



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE JOINVILLE  
ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

**METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO  
NA MODALIDADE DE AUTOCONSUMO REMOTO – ESTUDO DE CASO  
FLORIANÓPOLIS.**

RAFAEL ANGELO CHITOLINA

Joinville - 2017

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO  
NA MODALIDADE DE AUTOCONSUMO REMOTO – ESTUDO DE CASO  
FLORIANÓPOLIS.**

**RAFAEL ANGELO CHITOLINA**

**RICARDO RÜTHER, PhD**  
PROFESSOR ORIENTADOR

**Trabalho de conclusão de curso  
submetido à Universidade Federal  
de Santa Catarina como parte dos  
requisitos para a obtenção do  
título de Engenheiro de  
Infraestrutura.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela força e motivação durante o período de graduação.

Agradeço à minha família, que mesmo longe fez o possível para que eu alcançasse meus objetivos, em especial minha mãe, Iria.

Agradeço à minha namorada pela paciência e apoio em todas as situações.

Aos amigos que ganhei durante todo o período de graduação.

Ao Dr. Ricardo Rütther por ter aceitado ser meu orientador e aos conhecimentos que me foram passados nesse período de término da graduação.

Agradeço a todos que de alguma maneira me ajudaram e incentivaram: Silvia, Simone, Cátia, Rodrigo Kimura, Marcelo.

***“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”***

**Antoine Laurent de Lavoisier**

## RESUMO

Atualmente presenciamos o início da inserção da energia solar fotovoltaica no Brasil. Visando aproveitar as diferentes modalidades de utilização dessa tecnologia tem-se como tema deste trabalho a implantação de um sistema em dada residência, a fim de compensar a energia excedente gerada em outra propriedade da mesma pessoa física. Para definirmos a quantidade de energia elétrica que os módulos FV devem gerar no estudo de caso, deve-se estudar o histórico do consumo de energia e as taxas de disponibilidade referentes ao tipo de conexão. O projeto fotovoltaico completo para a residência apresenta um payback descontado obtido através de uma média apresentada na análise de mercado. Dessa maneira obteve-se uma média do tempo, em anos, do retorno financeiro proporcionado por “deixar de pagar” energia elétrica, considerando o tempo de vida de 25 anos. Assim pode-se mostrar se o sistema é economicamente viável para atender o consumo das duas residências.

**Palavras-chave:** Energia Solar Fotovoltaica, Geração Distribuída, Autoconsumo Remoto.

## ABSTRACT

Brazil is presenting the first steps of photovoltaic solar energy. In order to take advantage of its many uses, this paper is about the implantation of a system in a residence, compensating the surplus energy generated in another property of the same owner. To define the amount of electrical energy the PV modules must generate, the records of the energy consumption and the availability rates related to the type of connection are needed. The complete photovoltaic project for the residence presents a discounted payback obtained through an average presented in the market analysis. With the average current price of kWp installed by the discount envisaged in the energy bill and considering the life time of 25 years, it was obtained the time in years of financial return provided by "not paying" electricity, showing us whether the system is economically feasible to attend the consumption of the two residences.

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy, Distributed Generation, PV Self-consumption.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Piranômetro Termossolar .....	25
<b>Figura 2</b> – Piranômetro Fotovoltaico.....	26
<b>Figura 3</b> – Pireliômetro .....	26
<b>Figura 4</b> – Média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro .....	27
<b>Figura 5</b> – Evolução da potência instalada (MW) até 23/05/17 .....	29
<b>Figura 6</b> – Representação dos principais eventos ocorridos no desenvolvimento da célula fotovoltaica .....	31
<b>Figura 7</b> – Usina Cidade Azul, localizada no município de Tubarão, SC. Objeto resultante do P&D da ANEEL em 2011.....	32
<b>Figura 8</b> – Número de conexões por Estado até 23/05/17 .....	33
<b>Figura 9</b> – Projeção de unidades consumidoras que receberiam os créditos .....	34
<b>Figura 10</b> – Projeção de unidades consumidoras que receberiam os créditos .....	35
<b>Figura 11</b> – Dados de UCs conectadas em GD por tipo de geração de energia .....	37
<b>Figura 12</b> – Demonstração básica de um sistema FV em GD em autoconsumo remoto .....	38
<b>Figura 13</b> – Potencial Técnico Fotovoltaico/Consumo Residencial (Ano Base 2013) por UF .....	40
<b>Figura 14</b> – Diferença entre uma célula monocristalina e uma multicristalina .....	48
<b>Figura 15</b> – Esquema dos componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino .....	49
<b>Figura 16</b> – Diferença visual entre um módulo monocristalino e um multicristalino ..	50
<b>Figura 17</b> – Painel solar de filme fino .....	51
<b>Figura 18</b> – Filme fino flexível .....	51
<b>Figura 19</b> – Diferença entre o sistema <i>off-grid</i> (isolado) e <i>on-grid</i> (interligado à rede) .....	52
<b>Figura 20</b> – Vila na Alemanha com telhados das edificações voltados para o Sul .....	53
<b>Figura 21</b> – Representa um esquema básico de sistema conectado à rede .....	54
<b>Figura 22</b> – Fluxograma do projeto .....	59
<b>Figura 23</b> – Imagem de Satélite da ilha de Florianópolis com a localização aproximada das duas UCs analisadas no estudo de caso .....	60

<b>Figura 24</b> – Foto de satélite com vista superior da residência 1 .....	62
<b>Figura 25</b> – Foto do padrão de entrada elétrico da residência 1 .....	63
<b>Figura 26</b> – Quadro geral de distribuição elétrica da residência 1 .....	64
<b>Figura 27</b> – Estrutura da cobertura da residência 1 .....	64
<b>Figura 28</b> – Representação do ângulo azimutal da cumeeira para obtenção da orientação do telhado para residência 1 .....	65
<b>Figura 29</b> – Aplicativo de smartphone que simula uma bússola, posicionado na direção da inclinação do telhado norte da residência .....	66
<b>Figura 30</b> – Maquete 3D da residência 1 .....	67
<b>Figura 31</b> – Residência central Google Earth 3D .....	68
<b>Figura 32</b> – Potencial de Geração de Energia .....	70
<b>Figura 33</b> – Sombra no dia 05/04 às 8h .....	71
<b>Figura 34</b> – Sombra no dia 22/06 às 8h .....	71
<b>Figura 35</b> – Sombra no dia 08/09 às 8h .....	71
<b>Figura 36</b> – Sombra da chaminé em 01 de janeiro às 8h .....	71
<b>Figura 37</b> – Posicionamento dos módulos FV no telhado .....	82

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Consumo de energia elétrica no mundo por região (TWh) .....	16
<b>Tabela 2</b> – Geração elétrica por região no mundo (TWh) .....	20
<b>Tabela 3</b> – Capacidade instalada de fontes alternativas por região no mundo (GW) .....	21
<b>Tabela 4</b> – Geração elétrica por fonte no Brasil (GWh) .....	23
<b>Tabela 5</b> – Potencial Técnico Fotovoltaico Residencial .....	39
<b>Tabela 6</b> – Ordem dos motivos da escolha opção do sistema FV, respondido pelo proprietário .....	61
<b>Tabela 7</b> – Características do Módulo FV .....	78
<b>Tabela 8</b> – Características do Inversor .....	78
<b>Tabela 9</b> – Especificação cabos de <i>strings</i> .....	79
<b>Tabela 10</b> – Especificação cabos CA .....	79
<b>Tabela 11</b> – Especificação do disjuntor CA .....	80
<b>Tabela 12</b> – Especificação do DPS CA .....	80
<b>Tabela 13</b> – Lista de Materiais .....	81
<b>Tabela 14</b> – Diferentes orçamentos de empresas do setor de energia solar de Santa Catarina .....	83
<b>Tabela 15</b> – Resultado da análise econômica .....	89

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Modalidades de geração distribuída até dia 31/05/2017 .....	44
<b>Gráfico 2</b> – Dados coletado em 31/05/2017 .....	45
<b>Gráfico 3</b> – Dados da fatura de energia, consumo mensal em kWh da casa de praia .....	85
<b>Gráfico 4</b> – Consumo mensal em kWh da residência do centro urbano .....	86
<b>Gráfico 5</b> – Histórico do consumo de energia elétrica das duas residências e o acumulado (kWh) .....	87
<b>Gráfico 6</b> – Performance Ratio do sistema FV da simulação .....	88
<b>Gráfico 7</b> – Comparativo entre a geração FV e o consumo sem a taxa de disponibilidade durante os meses do ano .....	88
<b>Gráfico 8</b> – Fluxo de caixa acumulado .....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

**UCs** – Unidades Consumidoras

**BEN** - Balanço de Energia Nacional

**GW** - GigaWatts

**GD** - Geração Distribuída

**CAD** - *Computer Aided Design* (Desenho Auxiliado por Computador)

**CELESC** - Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.

**c-Si** – Silício Cristalino

**mc-Si** - Silício Multicristalino

**m-Si** - Silício Monocristalino

**a-Si** - Silício amorfo

**FV** - Fotovoltaico

**PQs** - Pontos Quânticos

**MPPT** - *Maximum Power Point Tracker* (Seguidor do Ponto de Máxima Potência)

**CA** - Corrente Alternada

**CC** – Corrente Contínua

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

**PNUMA** - Nações Unidas para o Meio Ambiente

**GEF** - *Global Environment Facility* (Fundo Global para o Meio Ambiente)

**DSSC** - Células Solares Sensibilizadas por Corantes

**DR** - Disjuntores Diferenciais

**PRODIST** - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

**LER** – Leilão de Energias Renováveis

**ICMS** – Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

**PIS** – Programa Integração Social

**COFINS** - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

**ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica

**REN** - Redes Energéticas Nacionais

**CGH** – Central de Geração Hidrelétrica

**EOL** – Eólica

**UFV** – Usinas Fotovoltaicas

**UTE** – Usina Termelétrica

**OPV** – *Organic Photovoltaics*

**PR** – *Performance Ratio*

**YELD** – Taxa de desempenho

**AT** – Alta Tensão

**BT** – Baixa Tensão

**3D** – Três Dimensões

**ART** – Anotação de Responsabilidade Técnica

**LSF IEE/USP** - Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo

**FV UFSC** – Fotovoltaica UFSC

**LABSOL UFRGS** – Laboratório de Energia Solar UFRGS

**2D** – Bidimensional

**IEA** – *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)

**INMETRO** – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	16
1.1.	OBJETIVOS .....	18
1.2.1.	Objetivo geral.....	18
1.1.2.	Objetivos específicos.....	18
1.2.	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	20
2.1.	DADOS DE ENERGIA NO BRASIL E NO MUNDO .....	20
2.2.	FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA .....	21
2.3.	RECURSO SOLAR .....	23
2.3.1.	Energia solar.....	24
2.3.2.	Radiação solar.....	24
2.4.	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	29
2.4.3.	Geração distribuída (GD).....	36
2.4.4.	Potencial de geração e obstáculos no Brasil .....	38
2.4.5.	Normas e regulamentação .....	42
2.4.6.	Incentivos e benefícios .....	45
2.5.	TIPOS DE TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS.....	47
2.5.1.	Silício cristalino (c-Si) .....	48
2.5.2.	Filmes finos.....	50
2.5.3.	Novas tecnologias FV.....	51
2.6.	APLICAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA GERAR ELETRICIDADE .....	51
2.6.1.	Regras básicas para instalação de módulos fotovoltaicos .....	52
2.6.2.	Sistemas conectados à rede ou on-grid .....	53
3.	MÉTODOS .....	58
3.1.	FLUXOGRAMA .....	59
3.2.	COLETA DE DADOS .....	59
3.2.1.	Residência 1 (Casa de praia) .....	61
3.2.2.	Residência 2 (Centro urbano).....	67
3.3.	SOFTWARES DE SIMULAÇÃO (FERRAMENTAS) .....	68
3.4.	POTENCIAL DE GERAÇÃO E ANÁLISE DE SOMBREAMENTO .....	69
3.5.	SIMULAÇÕES.....	72

3.5.1.	Equipamentos utilizados na simulação FV .....	72
3.5.2.	Relatório de simulação FV.....	72
3.6.	PROJETO FOTOVOLTAICO .....	73
3.6.1.	Acesso à rede de distribuição da CELESC .....	73
3.6.2.	Aspectos legais CELESC .....	73
3.6.3.	Requerimentos de solicitação de acesso e vistoria .....	74
3.6.4.	Memorial de cálculo.....	75
3.6.5.	Memorial descritivo.....	76
3.6.6.	Especificações técnicas.....	78
3.6.7.	Lista de materiais.....	80
4.	RESULTADOS .....	85
5.	CONCLUSÕES .....	91
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93
	ANEXO A – Autorização do proprietário .....	96
	ANEXO B – Checklist de visita técnica – Residência 2.....	97
	ANEXO C – Datasheet do módulo fotovoltaico .....	98
	ANEXO D – Datasheet do inversor .....	100
	ANEXO E – Simulação fotovoltaica.....	104
	ANEXO F – Requerimento para solicitação de acesso .....	105
	ANEXO G – Requerimento para solicitação de vistoria .....	106

## 1 INTRODUÇÃO

O Sol é a principal fonte de energia para a Terra, e provém dele quase toda a energia utilizada pelo homem. Pelo calor advindo do astro, a evaporação da água se faz base para a energia hidroelétrica. Já as variações de temperatura e pressão atmosférica, influenciam na energia dos ventos (VILLALVA, 2015).

A irradiação solar é indiretamente responsável pelas demais fontes de energia (hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis), constituindo-se em uma inesgotável fonte energética, que pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica ou ser convertida em energia elétrica (NIEDZIALKOSKI, 2013).

Como a eletricidade é a forma de energia mais flexível que existe, pode ser transportada a longas distâncias e convertida em luz, calor, movimento e informação. Atualmente dependemos muito da energia elétrica, mas esse conforto tem um custo muito elevado para o planeta (VILLALVA, 2015).

**Tabela 1** - Consumo de energia elétrica no mundo por região (TWh).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2014 - 2015 (%)
<b>Mundo</b>	<b>18523</b>	<b>19096</b>	<b>19558</b>	<b>20174</b>	<b>20482</b>	<b>20568</b>	<b>0,4</b>
Europa	3382	3337	3346	3318	3236	3291	1,7
CIS	1203	1223	1247	1243	1254	1227	-2,2
América do Norte	4399	4399	4355	4402	4398	4342	-1,3
América Latina	1125	1178	1219	1268	1292	1279	-1,0
Ásia	6848	7344	7725	8238	8535	8608	0,9
Oceania	264	267	266	261	261	264	1,2
África	559	585	591	604	617	621	0,7
Oriente Médio	743	764	808	840	890	935	5,1

Fonte: (ENERDATA, 2017).

O constante desenvolvimento tecnológico mundial traz como consequência o aumento no consumo de energia elétrica, como mostra a Tabela 1. Esse é um dos motivos pelo qual se tem buscado soluções para geração de energia por meios renováveis.

