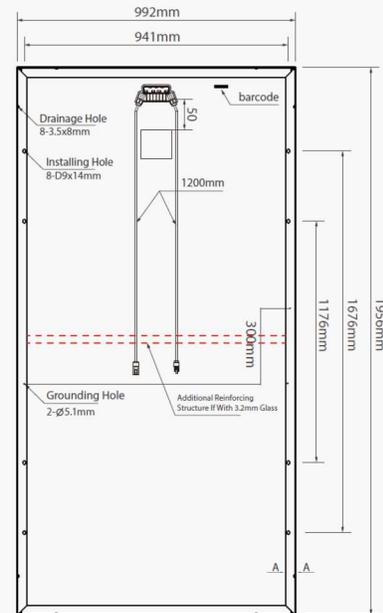
10 years Product Workmanship Warranty
25 years linear Power Warranty

(Please refer to GCL standard warranty for details)

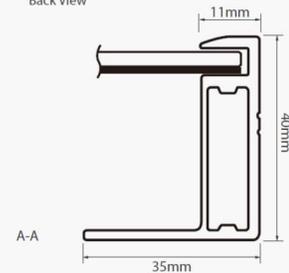
PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 26 pieces
Modules per 40' container: 624pieces

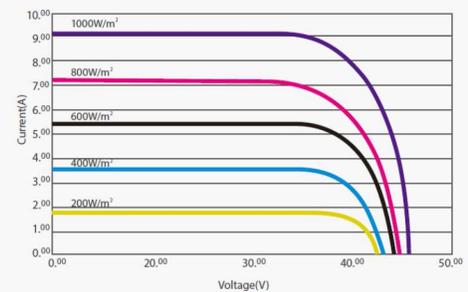
MODULE DIMENSION



Back View



I-V CURVES OF MODULE (315W)



Excellent performance under weak light conditions: at an irradiance intensity of 200W/m² W/m²AM 1.5, 25° C, 96.5% or higher of the STC efficiency (1000W/m²) is achieved



Bringing Green Power to Life
<http://en.gclsi.com>

GCL-EN-P6/72-2016-V1.0

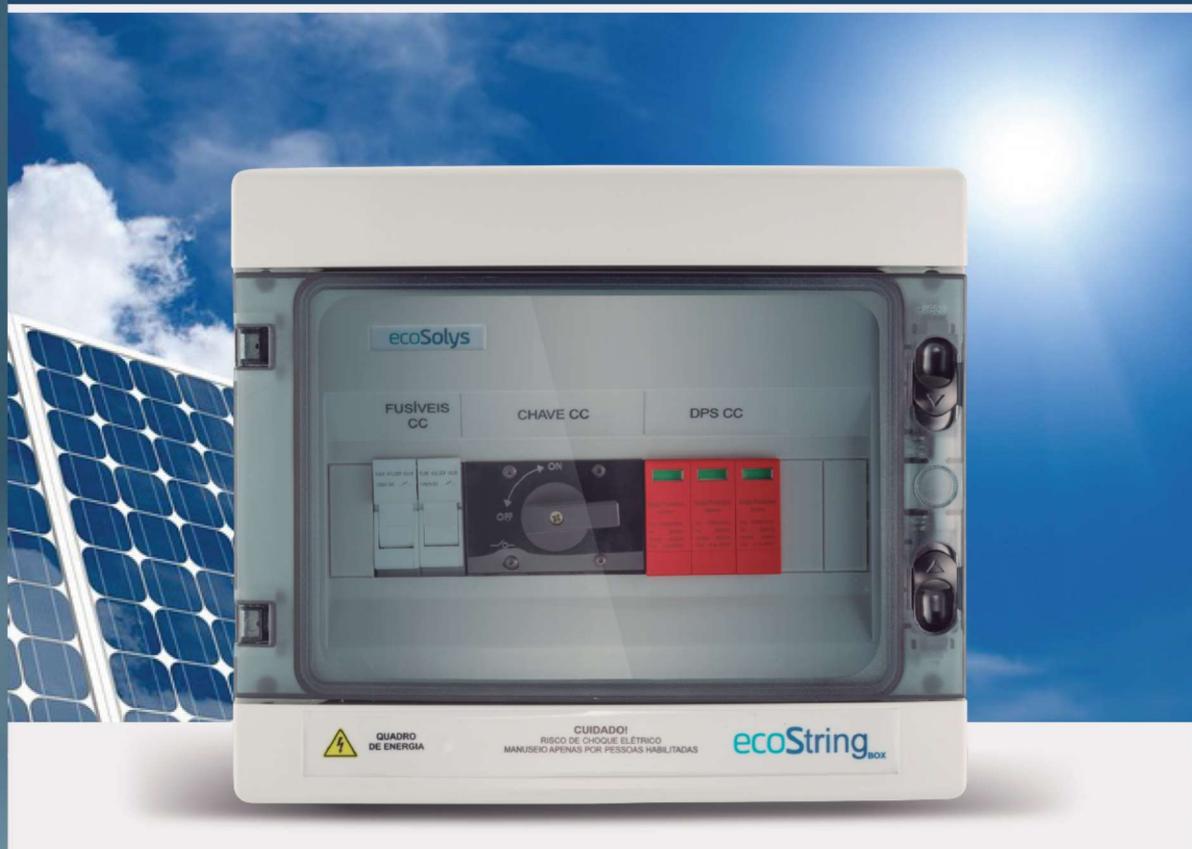
CAUTION: READ INSTALLATION MANUAL BEFORE USING THE PRODUCT
©2015 GCL System Integration Technology Co., Ltd. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