As energias solar, hidrelétrica, eólica, oceânica, geotérmica e da biomassa se enquadram nessa classe de renováveis. Como os não-renováveis podemos destacar o petróleo, o carvão, gás natural e os minerais radioativos utilizados nas usinas termonucleares. A energia solar fotovoltaica possui diferenciais em relação às outras

formas de geração de energia elétrica. Villalva (2015) cita que a geração pode ser feita em qualquer local, até mesmo no próprio ponto de consumo, sem a necessidade de utilizar linhas de transmissão ou depender de redes de distribuição.

Outras vantagens importantes dos sistemas fotovoltaicos são que a geração ocorre de forma estática, silenciosa, não-poluente e de forma renovável. Entretanto, devido à baixa densidade energética contida na luz solar, comparada com outras fontes de energia, os módulos solares fotovoltaicos necessitam ter um baixo custo para produzir energia elétrica a preços competitivos (RÜTHER, 2004).

Antes de 2012, no Brasil, a utilização dessa tecnologia era restrita a aplicações em pequenos sistemas isolados “*off-grid*”. Em 17 de abril desse mesmo ano entrou em vigor a resolução normativa 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que incentiva e regulamenta a geração de eletricidade com fontes renováveis de energia e com sistemas de micro e mini geração de energia conectados à rede elétrica de distribuição para consumidores brasileiros (VILLALVA, 2015).

O acompanhamento da implantação da resolução, realizado pela ANEEL nos últimos anos, permitiu identificar diversos pontos da regulamentação que necessitavam de aprimoramento. Com isso a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015, a qual revisou Resolução Normativa nº 482/2012 e a seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (ANEEL, 2016).

Este trabalho se propõe a desenvolver uma metodologia para projetos de geração de energia fotovoltaica conectados à rede de distribuição, que se enquadre na classificação da REN 482/2012 e revisada na REN 687/2015 como autoconsumo remoto.

*VIII – autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com micro geração ou mini geração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada. ”*  
(ANEEL, 2015).

Para realizar tal intento, o local escolhido para aplicação da metodologia foi a cobertura da residência 1, será implantado o sistema de micro geração distribuída, localizada em uma praia do Sul da ilha de Florianópolis. Os créditos excedentes da

microgeração daquela será implantado na residência 2, no centro urbano, ambas no município de Florianópolis, no estado de Santa Catarina.

Tem-se como metas neste trabalho provar que esse grupo de pessoas físicas e jurídicas, que possuem mais de uma UC em seus nomes, têm a possibilidade de ampliar o leque de opções para dimensionar um sistema de geração solar fotovoltaico mais eficiente. Além disso, outro objetivo é de demonstrar que a implantação dessa tecnologia já está ao alcance de todos, apresentando-se, em alguns casos, como um investimento mais rentável para unidades consumidoras que se encaixem como autoconsumo remoto.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar a viabilidade técnica da utilização da modalidade de autoconsumo remoto em um projeto de microgeração de energia solar fotovoltaica. Uma aplicação técnica num estudo de caso será apresentada para proporcionar um maior entendimento do tema.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- i. Fornecer base teórica sobre sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição local;
- ii. Adquirir dados e informações para o estudo de caso das duas UCs;
- iii. Apresentar as justificativas e vantagens para utilizar a alternativa do autoconsumo remoto nesse estudo de caso;
- iv. Fornecer o projeto completo, pronto para implantação do sistema FV conectado à rede elétrica com capacidade de autossuficiência de eletricidade;
- v. Trazer vantagens técnicas do sistema apresentado;

## 1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

O Trabalho se inicia no capítulo 2 com uma apresentação detalhada de conceitos, números e normas para a aplicação da tecnologia de geração de energia fotovoltaica conectada à rede de distribuição de energia elétrica.

O capítulo 3 mostra a metodologia aplicada no desenvolvimento do estudo de caso, que seguiu ordem pré-determinada no cronograma e fluxograma do trabalho. Dados coletados nas visitas técnicas, análise de consumo de energia elétrica, estudo de viabilidade da implantação, documentos e relatórios fazem parte do acervo de desenvolvimento desse projeto.

O projeto básico contém o material necessário exigido de acordo com resoluções e normas. Além disso, para obter um projeto mais detalhado, há um material desenvolvido pelo autor, que foi utilizado de conhecimentos próprios de sistemas fotovoltaicos, software de modelagem e software de simulação FV adquiridos durante a graduação e principalmente no estágio curricular.

As vantagens e desvantagens da utilização do autoconsumo remoto como opção de compensação da energia excedente são apresentadas no capítulo 4, relacionadas com os resultados obtidos. Esse, através da média obtida pela análise de mercado, apresenta o payback obtido para o sistema. O último, capítulo 5, contém as considerações finais e as conclusões do trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. DADOS DE ENERGIA NO BRASIL E NO MUNDO

Dados obtidos no *Global Energy Statistical Yearbook 2016* (Anuário Estatístico Global de Energia) mostram que a geração de energia elétrica no mundo aumentou 0,8% no ano de 2014, com destaque para o Oriente Médio que alavancou um bom resultado, como mostra a Tabela 2.

**Tabela 2** - Geração elétrica por região no mundo (TWh)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2014 - 2015 (%/ano)
<b>Mundo</b>	<b>21515</b>	<b>22212</b>	<b>22709</b>	<b>23375</b>	<b>23765</b>	<b>23950</b>	<b>0,8</b>
Europa	3864	3808	3842	3805	3719	3791	1,9
CIS	1482	1513	1542	1530	1530	1510	-1,3
América do Norte	4978	4983	4924	4958	4971	4956	-0,3
América Latina	1370	1438	1481	1522	1545	1536	-0,6
Ásia	7952	8550	8923	9513	9881	9955	0,7
Oceania	302	302	299	297	297	300	1,2
África	675	700	727	737	760	780	2,5
Oriente Médio	893	917	972	1012	1062	1122	5,6

Fonte: (ENERDATA, 2017).

A matriz energética mundial está composta, em sua grande maioria, por combustíveis fósseis, carvão, petróleo e gás natural que são responsáveis por aproximadamente 80% da geração mundial de energia. No entanto, essas fontes geram gases poluentes, como o dióxido de carbono, resultante da sua combustão (BEN, 2016).

Em uma previsão do IEA World Energy Outlook 2009 (Perspectiva Mundial de Energia) verifica-se que o consumo de energia em 2030 estará próximo de 30.000 TWh ao ano. Seriam necessárias 230 usinas hidrelétricas equivalentes à de Itaipu para suprir essa demanda. Villalva (2015) informa que não existiriam rios suficientes no planeta para tal intento.

A energia elétrica proporciona uma série de benefícios como, por exemplo, o conforto e a praticidade na vida das pessoas. Embora as fontes renováveis representem uma pequena parte da estatística de geração de energia elétrica no mundo, o potencial para o emprego desse modelo é muito grande (VILLALVA, 2015).

Apesar de o Brasil possuir grande potencial de geração de energia através do Sol, devido, primordialmente, à sua extensa área territorial e localização privilegiada na superfície da Terra, o país também possui um ótimo potencial de geração de energia elétrica através de usinas hidrelétricas, que se tornaram a solução mais utilizada para suprir a demanda nacional (BEN 2013).

**Tabela 3** – Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW)

	2011	2012	2013	2014	2015	Δ% (2015/2014)	Part. % (2015)
<b>Total</b>	<b>117.136</b>	<b>120.974</b>	<b>126.743</b>	<b>133.913</b>	<b>140.272</b>	<b>4,7</b>	<b>100</b>
Usinas Hidrelétricas	78.347	79.956	81.132	84.095	86.002	2,3	61,3
Usinas Termelétricas	31.243	32.778	36.528	37.827	39.393	4,1	28,1
PCH	3.896	4.101	4.620	4.790	4.840	1,0	3,5
CGH	216	236	266	308	395	28,3	0,3
Usinas Nucleares	2.007	2.007	1.990	1.990	1.990	0,0	1,4
Usinas Eólicas	1.426	1.894	2.202	4.888	7.630	56,1	5,4
Solar	1	2	5	15	21	40,0	0,0

Fonte: Balanço Energético Nacional (2016).

A capacidade instalada de geração elétrica foi separada pelas principais fontes de energia. A ANEEL apresenta na Tabela 3, coletada no Balanço Energético Nacional 2016, a predominância da fonte hídrica atingindo a parcela de 65,1 % da potência total instalada no Brasil. Mas os grandes destaques são o aumento das potências instaladas no ano de 2015, usinas eólicas e solares atingiram uma taxa de 56,1 % e 40%, respectivamente.

## 2.2. FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

Definição de fontes renováveis de energia, de acordo com Villalva (2015), são as consideradas inesgotáveis para os padrões humanos de utilização. Como principais modelos dessas fontes temos a energia hidráulica, fotovoltaica, eólica e da biomassa. Na parte de fontes não renováveis são consideradas as que se baseiam em recursos finitos. Os exemplos mais importantes a citar são o petróleo, o carvão, gás natural e os materiais radioativos.

As fontes renováveis além de promoverem uma maior segurança no abastecimento energético, também contribuem para o desenvolvimento social e

econômico, para a universalização do acesso à energia e ainda ajudam a reduzir a poluição causada pelo uso de combustíveis fósseis (TAVARES et al., 2012).

Em relação a 2014 foi observado uma redução de 2,9% na emissão de gases de efeito estufa, a partir do Sistema Interligado Nacional (SIN). Em 2015 reduziu em 4,7% a emissão de gases a partir da geração de eletricidade, em comparação aos níveis de 2014. O Brasil permanece como líder entre os países com maior participação de fontes renováveis em sua matriz e, conseqüentemente, com baixos níveis de emissões (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA EPE/MMA, 2016).

A exploração de qualquer fonte de energia provoca impactos no meio ambiente. Nos processos de fabricação de módulos fotovoltaicos empregam-se componentes tóxicos. Já as hidrelétricas exigem a formação de represas que causam alterações irreversíveis no local de inundação. (VILLALVA, 2015).

O conceito de energia alternativa não é exclusivo para fontes renováveis, mas é composto em sua grande maioria por elas. Ao incentivar a utilização das fontes alternativas, se motiva a um maior desenvolvimento tecnológico e benefícios econômicos indiretos. Como apresenta Villalva (2015) deve-se considerar o custo benefício do sistema de geração e os ganhos ao meio ambiente.

A matriz elétrica que predomina no Brasil tem origem renovável, com ênfase para a geração hidráulica que garante 65,1% da oferta interna. A soma referente à produção nacional e as importações correspondem a 75,5% da oferta interna de eletricidade, e são essencialmente de origem renovável (BEN, 2016).

No Brasil temos as fontes eólica, solar e da biomassa como complementares à hidrelétrica. Dessa forma, quando as hidrelétricas estão com as menores afluências hídricas, temos as outras fontes para equilibrar com a perda de capacidade dos reservatórios de água (TAVARES et al., 2012).

**Tabela 4** - Geração elétrica por fonte no Brasil (GWh)

	2011	2012	2013	2014	2015	Δ% (2015/2014)	Part. % (2015)
<b>Total</b>	<b>531.758</b>	<b>552.498</b>	<b>570.835</b>	<b>590.542</b>	<b>581.486</b>	<b>-1,5</b>	<b>100</b>
Gás Natural	25.095	46.760	69.003	81.073	79.490	-2,0	13,7
Hidráulica (i)	428.333	415.342	390.992	373.439	359.743	-3,7	61,9
Derivados de Petróleo (ii)	12.239	16.214	22.090	31.529	25.662	-18,6	4,4
Carvão	6.485	8.422	14.801	18.385	19.096	3,9	3,3
Nuclear	15.659	16.038	15.450	15.378	14.734	-4,2	2,5
Biomassa (iii)	31.633	34.662	39.679	44.987	47.394	5,4	8,2
Eólica	2.705	5.050	6.578	12.210	21.626	77,1	3,7
Outras (iv)	9.609	10.010	12.241	13.590	13.741	1,1	2,4

Fonte: Balanço Energético Nacional 2016; Elaboração: EPE.

De acordo com Villalva (2015), pelo fato das hidrelétricas serem responsáveis pela grande parcela de energia gerada no país acabamos por não buscar novas fontes renováveis assim como outros países. Para o Brasil sustentar um ritmo de crescimento e alcançar as grandes potências será necessário encontrar outras fontes renováveis para a demanda elétrica.

As fontes renováveis ainda necessitam superar alguns obstáculos, entre eles econômicas, socioculturais, institucionais, políticas, de informação e conscientização (TAVARES et al., 2012).

A energia eólica é uma das fontes renováveis que recebe maior investimentos por conta do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia. Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro essa fonte de energia poderá atuar, em médio prazo, como fonte descentralizada e complemento de energia acoplada a rede elétrica.

### 2.3. RECURSO SOLAR

A energia do Sol é liberada através de reações termonucleares, onde quatro prótons são fundidos em um núcleo de hélio. Em função dos gradientes de temperatura e linhas de emissão e absorção encontradas na atmosfera solar estima-se que nessa estrela tenha uma reserva de hidrogênio por mais 5 bilhões de anos (NASA apud CRESESB/CEPEL, 2014).

### 2.3.1. Energia solar

A energia solar pode ser utilizada de duas formas: por meio dos coletores termossolares pode gerar aquecimento de água, e por meio de painéis fotovoltaicos pode gerar eletricidade. A fração de irradiação solar que atinge o solo é composta por uma componente direta e uma difusa. Poderá haver uma terceira componente refletora pelo ambiente caso a superfície receptora esteja inclinada em relação à horizontal (CRESESB/CEPEL, 2014).

A grande responsável pela manutenção da vida na terra e que também é indiretamente responsável pelas energias hidráulica, biomassa, eólica e combustíveis fósseis, é a radiação solar. Dessa maneira constitui uma fonte energética inesgotável (NIEDZIALKOSKI, 2013).

### 2.3.2. Radiação solar

O Sol possui uma grande quantidade de energia, e a radiação eletromagnética é a responsável pela sua transmissão através do espaço. Antes de chegar na atmosfera terrestre, a mesma, é composta aproximadamente de 50% de luz visível, 45% de radiação invisível infravermelha e 5% de radiação invisível ultravioleta (VILLALVA, 2015).

Ao atravessar a atmosfera terrestre a radiação solar sofre uma perda de energia. Essa variação depende da espessura da camada de ar e da quantidade de elementos suspensos, como vapor e poeira. Como a espessura da camada de ar depende da distância percorrida pela onda até o solo, e que conseqüentemente é influenciado pela inclinação do Sol com a linha perpendicular ao solo, denominada zênite, o ângulo zenital se torna uma informação importante para determinação da quantidade de energia que atinge um local no solo (VILLALVA, 2015).

A espessura de camada atmosférica é classificada com um coeficiente de Massa de Ar (AM, do inglês *air mass*). Esse coeficiente é calculado como o comprimento relativo que a radiação solar percorre até atingir a superfície em comparação com a distância mínima, quando o ângulo azimutal é igual a zero (CRESESB/CEPEL, 2014).

As perdas do fluxo de potência entre a irradiância que atinge o início da atmosfera terrestre e o contato com o solo chegam próximas de 27 %, assim é adotado

um valor de incidência de irradiância pela área de  $1.000 \text{ W/m}^2$ . Esse valor é utilizado para a especificação da potência nominal de células e módulos fotovoltaicos (CRESESB/CEPEL, 2014).

A radiação solar é dividida em duas, a radiação direta e a radiação difusa, e a soma das duas parcelas resulta na radiação global. A direta corresponde aos raios solares que incidem sobre uma superfície vindos diretamente do Sol, sem interferências no seu trajeto. Já a difusa representa os raios que chegam indiretamente ao plano, resultado da difração que acontece no contato com os elementos presentes na atmosfera (VILLALVA, 2015).

Para medir a irradiância solar global utiliza-se o piranômetro, que pode ser termossolar ou fotovoltaico. O piranômetro fotovoltaico possui uma pequena célula FV que coleta as informações, possui ótimo tempo de resposta e custo reduzido em relação à tecnologia termossolar, contudo como desvantagem tem uma precisão inferior nos dados fornecidos (CRESESB/CEPEL, 2014).

As Figuras 1 e 2 mostram modelos das tecnologias citadas.



**Figura 1** - Piranômetro Termossolar.

Fonte: (CRESESB/CEPEL, 2014).



**Figura 2** - Piranômetro Fotovoltaico.

Fonte: (CRESESB/CEPEL, 2014).

Para a identificação da irradiância direta é comumente utilizado o pireliômetro. O instrumento é apontado para a direção do Sol e é caracterizado por possuir uma pequena abertura de forma a “observar” somente o disco solar, conforme mostra a Figura 3 (CRESESB/CEPEL, 2014).

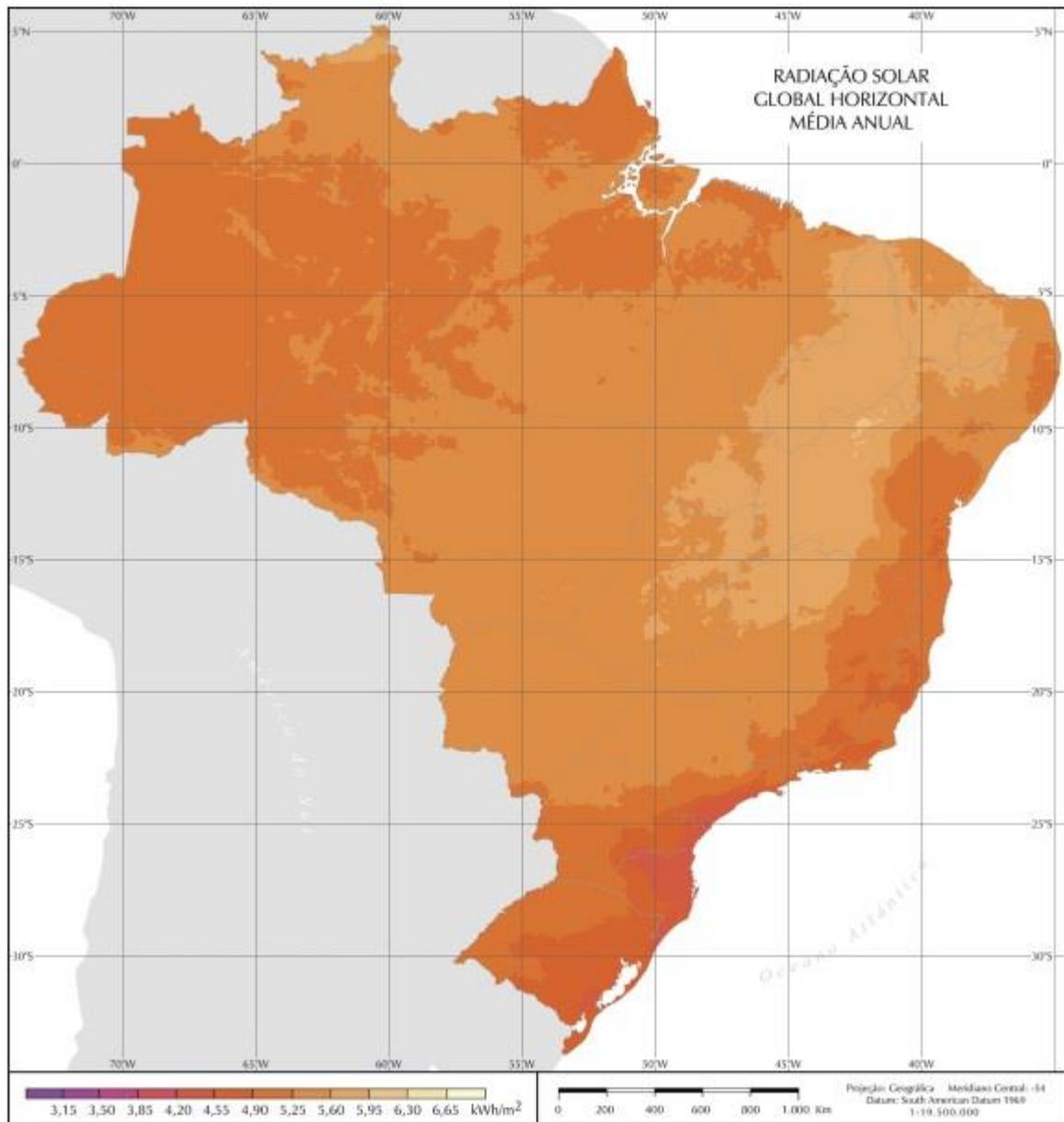


**Figura 3** – Pireliômetro.

Fonte: (CRESESB/CEPEL, 2014).

Financiado pelo PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) e co-financiado pelo GEF (Fundo Global para o Meio Ambiente), o projeto Solar and

Wind Energy Resource Assessment (SWERA) mapeou os níveis de irradiação solar incidentes no Brasil. O principal objetivo do SWERA é garantir o desenvolvimento das áreas solar e eólica, por meio de projetos e políticas públicas, a fim de incentivar o investimento do capital privado nessas áreas (NASCIMENTO, 2013). A Figura 4 apresenta o mapa de irradiação no território brasileiro.



**Figura 4** - Média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro.

Fonte: (PEREIRA et al., 2006).

Outro conceito indispensável é a insolação, que expressa a quantidade de energia solar que incide sobre uma determinada superfície plana ao longo de um determinado período de tempo. Essa é apresentada em  $Wh/m^2$ , e é útil para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, tabelas e mapas de insolação que auxiliam ao acesso a essas informações (VILLALVA, 2015).

Em países da zona tropical do planeta, faixa entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, os raios solares incidem com o ângulo zenital reduzido e ficam sujeitos a massas de ar reduzidas. Essa é a razão pela qual zonas tropicais recebem maior quantidade de radiação solar do que zonas temperadas (VILLALVA, 2015).

Por meio da divulgação do levantamento da disponibilidade de energia solar no Brasil, com a utilização de um modelo de transferência radiativa, o Atlas Brasileiro de Energia Solar tem como objetivo suprir parte da demanda de informações solarimétricas (PEREIRA et al., 2006).

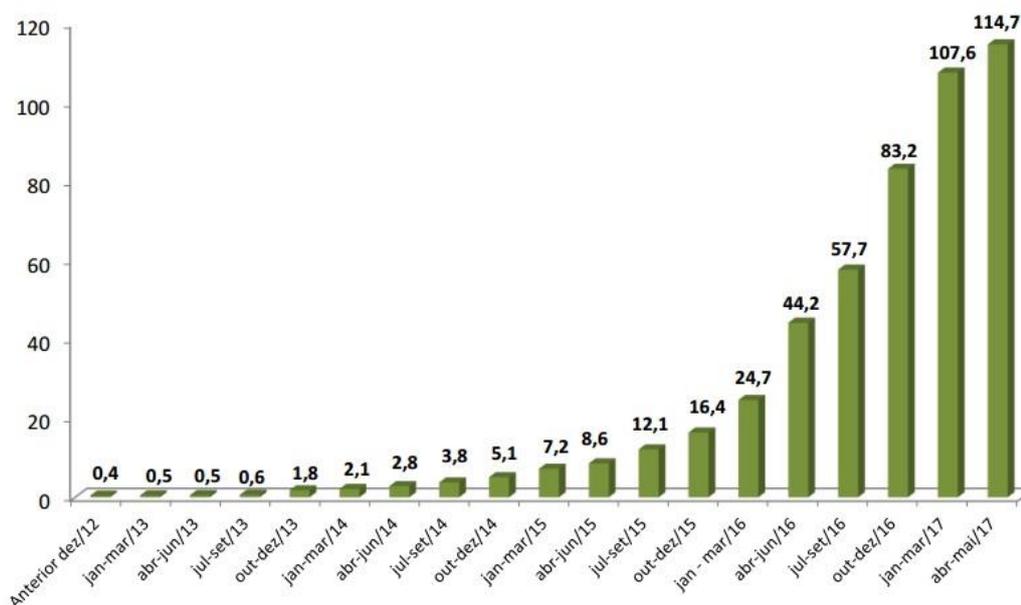
O Atlas Brasileiro de Energia Solar fornece dados que apresentam as estimativas do total diário de irradiação solar com resolução espacial de  $10 \times 10$  km. A fonte de dados solarimétricos apresentada pelos mapas é a de maior confiabilidade disponível no Brasil. São utilizados os dados de irradiação solar global horizontal, fornecidos em ( $kWh/m^2/dia$ ), para a obtenção de dados de capacidade local de geração de energia elétrica e de dimensionamento do sistema solar fotovoltaico (PEREIRA, ET AL., 2006).

Com base no Atlas Solarimétrico do Brasil e nos dados de desempenho de sistemas fotovoltaicos em operação é que, por meio do Atlas Fotovoltaico do Brasil, estima-se o desempenho de um sistema fotovoltaico em qualquer parte do país. Com o avanço da energia solar fotovoltaica no Brasil aquele é uma ótima ferramenta de projeto no planejamento energético nacional (RÜTHER, 2004).

Para o estudo e previsão do bom funcionamento de sistemas por energia solar as medidas solarimétricas são indispensáveis. A partir do histórico das medidas é possível implantar sistemas térmicos e/ou fotovoltaicos que garantam o máximo aproveitamento ao longo do seu funcionamento, com as diferentes variações da intensidade de irradiação solar (NIEDZIALKOSKI, 2013).

No estudo de caso que será apresentado no próximo capítulo, os softwares e a metodologia para dimensionamento do sistema fotovoltaico exigem esses dados de entrada, dessa forma é indispensável o entendimento básico dessas grandezas que relacionam a energia do Sol.

A instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil apresenta um crescimento considerável. A Figura 5 apresenta a evolução da potência instalada desde 2012, com um forte crescimento em 2016, mais de 400% se comparado à 2015 (ANEEL, 2017).



**Figura 5** - Evolução da potência instalada (MW) até 23/05/17.

Fonte: (ANEEL, 2017).

## 2.4. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O sistema solar fotovoltaico é composto de painéis solares que fazem a conversão de energias de maneira silenciosa, não-poluente e renovável. Dessa maneira torna-se energeticamente eficiente, e assim reduz gastos de energia elétrica (RÜTHER, 2004).

### 2.4.1. Histórico mundial

O efeito fotovoltaico foi descoberto por Edmond Becquerel, no ano de 1839, e representa o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. Sua produção industrial se iniciou somente no ano de 1956 acompanhando o crescimento da área de eletrônica. (CRESESB/CEPEL, 2014).

Um marco importante para o setor, criado no ano de 1916 pelo cientista polonês Jan Czochralski, foi o desenvolvimento do método de crescimento de monocristais

com estanho, utilizados até hoje na indústria de semicondutores para componentes eletrônicos e células fotovoltaicas (VILLALVA, 2015).

Em 1973, devido à crise energética, percebeu-se a dependência do mundo pelos combustíveis fósseis. Com isso começaram a ser desenvolvidos estudos direcionados para o aproveitamento de outras fontes de energia. A partir disso é que teve início o uso de sistemas de energia solar fotovoltaica para residências e comércios, em aplicações autônomas à rede elétrica (NIEDZIALKOSKI, 2013).

A tecnologia começou a ser utilizada inicialmente por empresas do setor das telecomunicações, aonde os primeiros sistemas “*off-grid*” foram instalados em locais remotos. Um segundo evento que impulsionou o desenvolvimento foi a “corrida espacial”, as células fotovoltaicas continuam sendo a melhor forma de gerar energia elétrica no espaço (CRESESB/CEPEL, 2014).

Nos últimos anos principalmente na Ásia, devido a políticas favoráveis e baixos preços dos módulos fotovoltaicos, acompanhamos um expressivo crescimento do setor. A China, além de incentivar a utilização da energia solar, tem sua política mais agressiva direcionada para a produção e exportação de células e módulos fotovoltaicos (CRESESB/CEPEL, 2014).

Muitos países deslocaram suas fábricas para a Ásia visando reduzir o custo de produção, devido à existência de uma cadeia produtiva bem estabelecida, mão-de-obra barata e dos incentivos com fontes de financiamento para a implantação dessas fábricas de equipamentos (CRESESB/CEPEL, 2014).

Programas de incentivo à fonte, feito por países como Alemanha, EUA, Austrália, China, Espanha, entre outros, ajudaram a alavancar o crescimento no número de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Por outro lado, o custo baixou significativamente na medida que a capacidade instalada aumentava (EPE, 2014).



**Figura 6** – Representação dos principais eventos ocorridos no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica.

Fonte: (FERREIRA apud CRESESB/CEPEL, 2014).

#### 2.4.2. Histórico no Brasil

Na década de 50 o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e o Centro Tecnológico de Aeronáutica (CTA) iniciaram o desenvolvimento de módulos fotovoltaicos. O foco era na fabricação de lingotes de silício monocristalino, que

fornecia como produto células fotovoltaicas com uma eficiência de conversão em torno de 12,5% (CRESESB/CEPEL, 2014).

No ano de 2011 a ANEEL lançou em conjunto com concessionárias de energia elétrica de todo o País um projeto estratégico denominado “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Energia Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”. O projeto teve como objetivo promover a criação de usinas fotovoltaicas conectadas ao sistema elétrico nacional, visando a utilização para futuros experimentos (VILLALVA, 2015). Como exemplo representado na Figura 7 a usina fotovoltaica Cidade Azul localizada no estado de Santa Catarina.



**Figura 7** – Usina Cidade Azul, localizada no município de Tubarão, SC. Objeto resultante do P&D da ANEEL em 2011.

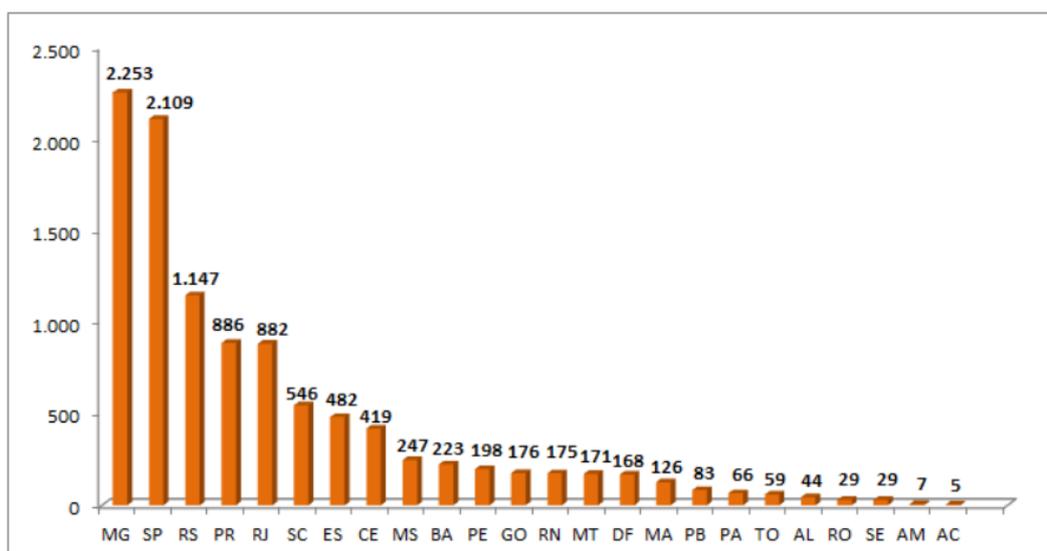
Nos anos 90 acompanhamos países desenvolvidos como Alemanha e Japão, alavancarem o crescimento tecnológico e industrial da energia fotovoltaica com programas de incentivo, pode-se citar como principal exemplo o Programa de 1000 Telhados Fotovoltaicos iniciado na Alemanha em 1990 (CRESESB/CEPEL, 2014).