ANEXO 2

ecoString_{box}

ecoSolys - CC

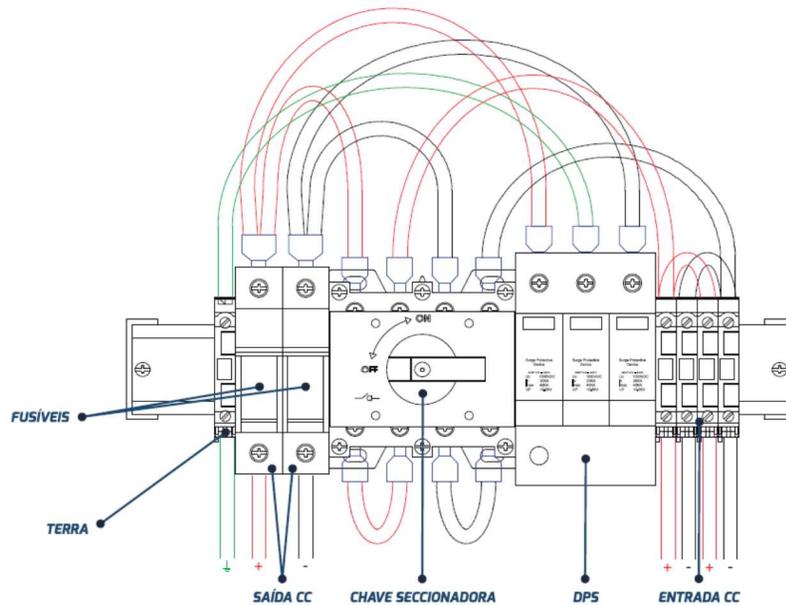
Extra proteção para seu sistema fotovoltaico.



A **ecoString-box** foi desenvolvida para garantir a proteção do circuito entre o módulo fotovoltaico e o inversor, cumprindo com todas as indicações de um quadro elétrico de proteção em corrente contínua. Esse quadro elétrico é composto por dispositivos de proteção dimensionados para intervir em caso de distúrbios elétricos no sistema.

ecoString_{box}

ecoSolys - CC



A String Box ecoSolys é composta de:

Quadro elétrico dentro das normas
IEC 61439 e/ou ABNT NBR IEC 60439;

Índice de proteção mínimo: IP66;

Base porta fusível com fusíveis;

Chave seccionadora em corrente contínua;

Dispositivo de Proteção Contra Surto - DPS.

02 Fusíveis 10x38

Corrente: 15 A
Tensão: 1000 VDC

Chave seccionadora em corrente contínua

Corrente nominal mínima: 32 A
Tensão nominal mínima: 1000 VDC

DPS

Tensão nominal: 1000 VDC
Corrente nominal: 20 kA
Corrente máxima: 40 kA
Tensão de pico: $\leq 3,5$ kV

ecoSolys

Uma nova luz para a sustentabilidade

Fone: +55 41 3056-8511
Rua Deputado Heitor Alencar Furtado - 270
CEP 80740-060 - Curitiba - Paraná - Brasil

www.ecosolys.com.br
contato@ecosolys.com.br

f @ecosolys @ecosolys @ecosolys