No período de desenvolvimento do Módulo 3 do PRODIST, no início do mês de maio de 2017, o Brasil ultrapassou o número de 10.000 unidades consumidoras cadastradas no sistema de compensação de energia, através da energia FV. Mas um dado mais interessante do que essa meta citada, é que, metade desse valor foi computado pela ANEEL nos últimos seis meses (<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/VerGD.asp>).

A Concessionária de Energia Elétrica do Estado de Santa Catarina (CELESC) iniciou um projeto que visa instalar sistemas fotovoltaicos em 1.000 residências distribuídas pelo território estadual no ano de 2017. Em cumprimento às obrigações legais, nos termos da Lei nº 9.991/2000 e Resolução ANEEL nº 556/2013, que têm por objetivo incentivar o desenvolvimento de medidas que promovam a eficiência energética e o combate ao desperdício de energia elétrica, a CELESC optou por criar esse programa seguindo a ideia do modelo implantado em 1990, na Alemanha (CELESC, 2017).

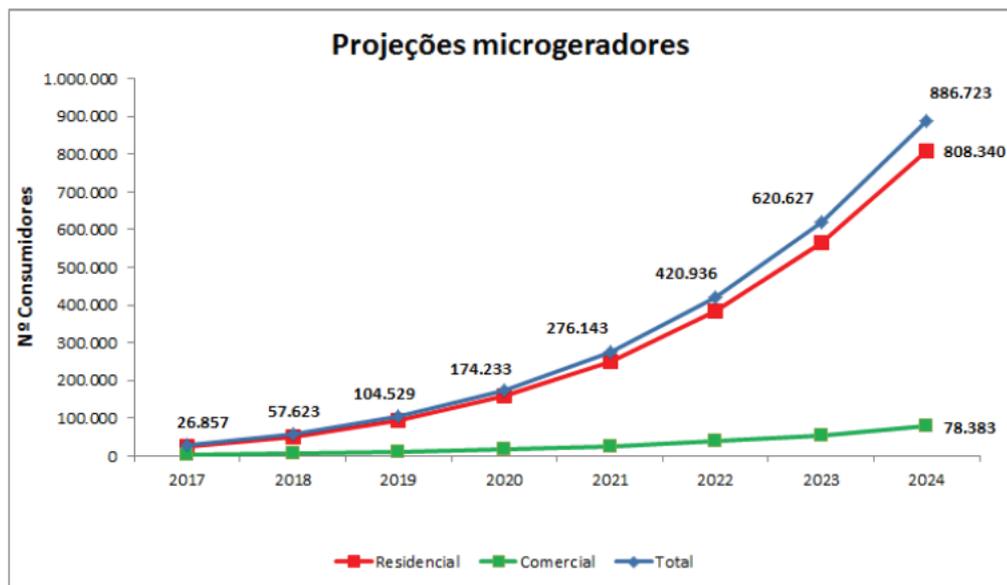
De acordo com uma análise realizada no site da ANEEL, esse dado número de instalações do programa da CELESC irá colocar o estado como grande incentivador do setor de energia fotovoltaica no país, apesar de SC não ter aderido à isenção de ICMS na comercialização da energia gerada.

Como mostra a Figura 8, um estado que se destaca e domina o ranking como o que possui o maior número de unidades consumidoras enquadradas como mini e micro geradores de energia fotovoltaica, seguindo a REN 482/2012, é Minas Gerais. Esse possui características muito favoráveis para a viabilidade da implantação dos sistemas FV, dentre elas temos a irradiação incidente e o alto custo da energia elétrica, reais por quilowatt hora [R\$/kWh] (ANEEL, 2017).



**Figura 8** - Número de conexões por Estado até 23/05/17.

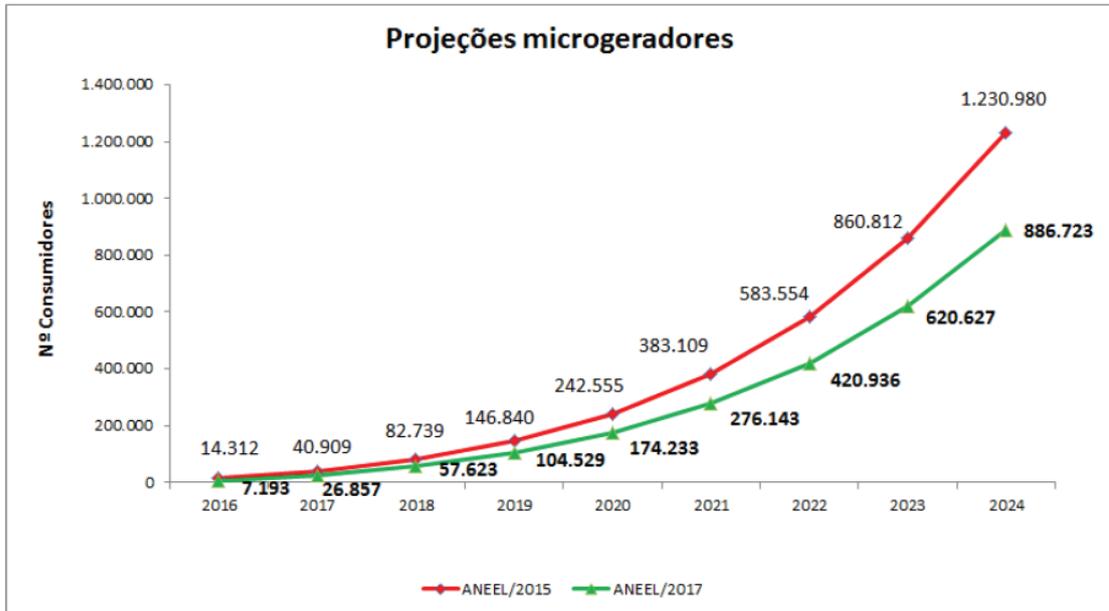
Fonte: (ANEEL, 2017).



**Figura 9** - Projeção de unidades consumidoras que receberiam os créditos.

Fonte: (ANEEL, 2017).

A Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL, de 24/05/2017, apresenta projeções do número de consumidores que adotariam a microgeração residencial e comercial, levando em consideração o período de 8 anos. A Figura 9 mostra uma previsão que até o final de 2017 teremos quase 27 mil conexões aonde se inicia uma curva exponencial até atingir quase 900 mil no ano de 2024. Esse valor de quase 887 mil UCs é conservador em relação a um estudo da ANEEL que foi apresentado em 2015, o qual previa mais de 1,2 milhão de UCs recebendo créditos oriundos da micro e minigeração até 2024. Essa comparação está apresentada na Figura 10.



**Figura 10** - Projeção de unidades consumidoras que receberiam os créditos.

Fonte: (ANEEL, 2017).

Essa diferença entre as projeções na Figura 10 ocorreu devido à redução da previsão do crescimento dos mercados residenciais e comerciais até 2024, da adoção da bandeira amarela para todo o horizonte de estudo em vez da bandeira vermelha e também de ajustes no parâmetro para retratar a sensibilidade ao payback. Contudo é importante ressaltar que com a atualização das tarifas de energia e redução dos custos de compra e instalação de sistemas fotovoltaicos, o payback estimado foi inferior ao apresentado em 2015, o que minimizou os impactos negativos da redução significativa na previsão de UCs conectadas até 2024 Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL.

De acordo com um estudo realizado pelo SEBRAE 2016, algumas instituições são essenciais para formação e capacitação de profissionais do setor como LSF-IEE/USP (Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente USP), FV-UFSC (Fotovoltaica UFSC), LABSOL-UFRGS (Laboratório de Energia Solar) entre outras. Além dessa importante participação das instituições citadas estudos realizados para a divulgação da energia FV são realizados por ONG's e instituições e podemos citar o Greenpeace e instituto IDEAL.

### 2.4.3. Geração distribuída (GD)

*A geração distribuída é caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica.*  
(ANEEL, 2016).

A geração distribuída atingiu, em 2015, 34,9 GWh com uma potência instalada de 16,5 MW, tendo destaque a fonte solar fotovoltaica, que alcançou 20,0 GWh de geração e 13,3 MW de potência instalada (EPE, 2016).

Por serem conectadas às redes de distribuição de baixa tensão, as unidades consumidoras contribuem para gerar energia elétrica em todo o país. Assim as linhas de transmissão e os sistemas de distribuição não ficam sobrecarregados. Os sistemas de GD estão muito conectados à sustentabilidade, visto que produzem energia elétrica mais limpa, que não emite gases, resíduos e ruídos. Ainda melhoram a qualidade de vida local. (VILLALVA, 2015).

A presença de pequenos geradores próximos às cargas é de grande benefício para o sistema elétrico, uma vez que adiam investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão. Além disso ajudam na redução dos impactos ambientais, diversifica a matriz energética e melhora o nível de tensão da rede nos períodos de carga pesada (ANEEL, 2016).

O Caderno Temático 2016 apresenta, considerando as novas revisões efetuadas pela ANEEL a REN 687/2015 e Módulo 3 do PRODIST, todos os conceitos, informações e um passo-a-passo de como deve-se proceder o processo do acesso à Geração Distribuída. Além disso apresenta um capítulo designado a exemplos com diferentes classes de consumidores, baixa tensão, alta tensão, baixa em autoconsumo remoto, condomínios com GD e geração compartilhada (ANEEL, 2016).

Através do site da ANEEL é possível acompanhar os números de UCs cadastradas como Geração Distribuída, a Potência Instalada e a quantidade total de UCs que recebem os créditos oriundos de geração. Verificamos na Figura 11 uma predominância no número de conexões de usinas fotovoltaicas (UFV) e uma parcela de 70% da capacidade total. Os outros tipos apresentados são as centrais de geração hidrelétrica (CGH), eólicas (EOL) e usinas térmicas (UTE).

UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA			
Tipo	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)
CGH	12	35	7.118,70
EOL	50	51	10.177,20
UFV	10.434	11.517	80.529,62
UTE	46	158	16.787,50

**Figura 11** - Dados de UCs conectadas em GD por tipo de geração de energia.

Fonte: [http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD\\_Fonte.asp](http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp) (acesso dia 23 de maio de 2017).

Percebemos na Figura 11 que em todas as fontes existe uma diferença entre a quantidade de UCs que geram sua própria energia e a quantidade que recebem os créditos. Essa diferença representa o número de instalações que consomem a energia gerada excedente de uma microgeradora ou minigeradora. Dentro dessas consumidoras se destaca o autoconsumo remoto.

Os sistemas UFV, com dados coletados no dia 23 de maio de 2017 no site da Aneel representam pouco mais de 70% de toda a capacidade instalada em GD. Das 11.517 (onze mil quinhentos e dezessete) unidades consumidoras que utilizam energia fotovoltaica quase 10% não possuem sistema algum instalado em sua residência, comércio ou indústria.

A Figura 12 apresenta a ideia de um sistema FV em Geração Distribuída instalado em um local com potencial favorável para a tecnologia. A potência instalada gera mais eletricidade do que é necessário para o consumo local, então a energia que sobra é compensada numa segunda unidade consumidora do proprietário localizada no centro urbano que aparece no fundo da imagem. Algo análogo ao estudo de caso que será apresentado na sequência do trabalho.



**Figura 12** – Demonstração de um sistema FV em GD com geração de energia excedente, compensado em outra UC, na modalidade autoconsumo remoto.

#### **2.4.4. Potencial de geração e obstáculos no Brasil**

A geração de energia produzida por um sistema FV depende da insolação incidente no local da instalação, comparando com outros países o Brasil é muito privilegiado no recurso citado. O Centro-Oeste e Nordeste possuem os maiores índices de insolação, entre 5,5 e 5,8 (kWh/m<sup>2</sup>/dia), e conseqüentemente maior potencial de geração, entretanto, as outras regiões não ficam muito atrás e também apresentam bons índices que variam de 4,4 até 5,5 (kWh/m<sup>2</sup>/dia) (VILLALVA, 2015).

Os módulos fotovoltaicos podem ser instalados em praticamente qualquer espaço, dessa forma já pode se iniciar uma geração de eletricidade. Nos telhados, solo e fachadas de edifícios são exemplos de quão grande é o potencial para utilização dessa tecnologia. As condições climáticas e o vasto espaço territorial fazem do Brasil um promissor para a energia solar fotovoltaica (VILLALVA, 2015).

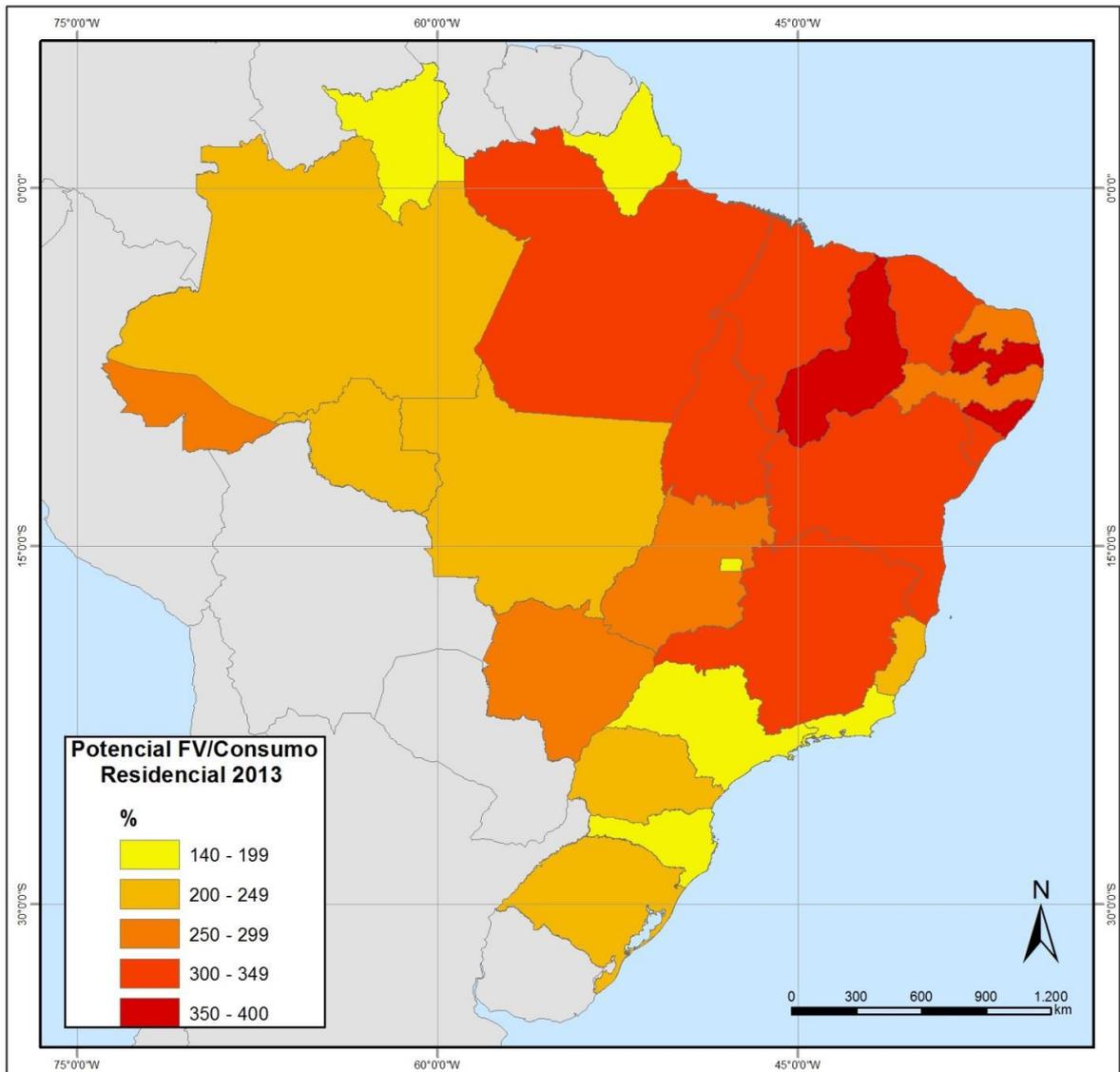
A Nota Técnica, EPE (2014), apresenta o potencial técnico da geração distribuída através de sistemas fotovoltaicos. Utilizando a metodologia de (LANGE, 2012) que considera três fatores principais: 1) mapeamento do recurso solar, os níveis de irradiação solar no país; 2) área de telhado disponível; e 3) eficiência na conversão do recurso solar em energia elétrica. Como base são utilizados os dados de irradiação solar apresentado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A Tabela 5 apresenta o potencial FV pelo consumo residencial dos estados brasileiros, como

média nacional temos um potencial para gerar 2,3 vezes do total que consumimos (EPE, 2014).

**Tabela 5 - Potencial Técnico Fotovoltaico Residencial**

<b>UF</b>	<b>Potencial Fotovoltaico Residencial (MW médios)</b>	<b>Potencial Fotovoltaico Residencial (GWh/ano)</b>	<b>Consumo Residencial Anual 2013 (GWh)</b>	<b>Potencial Fotovoltaico/Consumo Residencial</b>
São Paulo	7.100	62.196	38.783	160%
Minas Gerais	3.675	32.193	10.118	318%
Rio de Janeiro	2.685	23.521	12.833	183%
Bahia	2.360	20.674	6.144	337%
Rio Grande do Sul	1.970	17.257	7.750	223%
Paraná	1.960	17.170	6.986	246%
Ceará	1.430	12.527	3.751	334%
Pernambuco	1.410	12.352	4.563	271%
Goiás	1.220	10.687	3.958	270%
Santa Catarina	1.075	9.417	4.935	191%
Maranhão	1.020	8.935	2.563	349%
Pará	1.020	8.935	2.632	339%
Paraíba	655	5.738	1.603	358%
Espírito Santo	595	5.212	2.213	236%
Mato Grosso	570	4.993	2.182	229%
Rio Grande do Norte	555	4.862	1.805	269%
Piauí	555	4.862	1.328	366%
Mato Grosso do Sul	505	4.424	1.571	282%
Alagoas	505	4.424	1.227	361%
Amazonas	420	3.679	1.784	206%
Distrito Federal	410	3.592	2.191	164%
Sergipe	350	3.066	979	313%
Rondônia	265	2.321	1.084	214%
Tocantins	255	2.234	695	321%
Acre	110	964	373	258%
Amapá	80	701	500	140%
Roraima	65	569	345	165%
<b>BRASIL</b>	<b>32.820</b>	<b>287.505</b>	<b>124.896</b>	<b>230%</b>

Fonte: (EPE, 2014).



**Figura 13** - Potencial Técnico Fotovoltaico/Consumo Residencial por UF.

Fonte: (Lange apud EPE, 2014).

Na Figura 13 está disposto um mapa com as faixas de potencial técnico FV pelo consumo residencial dos estados do Brasil, notamos as condições de atingir autossuficiência de eletricidade em todas as Unidades Federativas. A certificação de equipamentos, principalmente módulos FV, nas regras normatizadas vem sendo um obstáculo, tem se apresentado como um gargalo no setor de energia fotovoltaica pois não consegue acompanhar o crescimento da demanda (EPE, 2014).

A determinação de como é efetuada a cobrança de impostos e tributos federais e estaduais foge das competências da ANEEL, cabendo à Receita Federal do Brasil e às Secretarias de Fazenda Estaduais definir esses encargos (ANEEL, 2016).

#### 2.4.4.1. ICMS

O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS é um tributo Estadual que se aplica a energia elétrica. Sobre a micro e minigeração distribuída o CONFAZ (Conselho Nacional de Política Fazendária) aprovou o Convênio ICMS 6. De 5 de abril de 2013. Neste estabelecia que o ICMS apurado teria como base de cálculo toda energia que chega à unidade consumidora vindo da distribuidora, não considerando compensações de energia produzidas pelo microgerador. A alíquota aplicável do ICMS, portanto, cairia sobre toda energia consumida no mês (ANEEL, 2016).

O CONFAZ publicou o Convênio ICMS 16, de 22/4/2015, após interações da Agência com o Ministério da Fazenda, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Ministério de Minas e Energia e com o Congresso Nacional, que revogou o Convênio ICMS 6/2013. Aquele autorizou a concessão de isenção nas operações de circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o sistema de compensação de energia. Dessa forma, nos Estados que aderiram ao Convênio ICMS 16/2015, o ICMS incide somente sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede no mês (ANEEL, 2016).

Como a energia vinda de micro e minigeradores é destinada ao próprio consumo, não deveria existir, sobre ela, uma cobrança de impostos. A isenção desses tributos envolve questões políticas e acordos entre os governos Estaduais e o Governo Federal (VILLALVA, 2015).

#### 2.4.4.2. PIS/COFINS

Até outubro de 2015 não existia uma lei ou orientação da Receita Federal que esclarecesse como seria realizada a cobrança para casos de micro e minigeração distribuída. Contudo, em 6/10/2015 foi publicada a Lei n<sup>o</sup> 13.169/2015, que foi resultado das várias gestões da ANEEL em parceria com o Ministério de Minas e Energia e com o Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. Com esta Lei a incidência do PIS e da COFINS passou a ocorrer apenas sobre a diferença positiva entre a energia consumida e a injetada pela unidade consumidora. A regra estabelecida vale para todos os Estados do país igualmente, visto que o PIS e a COFINS são tributos federais (ANEEL, 2016).

#### 2.4.5. Normas e regulamentação

Os avanços na regulamentação do setor se iniciaram em 2011, resultado das discussões feitas pelo Grupo Setorial de Energia Fotovoltaica da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee) e pela Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (Cobei), responsável pela elaboração das normativas para a conexão de inversores à rede elétrica de distribuição (VILLALVA, 2015).

As mesmas normas utilizadas para instalações elétricas de baixa tensão devem ser utilizadas para instalar um sistema solar fotovoltaico em uma edificação, conforme a NBR 5410 (RÜTHER, 2004).

Devido às regras estabelecidas nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) foi avaliado que seria necessário resolver dificuldades em relação à conexão de pequenos sistemas fotovoltaicos (TAVARES et al., 2012).

##### 2.4.5.1. *REN 687/2015*

A publicação da REN 687/2015 teve como objetivo reduzir os custos e o tempo para conexão de sistemas enquadrados como microgeração e minigeração, compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento REN 414/2010, aumentar o público alvo e melhorar as informações contidas nas faturas. PRODIST (ANEEL, 2016).

Houve um aumento do prazo para a utilização da energia excedente. Quando a injeção de energia na rede for maior que a energia consumida o proprietário receberá um crédito em energia (kWh) para serem consumidos em até 60 meses, que deve ser utilizado para abater em outro posto tarifário ou faturas subsequentes. Outra novidade interessante na REN 687/2015, é a de utilização dos créditos excedentes em outras UCs previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão. Essas unidades consumidoras podem ser caracterizadas como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou em empreendimentos de múltiplas UCs (ANEEL, 2016).

Também nessa resolução as faixas de potência para diferenciação entre os tipos de geração foram alteradas, passa a vigorar a seguinte redação:

*Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;*  
(REN 687/2015)

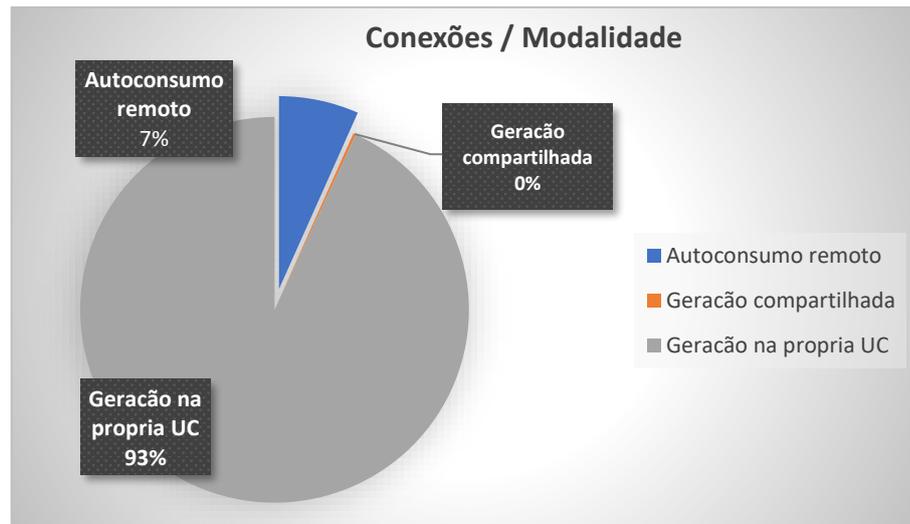
*Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;*  
(REN 687/2015)

Outra inovação da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). A ANEEL criou ainda a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados. (Site da Aneel – acesso dia 12 de junho de 2017).

#### 2.4.5.2. *Autoconsumo remoto*

Esse trabalho tem como objetivo principal apresentar as vantagens proporcionadas por essa modalidade de compensação de energia solar fotovoltaica, estabelecida pela ANEEL. Tem como definição:

*Autoconsumo remoto é caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada*  
(REN 687/2015).

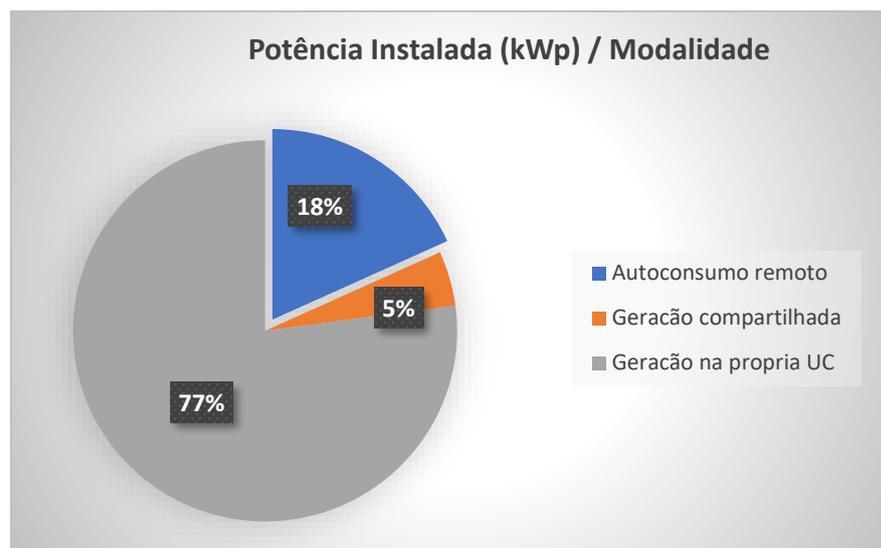


**Gráfico 1** - Modalidades de geração distribuída até dia 31/05/2017.

Fonte: (ANEEL, 2017).

O Gráfico 1 apresenta os dados atualizados do número de UCs nas três diferentes modalidades de conexão com as concessionárias de energia, geração própria, autoconsumo remoto e geração compartilhada. A modalidade de geração compartilhada entrou em vigor em 2016 por esse motivo ainda não tem muita representação no mercado.

O autoconsumo remoto é restrito para o proprietário ou empresa que tenha mais de uma unidade consumidora em seu nome, esse motivo acaba selecionando apenas uma parcela da população. Entretanto, quando analisamos dados disponibilizados pela Aneel (2017), mostrados no Gráfico 2, que separa a capacidade total instalada pelas modalidades de conexão, verifica-se que o autoconsumo remoto e a geração compartilhada apresentam parcelas mais significativas.



**Gráfico 2** – Potência instalada por modalidade de Geração Distribuída.

Fonte: (ANEEL, 2017).

Existe uma grande motivação nesse trabalho de apresentar essa modalidade como estratégia para o fornecimento de energia sustentável, para pessoas que moram em, ou apartamentos ou centros urbanos, e que possuem outra UC com potencial de geração. Dessa maneira exclui a necessidade de um espaço físico para a implantação dos módulos. Bons exemplos de combinações de conexão das UCs, que podem explorar a modalidade de autoconsumo remoto para obter um sistema FV mais eficiente, são um apartamento e outra residência, casa de campo ou casa de praia, mais de uma unidade de comércio ou indústria, escritório e residência, comércio e residência, entre outros.

Nesses casos, se o proprietário tiver interesse em buscar um projeto com o máximo de eficiência poderia optar por uma análise do potencial de instalação da segunda unidade consumidora, isso proporciona um maior “leque de opções”, que se estudadas, podem trazer vantagens significativas de eficiência do projeto e consequentemente financeiras para o proprietário durante o período de vida do sistema fotovoltaico.

#### **2.4.6. Incentivos e benefícios**

Primeiramente pode-se destacar a criação do Plano de Ação Conjunta Inova Energia, que foi iniciativa da FINEP, BNDES e ANEEL. Dessas três instituições foram disponibilizados R\$ 3 bilhões, para os anos de 2013 até 2016. O objetivo desse Plano

é apoiar as empresas brasileiras para o desenvolvimento e domínio tecnológico do ramo fotovoltaico (além da termossolar e eólica) desde a purificação do silício em grau solar, wafers (fina fatia de material semicondutor) e células derivadas, além de células de outros materiais e equipamentos, como os inversores (EPE, 2014).

Em 2013, de uma parceria entre o Instituto Ideal e o Grüner Strom Label (Selo de Eletricidade Verde da Alemanha) foi lançado o Fundo Solar. A finalidade deste é oferecer o apoio financeiro de R\$ 1.000,00 a R\$ 5.000,00 para cada projeto de microgeração fotovoltaica conectado à rede. Para a primeira fase do projeto foi disponibilizado aproximadamente R\$ 65.000,00 do Fundo. (EPE, 2014).

Em março de 2014 a ANEEL publicou o Caderno Temático de Mini e Microgeração Distribuída, para poder explicar melhor ao consumidor as vantagens de aderir a um mini ou microgerador, mostrando o mecanismo de compensação e faturamento da energia gerada (EPE, 2014).

Em questão de certificações, foi publicado pelo INMETRO em 2011 a portaria nº 004 que define os “Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica”. Estes podem ser aplicados nos módulos, controladores de carga, inversores e baterias estacionárias de baixa intensidade de descarga (EPE, 2014).

Por fim foi avaliado qual seria o impacto que a inserção da geração fotovoltaica distribuída causaria na redução de emissões de gases de efeito estufa. A matriz elétrica brasileira ainda é um exemplo de baixa emissão, visto que, segundo o Balanço Energético Nacional 2013, o setor brasileiro emite seis vezes menos que o europeu, sete vezes menos que o americano e 11 vezes menos que o chinês, para produzir 1TWh. Apesar de ser uma fonte livre de emissões durante sua operação, com o passar do tempo e com o aumento da demanda elétrica nacional, esse cenário pode mudar (BEN, 2016).

Por terem redução nas perdas de transmissão, os sistemas solares fotovoltaicos apresentam uma vantagem, uma vez que a geração e o consumo se encontram no mesmo local. Pode ocorrer ainda uma simultaneidade com a geração solar, por exemplo nos ar-condicionados, que possuem a demanda máxima quando a insolação é máxima (RÜTHER, 2004).

Uma unidade consumidora que faz a instalação de um sistema fotovoltaico conectada à rede elétrica em seu telhado fica imune a variações de preços da energia e garante abastecimento próprio pelo período mínimo de 25 anos, tempo de vida útil

esperado para o sistema. Além do aumento da disponibilidade de energia e da questão ambiental no uso de uma fonte renovável, o desenvolvimento tecnológico da energia solar gera empregos e ajuda a movimentar a economia nacional (VILLALVA, 2015).

Como uma espécie de modelo que devemos analisar é o mercado Australiano. Teve seu “início” em 2008 com poucos milhares de conexões até atingir a quantidade de 1,4 milhões em 2015. Diferente da maioria dos países incentivadores dessa tecnologia a Austrália tem o seu setor de energia solar fotovoltaica basicamente em conectado em residências. Uma explicação para esse crescimento foi devido a um período de benefícios para geradores de energias renováveis, que proporcionaram um generoso valor de venda da energia produzida de até 1,4 reais o quilowatt-hora. O resultado foi a mais alta penetração de painéis fotovoltaicos no planeta. (CHANDLER, 2017).

Essas informações vindas da experiência australiana deveriam ser levadas mais em conta, já que possuímos características semelhantes como potencial de radiação, território favorável e custo da energia elétrica elevada. A Austrália se demonstra mais estável economicamente do que o Brasil, mas a população deste é aproximadamente 9 vezes maior o que pode favorecer o crescimento no número de UCs gerando sua eletricidade.

## 2.5. TIPOS DE TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS

A célula fotovoltaica é um dispositivo fabricado com um material semicondutor, o que torna uma peça essencial na conversão direta da luz em eletricidade, que é o Efeito Fotovoltaico (CRESESB/CEPEL, 2014).

O silício é o material mais utilizado na produção de módulos fotovoltaicos, devido não somente à sua abundância na Terra, mas também por produzirem baixos índices de contaminação (CECCHINI, 2003).

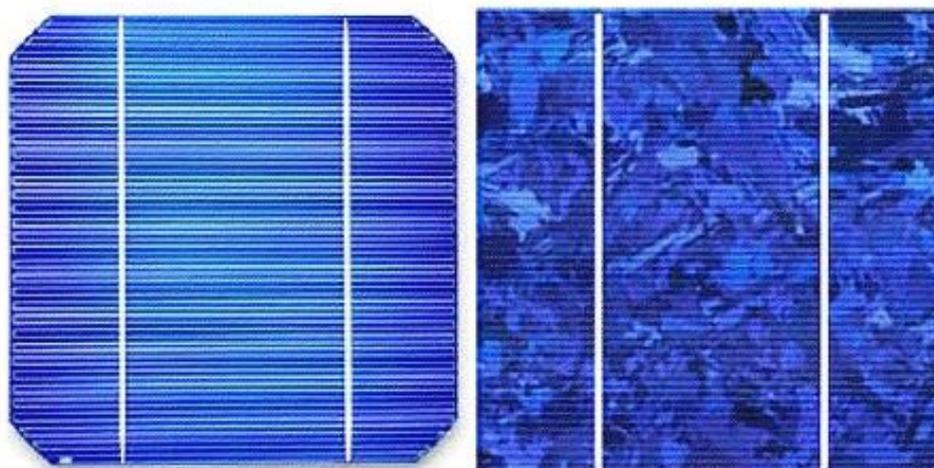
Como apresenta CRESESB/CEPEL (2014) podemos dividir as tecnologias fotovoltaicas (FV) em três categorias ou gerações: 1) Silício Cristalino; 2) Filmes finos; 3) Novas tecnologias FV.

### 2.5.1. Silício cristalino (c-Si)

O módulo fotovoltaico produzido com células de silício sofre vários processos industriais. Primeiro é obtido o silício a partir do quartzo, carvão vegetal e muita energia elétrica. Então é purificado e cristalizado, onde são cortadas lâminas de 0,2 mm de espessura. A partir de processos químicos e físicos, as lâminas formam a célula solar. Esta produz baixa tensão elétrica (da ordem de 0,6 V), portanto são ligadas várias delas para obter tensões mais elevadas. As células são então encapsuladas sob uma placa de vidro e emolduradas com alumínio para proporcionar maior proteção e isolamento (TAVARES et al., 2012).

Primeiramente, as células de silício monocristalino (m-Si) que possuem maior eficiência entre as fabricadas em larga escala, possui células rígidas e quebradiças com a cor preto ou azul escuro. Sua eficiência varia entre 15 % e 18 %, mas como desvantagem possuem um alto custo de produção (VILLALVA, 2015).

Já o silício multicristalino (mc-Si), que possui eficiência entre 13 % e 15 %, tem um processo de fabricação mais barato em relação ao m-Si, aonde o produto resultante também são células rígidas com cor predominante o azul. Em algumas situações essa diferença de eficiência pode ser compensada pela variação de custo das duas tecnologias (VILLALVA, 2015). As Figuras 14 e Figura 15 representam, célula e módulo fotovoltaico respectivamente, as diferenças entre as tecnologias mono e multicristalina.

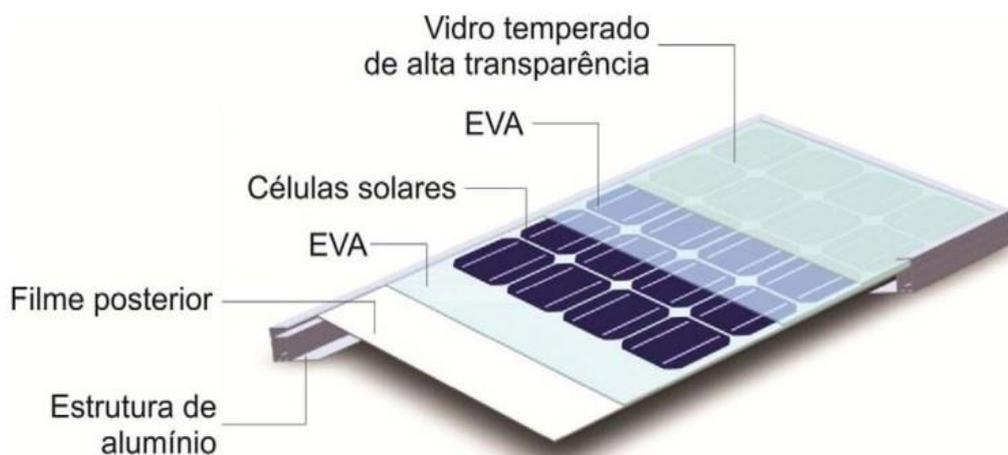


**Figura 14** – Diferença entre uma célula monocristalina e um multicristalina.



**Figura 15** – Diferença visual entre um módulo monocristalino e um multicristalino.

As células fotovoltaicas são associadas eletricamente formando um módulo, que pode ser constituído de 36 a 216 células ligadas em série e/ou em paralelo. Posteriormente é feito o encapsulamento das camadas com uma chapa de vidro temperado de alta transparência, uma camada de acetato de etil vinila (EVA), as células fotovoltaicas e um filme isolante. Após isso é colocado uma moldura de alumínio anodizado e a caixa de conexões elétricas (CRESESB/CEPEL, 2014). A Figura 16 mostra os principais componentes do módulos FV.



**Figura 16** - Esquema dos componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino.

Fonte: (CRESESB/CEPEL, 2014).

### 2.5.2. Filmes finos

Há uma diversidade de tecnologias de filmes finos, como as de silício amorfo, as de telureto de cádmio, as de disseleneto de cobregálio-índio, entre outras. O uso de matéria para produção de filmes finos é menor se comparada às células de silício cristalino. No entanto possuem problemas de disponibilidade e de descarte dos materiais, com exceção do silício amorfo. Os módulos podem ser fabricados com placas de vidro ou sobre filmes plásticos ou metálicos, que podem ser flexíveis. Contudo, a eficiência das células solares de silício cristalino é maior que a desses dispositivos (TAVARES et al., 2012).

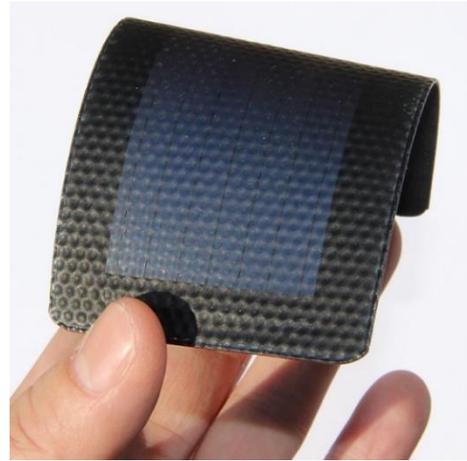
A tecnologia de filmes finos corresponde 12 % da produção mundial, visto que estes apresentam alta absorção óptica, comparado ao c-Si, e permitem fabricar células fotovoltaicas muito finas, na casa dos micrômetros ( $\mu\text{m}$ ). Desde a década de 1980 o a-Si:H é usado em células para produção de calculadoras, relógios digitais e outros equipamentos (CRESESB/CEPEL, 2014).

Essa tecnologia é cada vez mais utilizada, principalmente na integração do entorno construído, por apresentar uma maior diversidade de modelos e por possuir baixos custos de produção. Tem como base o silício na forma amorfa (a-Si) e como principal característica camadas com a espessura reduzida ocasionando em menores quantidades de matéria prima no processo de fabricação do módulo de filme fino. Hoje estão disponíveis no mercado módulos flexíveis, inquebráveis, mais leves, semitransparentes, ou até mesmo com superfícies curvas, que podem substituir elementos de revestimento na edificação (NASCIMENTO, 2013).

O a-Si vem sendo bastante utilizado na arquitetura, para substituir materiais de cobertura de telhado e fachadas, por ser esteticamente mais atraente (RÜTHER, 2004).



**Figura 17** – Painel solar de filme fino.



**Figura 18** – Filme fino flexível.

### 2.5.3. Novas tecnologias FV

A terceira geração de células FV ainda se encontra em fase de desenvolvimento e pesquisa, mas foi inicialmente definida como uma tecnologia não tóxica, com materiais abundantes e com uma perspectiva de redução de custos (NASCIMENTO, 2013).

Esta terceira geração dividi-se em três cadeias produtivas: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV), células sensibilizadas por corante (DSSC) e células orgânicas ou poliméricas (OPV). A tecnologia CPV apresenta um grande potencial para produzir módulos com alta eficiência, apesar de não competir financeiramente com as tecnologias do mercado atual (CRESESB/CEPEL, 2014).

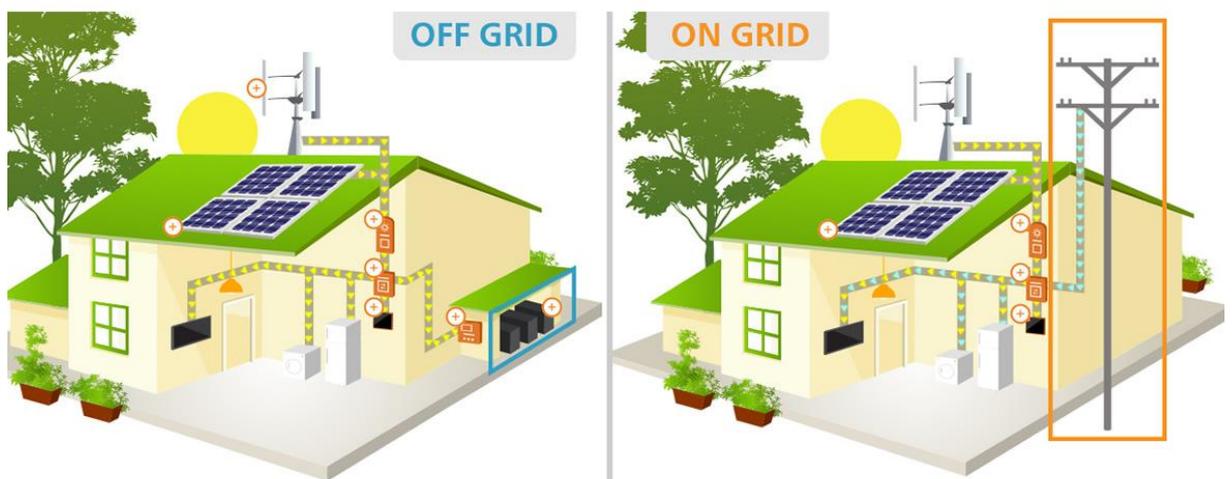
## 2.6. APLICAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA GERAR ELETRICIDADE

De acordo com Rüther (2004), desde o surgimento das primeiras células fotovoltaicas as tecnologias evoluíram a tal ponto que são viáveis para aplicações terrestres. Tem a característica positiva de um sistema modular, aonde quantidade de módulos ligados em serie vai determinar tensão de operação do sistema em CC.

Dispositivos fotovoltaicos podem ser associados em série e/ou paralelo, visando obter níveis de corrente e tensão adequados para uma determinada

demanda. Essas conexões são chamadas de arranjo fotovoltaico que fornece apenas uma saída de tensão e corrente (CRESESB/CEPEL, 2014).

Os dois tipos de configuração de sistemas solares fotovoltaicos, ilustrados na Figura 19, apresentam diferença na forma que a energia é acumulada, enquanto um é isolado o outro é interligado à rede. Os sistemas isolados não são conectados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica, enquanto os interligados são (ABNT, 2008).



**Figura 19** – Diferença entre o sistema *off-grid* (isolado) e *on-grid* (interligado à rede).

### 2.6.1. Regras básicas para instalação de módulos fotovoltaicos

É necessário conhecer um pouco sobre a incidência dos raios solares na Terra para que módulos solares sejam instalados corretamente. Em cada ponto do Planeta a radiação direta atinge o plano com uma inclinação diferente, e essa variação também varia no decorrer dos meses do ano (VILLALVA, 2015).

A grande maioria dos sistemas fotovoltaicos possuem ângulo de inclinação fixo, dessa forma deve ser escolhido uma posição mais adequada o possível, visando uma maior eficiência do sistema. Assim a energia produzida é maximizada durante todo o ano. Para melhor aproveitamento da luz solar ao longo do dia, o módulo deve ser direcionado para o norte geográfico (VILLALVA, 2015).

É de extrema importância ficar atento para o sombreamento, uma vez que se houver uma pequena sombra em algum módulo fotovoltaico o rendimento de geração de energia de todo o sistema pode reduzir consideravelmente. Isso ocorre, pois, a corrente de operação do conjunto todo, conectado em série, será determinada pela célula que tiver menor incidência de radiação (RÜTHER, 2004).

A Figura 20 mostra um bairro na Alemanha aonde as coberturas das edificações foram projetadas para receber sistema de geração FV, o que atualmente geram renda para os moradores, através de incentivos e do sistema net metering de tarifação (RÜTHER, 2017).

Um exemplo de compatibilidade de projetos de engenharia civil, arquitetura e projetos fotovoltaicos, que visam obter um maior aproveitamento do recurso solar e sua característica de orientação, é apresentado na Figura 20.



**Figura 20** - Vila na Alemanha com telhados das edificações voltados para o Sul.

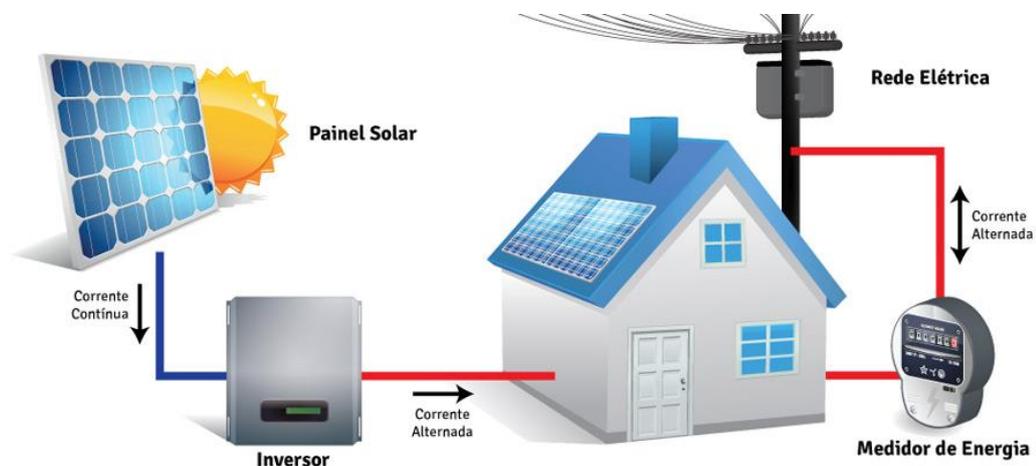
De acordo com Villalva (2015), tem-se como regras básicas na instalação de módulos solares a definição da orientação da face do módulo para o norte geográfico e a correta inclinação do módulo em relação a horizontal. Para realizar o estudo de caso nesse trabalho utilizei softwares de modelagem e simulação FV.

### **2.6.2. Sistemas conectados à rede ou *on-grid***

A instalação de sistemas fotovoltaicos conectadas na rede, no meio urbano possui uma série de vantagens, como por exemplo dispensar o uso de baterias, que são necessários em sistemas autônomos. Além disso não apresenta custos muito

elevados e manutenções posteriores, e principalmente por poder ser interligada à rede elétrica pública (RÜTHER, 2004).

O sistema do tipo *on-grid* é aquele interligado à rede elétrica, que além da utilização de módulos fotovoltaicos necessita de um inversor para ser conectado à rede. Os inversores que se encontram no mercado atualmente convertem a corrente/tensão elétrica contínua em alternada e eletronicamente detectam possíveis interrupções de energia elétrica na rede. Isto acontece para evitar acidentes de trabalho em operários de companhias elétrica trabalhando na rede (TAVARES et al., 2012).



**Figura 21** – Representa um esquema básico de sistema conectado à rede.

Fonte: (SOLAR BRASIL, 2017).

Os sistemas conectados à rede de eletricidade operam em paralelo com a rede elétrica local. Estes podem ser centralizados, que são as usinas de geração elétrica, ou micro e minigeradores descentralizados de geração distribuída. No Brasil, são classificados de acordo com a sua capacidade instalada, segundo as definições utilizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) (VILLALVA, 2015). A REN 687/2015 apresenta:

- **Microgeração:** potência instalada até 75 kW;
- **Minigerção:** potência instalada entre 75 kW e 3 MW para usinas hidrelétricas e 5 MW para as demais fontes geradoras;
- **Usinas de eletricidade:** potência superior a 3 MW para usinas hidrelétricas e 5 MW para outras fontes geradoras.

Esse tipo de sistema domina mais de 95% do mercado, visto que há muito incentivo de países como Alemanha, Itália, Espanha, Portugal, Japão, entre outros. A utilização de sistemas fotovoltaicos nestes países favorece muito a geração de empregos, e no caso da Alemanha a cadeia produtiva de energia solar fotovoltaica gera quatro vezes mais empregos que a cadeia do carvão mineral (TAVARES et al., 2012).

Para o emprego de sistemas fotovoltaicos em usinas ligadas ao sistema elétrico, devem ser seguidas as regras gerais de usinas que incidem também sobre as outras fontes de energia como as hidrelétricas e as termelétricas. A tarifação dessa energia é feita pelo mercado de comercialização ou mercado livre e se aplicam as tarifas padronizadas para esse tipo de conexão (VILLALVA, 2015).

Países como a Alemanha e a Espanha implantaram políticas de sucesso para incentivar as fontes renováveis, como por exemplo as tarifas *feed-in*, que são os valores recebidos pelos geradores pela energia injetada na rede. Com isso as distribuidoras têm a obrigação de garantir a conexão à rede elétrica e a compra da energia produzida (TAVARES et al., 2012).

Os Sistema de Compensação de Energia, internacionalmente conhecido como *Net Metering*, que por meio de um único medidor bidirecional consegue medir o fluxo de energia em uma unidade consumidora com pouca geração (TAVARES et al., 2012). Dessa forma, segundo Rüter (2004), quando há uma geração de energia maior do que a demanda pela instalação consumidora, o medidor anda para trás. Já quando há um consumo maior de energia do que a gerada pelo sistema solar, acontece o contrário. Quando isso ocorre a tarifa de importação e exportação de energia para a rede elétrica deve ser a mesma.

A instalação elétrica de um sistema *on-grid* deve seguir às mesmas normas técnicas para instalações elétricas de baixa tensão (ABNT, 2004). Por se tratar de um circuito CC, o gerador fotovoltaico estará sempre energizado quando a luz incidir sobre ele, sendo essa a única diferença entre a instalação de um sistema fotovoltaico para uma instalação elétrica normal (RÜTHER, 2004).

A segurança relacionada aos geradores FV abrange todos os componentes dos sistemas, que são os módulos FV, condutores, caixas de junção, inversores, dispositivos de proteção e sistemas de aquisição de dados (NASCIMENTO, 2013). A estrutura onde estarão fixados os painéis fotovoltaico deve ser resistente o suficiente para receber as cargas mecânicas, vento, expansões e contrações térmicas. Isto tudo

durante a vida útil esperada do sistema fotovoltaico, que é de mais ou menos de 30 anos (RÜTHER, 2004).

#### 2.6.2.1. Módulos FV

A diferença entre os módulos do *off-grid* para o *on-grid* está na potência fornecida, uma vez que um módulo de silício cristalino para conexão à rede possui 60 células em série. Com isso apresenta tensões em torno de 37 V e potências de 230 W a 245 W, para circuitos abertos (VILLALVA, 2015).

#### 2.6.2.2. Inversores

O inversor é um equipamento que converte a tensão contínua, que vem dos módulos fotovoltaicos, em tensão alternada (ABNT, 2008). Nos sistemas conectados à rede elétrica os inversores CC-CA trabalham como fontes de corrente. Esses inversores fornecem corrente elétrica, porém não possuem capacidade de fornecer tensão aos consumidores. Quando há falha no fornecimento de eletricidade deve-se atentar para duas condições: ou não foi projetado para operar sem rede elétrica e deve ser desconectado para a segurança dos equipamentos, ou falha no manuseio durante a manutenção (VILLALVA, 2015).

Devido a este conversor estar sujeito a surtos de corrente que tanto podem acontecer pelo lado c.c. como pelo lado c.a., deve-se adicionar no dimensionamento um DPS antes e após este (NASCIMENTO, 2013).

#### 2.6.2.3. Caixas de string

Também denominadas *string box*, tem a função de conectar os *strings* de um conjunto fotovoltaico. Deve ser protegida de intempéries, e os terminais positivo e negativo devem ser bem separados e identificados no seu interior (VILLALVA, 2015).

#### 2.6.2.4. Quadro de proteção de corrente contínua (CC)

Possui fusíveis para conectar os *strings*, apresenta uma chave de desconexão CC que é necessária na manutenção dos sistemas fotovoltaicos, e ainda é composto

de um dispositivo de proteção de surto. Esse protege cabos e equipamentos em casos de sobretensão decorrentes de descargas atmosféricas (VILLALVA, 2015).

Em países da Europa o sistema já apresenta um botão de emergência, que permite um acionamento rápido do Corpo de Bombeiros, por exemplo, em casos de emergência (VILLALVA, 2015).

#### 2.6.2.5. *Quadro de proteção de corrente alternada (CA)*

Esse quadro conecta os inversores do sistema fotovoltaico à rede elétrica, e apresenta um disjuntor diferencial residual na entrada (VILLALVA, 2015). Os disjuntores diferenciais tem como objetivo proteger a instalação elétrica, monitorando as correntes que circulam no circuito (NASCIMENTO, 2013). Há a presença dos dispositivos de proteção de surto também, que são de extrema importância nos sistemas fotovoltaicos. Além disso possuem um custo baixo se comparado aos prejuízos que uma descarga pode causar nos equipamentos (VILLALVA, 2015).

#### 2.6.2.6. *Condutores elétricos*

Os condutores elétricos são de extrema importância para que todo o sistema FV funcione corretamente. Visto que estão sujeitos a intempéries, os condutores apresentam proteção contra raios UV. Devem possuir isolamento adequada, uma vez que as tensões em corrente contínua podem atingir até 1000 V, e assim evitar falhas de isolamento e fuga de corrente elétrica (NASCIMENTO, 2013).

Para proporcionar um entendimento mais técnico de um sistema fotovoltaico, mais especificamente a modalidade de autoconsumo remoto, um estudo de caso será apresentado contendo projeto e dimensionamento FV para um sistema que consiga gerar energia suficiente para atender integralmente o consumo somado das UCs do proprietário.

### 3. MÉTODOS

O estudo de caso que será apresentado a seguir possui características técnicas e a descrição da metodologia para o desenvolvimento de um sistema FV completo. No decorrer desse processo serão apresentadas vantagens e desvantagens das modalidades de autoconsumo remoto e da geração na própria UC. Posteriormente serão feitas previsões do tempo de retorno do investimento para diferentes formas de pagamento a fim de verificar se o sistema é economicamente atrativo.

Encontrou-se um proprietário com interesse na instalação de um sistema solar fotovoltaico, e que apresentava mais de uma UC no seu CPF, sendo então um caso ideal para o desenvolvimento do projeto. Realizou-se uma apresentação, feita pelo autor, para o proprietário para explicar um pouco sobre o tema e tirar dúvidas técnicas, principalmente referentes às regras de conexão com a concessionária de energia elétrica CELESC.

Não serão apresentadas informações que possibilitem a identificação das residências, porém o trabalho foi previamente apresentado e aprovado pelo proprietário, que assinou um documento, Anexo A, em que autoriza a divulgação dos dados presentes neste TCC.

Existem 3 métodos para dimensionamento de um sistema FV, o primeiro é analisar o histórico de consumo de energia, o segundo analisar a disponibilidade de área para instalação dos módulos FV e por último a partir do recurso financeiro apresentado pelo interessado na implantação do microgerador de energia solar fotovoltaica (VILLALVA, 2015). Nesse estudo o critério será a análise do consumo energético com objetivo de apresentar um sistema que ofereça autossuficiência energética para as duas residências, proporcione maior potencial de geração e menor payback possível.

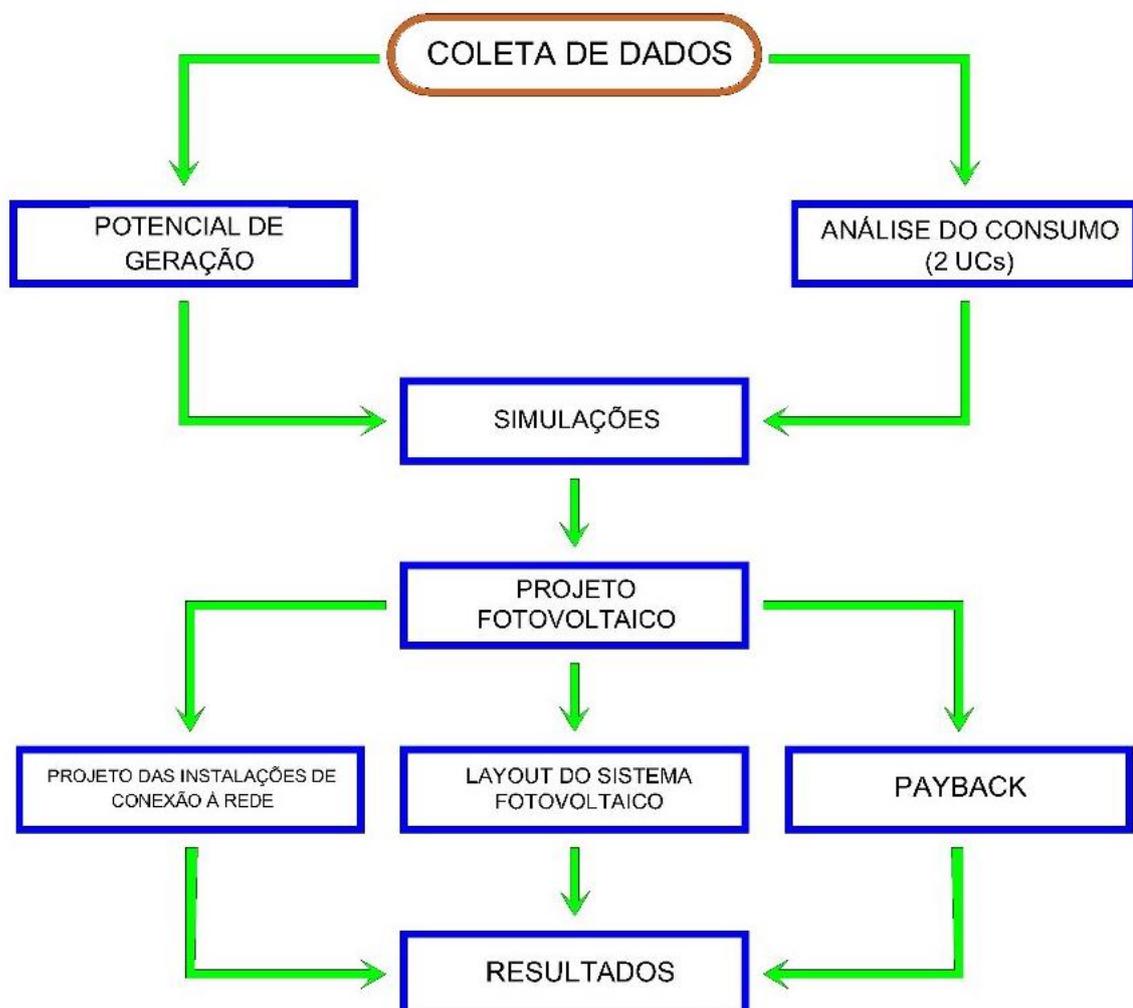
O sistema proposto segue o formato de geração distribuída conectado à rede de distribuição elétrica municipal. Esse sistema tem a característica favorável de não armazenar a energia gerada, excluindo a necessidade de bancos de baterias. Além disso, é caracterizado por ter um conjunto de equipamentos elétricos e eletrônicos que direciona a energia que não está sendo utilizada para a rede de distribuição de energia local (RÜTHER, 2004).

Dessa forma devem ser seguidos os requisitos para a conexão de microgeradores de energia à rede de distribuição local, apresentados na REN

n°687/2015. Documentos e projetos exigidos pela CELESC serão desenvolvidos no decorrer da metodologia e apresentados no final como um “envelope eletrônico”.

### 3.1. FLUXOGRAMA

O fluxograma apresentado na Figura 22 foi desenvolvido para demonstrar a sequência e estrutura do desenvolvimento do estudo de caso.



**Figura 22** – Fluxograma de projeto.

### 3.2. COLETA DE DADOS

Uma primeira visita técnica foi realizada para a obtenção de informações básicas de consumo, características da conexão com a rede local e principalmente a

autorização do dono e titular das UCs para o desenvolvimento do estudo, Anexo A. Para entender a situação de consumo de energia da família duas faturas recentes foram disponibilizadas fornecendo localização, tensão de entrada, grupo tarifário e a classificação de cada UC, dados de históricos de consumo, tarifas e taxa de disponibilidade.

A Figura 23 apresenta uma imagem de satélite coletada no Google Earth, apontando as proximidades das residências dentro da ilha de Florianópolis.



**Figura 23** - Imagem de Satélite da ilha de Florianópolis com a localização aproximada das duas UCs analisadas no estudo de caso.

Fonte: (GOOGLE, 2017).

Um *checklist*, Anexo B, foi desenvolvido para listar todos os equipamentos necessários para a coleta dos dados, imagens e medidas importantes para o dimensionamento correto do sistema FV. Uma segunda visita foi realizada em cada UC para preenchimento dessa lista que, no próximo tópico, será apresentado o detalhamento da análise da coleta.

O requisito de projeto exigido pelo proprietário foi a utilização da casa de praia para instalação do sistema FV. *“Qualquer ação que reduza a necessidade de ampliações no entorno da residência e preservação da praia representa um valor inestimável”* (Proprietário). Dessa maneira o direcionamento desse estudo foi voltado para obtenção de um sistema FV mais eficiente para buscar o maior aproveitamento do recurso solar na geração de eletricidade. A análise econômica do projeto será representada por estimativas de payback descontado através de orçamentos de diferentes empresas da região, tendo assim uma média de custo e de payback.

**Tabela 6** – Ordem dos motivos da escolha opção do sistema FV, respondido pelo proprietário.

Motivação para a escolha da residência da praia para instalação.	ORDEM
Um investimento de médio prazo - Com o retorno do investimento apresentado, sendo que o sistema possui garantia de geração de 25 anos.	1
Residência utilizar fonte renovável para energia elétrica (Duas casas autosustentáveis)	2
Não depende mais da variação da tarifa de energia elétrica, gera sua própria energia.	3
Agregar valor ao imóvel com o sistema.	4
Redução na necessidade de ampliações na rede de distribuição local. Melhora a estabilidade da rede local. Benefícios para a Praia da Solidão.	5
Pela cobertura da casa da praia apresentar um projeto mais eficiente - Potencial de Geração superior ao da casa do centro.	6
Estética, se de alguma forma o projeto incorporado a arquitetura influenciou na opção pela residência da praia.	7

### 3.2.1. Residência 1 (Casa de praia)

A residência 1 está localizada na região sul da ilha de Florianópolis, sendo mais frequentada durante o período de temporada de verão, entre os meses de janeiro a março. Se enquadra no Grupo B1, classe residência convencional, monofásico, tensão de entrada de 220V e um disjuntor de entrada de 30 Amperes.

A residência 1, destacada em amarelo, está apresentada na Figura 24. Percebe-se que não existe a presença de barreiras físicas próximas do terreno como,

por exemplo, prédios, grandes árvores ou qualquer objeto externo que cause sombreamento no telhado norte, e numa análise visual apresenta uma boa área disponível e orientação favorável em relação ao Norte geográfico.



**Figura 24** - Foto de satélite com vista superior da residência 1.

Fonte: (GOOGLE, 2017).

O proprietário comentou que o padrão de entrada, Figura 25, foi substituído a pouco tempo, dessa forma já atualizado de acordo com os padrões de entrada da concessionária CELESC.



**Figura 25-** Foto do padrão de entrada elétrica da residência 1.

A residência 1 atual é o produto de uma reforma de uma casa antiga do proprietário anterior. O quadro geral de distribuição, que foi mantido na reforma, apresenta sem espaços para novos disjuntores, sendo necessária a utilização de um novo quadro geral de distribuição específico para o sistema FV. A Figura 26 mostra o quadro geral com 3 disjuntores, 2 de 30 A e um de 25 A.



**Figura 26** - Quadro geral de distribuição elétrica da residência 1.

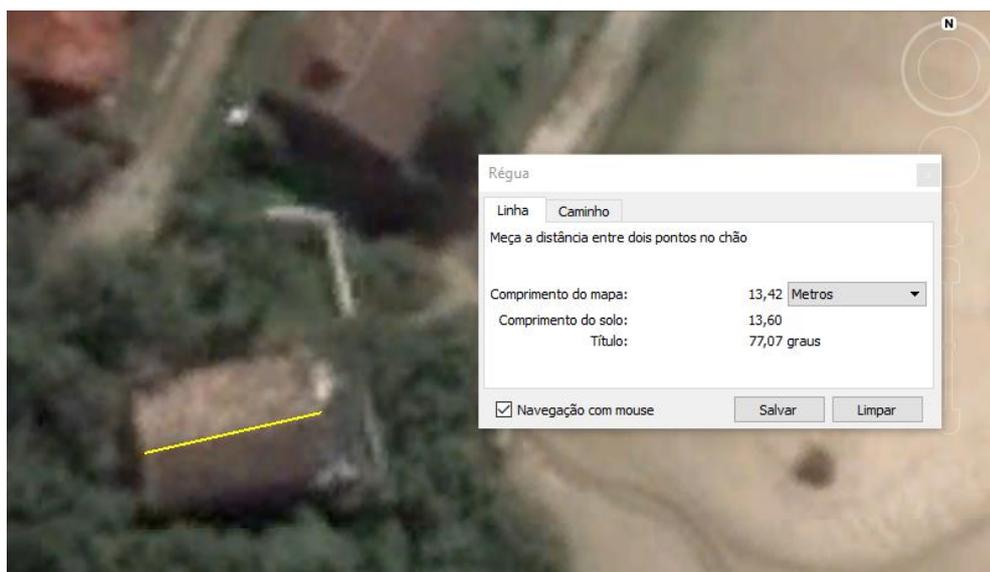
A estrutura de suporte da cobertura, Figura 27, se apresenta em ótimo estado, com caibros de madeira aparentes espaçados 1,0 metros entre suas linhas de centro. Dessa forma a análise visual e a coleta de distâncias é facilitada, e considera-se que essa cobertura é capaz de suportar a sobrecarga devido ao peso dos equipamentos fixados na parte superior da estrutura na cobertura da casa.



**Figura 27** - Estrutura da cobertura da residência 1.

Durante a visita técnica foram observadas 3 árvores que podem, em algum período do ano, causar sombreamento sobre o telhado norte da residência. O proprietário pediu que o cálculo fosse desenvolvido sem a consideração de sombreamentos vindos das 2 árvores menores, localizadas mais ao noroeste da orientação do telhado, pois as mesmas seriam retiradas ou desbastadas a uma altura pré-determinada. Essa é uma informação importante para o desenvolvimento da simulação e do projeto fotovoltaico. Dessa forma o único objeto a ser analisado na simulação de sombreamento é a chaminé da lareira.

Para obtenção da orientação geográfica do telhado Norte da residência utilizaremos 2 formas. Primeiro por imagens de satélite, com a ferramenta Google Earth, encontramos a residência e verificamos a orientação da cumeeira da cobertura da residência, pois se tratando de uma linha podemos ter uma maior precisão do valor.



**Figura 28** - Representação do ângulo azimutal da cumeeira para obtenção da orientação do telhado para residência 1.

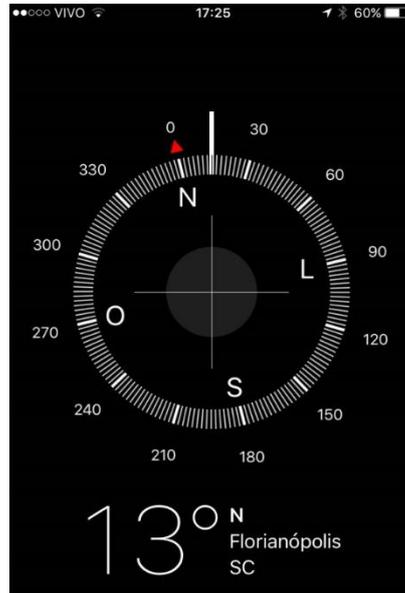
Fonte: (GOOGLE, 2017).

Se a linha representada em amarelo na Figura 28 tem um ângulo azimutal de  $77,07^\circ$ , podemos obter a diferença angular entre a orientação do telhado Norte com o Norte geográfico. Como a inclinação do telhado é perpendicular à direção da cumeeira dessa forma obtemos o ângulo de orientação do telhado Norte.

$$\text{Orientação do telhado} = (77,07^\circ - 90,00^\circ) = -12,93^\circ;$$

$$\text{Orientação do telhado} = 12,93^\circ \text{ Noroeste};$$

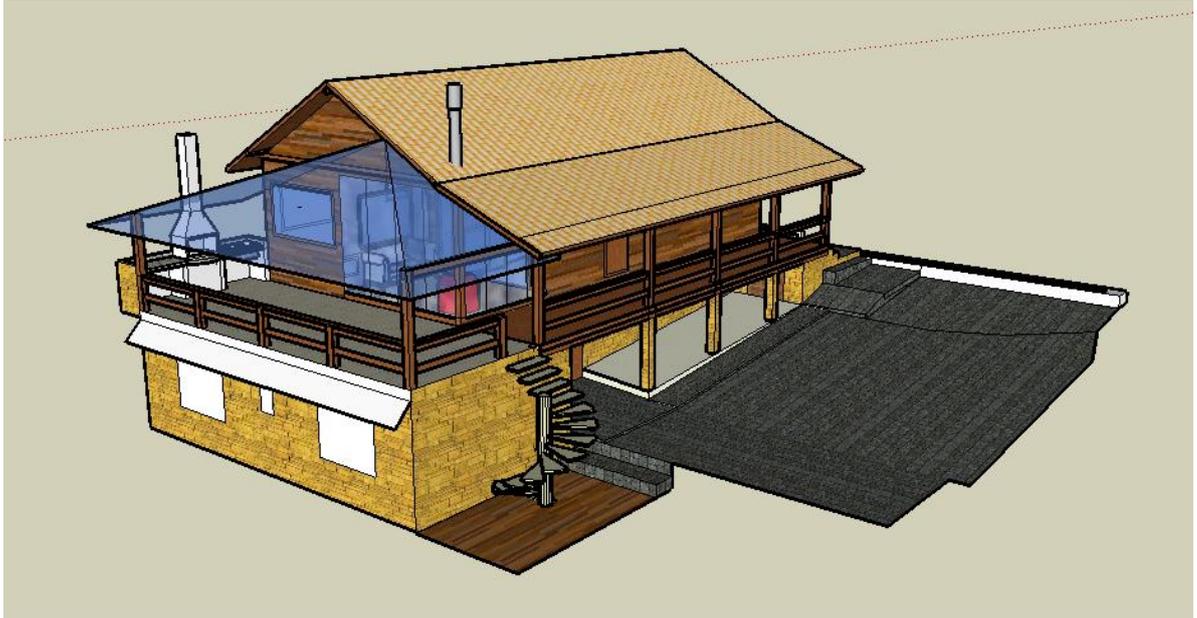
A segunda maneira de obtenção do ângulo é através de um app para *smarthphone* que simula uma bússola. Segue a Figura 29 com um *printscreen* do momento da coleta do ângulo, mostrando que o valor obtido através da previsão anterior está muito próximo da bússola.



**Figura 29** – Aplicativo de smartphone que simula uma bússola, posicionado na direção da inclinação do telhado norte da residência.

Fonte: Aplicativo de bússola.

Foi fornecido pelo proprietário o projeto 3D da casa de praia, Figura 30, desenvolvido e apresentado no formato compatível com o software Google Sketchup. Essa maquete auxiliou na determinação do potencial energético, nas simulações até o final do projeto.



**Figura 30** - Maquete 3D da residência 1.

Fonte: Elaborado pelo proprietário.

Através de uma coleta de dados do projeto 3D identificamos que na cobertura Norte da residência o telhado possui duas diferentes inclinações, e dessa forma duas diferentes capacidades de geração de energia. A área superior do telhado tem 50 m<sup>2</sup> e uma inclinação com a horizontal de 29,56°. Posteriormente apresentarei a simulação de sombreamento causado principalmente pela presença da chaminé, que reduz consideravelmente o potencial de geração do telhado Norte superior.

### **3.2.2. Residência 2 (Centro urbano)**

A residência 2 está localizada na região central da ilha, e se enquadra no Grupo B3, classe de Residência Convencional, Trifásico, Tensão de entrada de 220V com um disjuntor de 30 Amperes. Uma análise menos detalhada foi feita na casa do centro pois essa UC irá somente receber os créditos excedentes gerados na casa de praia.



**Figura 31** - Residência central Google Earth 3D.

Fonte: (GOOGLE, 2017).

É comum que regiões centrais possuam um acúmulo de moradias e como consequência uma maior chance de sombreamento no local previsto. Notamos que a residência do centro está localizada numa área mais povoada do que a casa de praia, não sendo vantajoso para geração fotovoltaica.

### 3.3. SOFTWARES DE SIMULAÇÃO (FERRAMENTAS)

Nesse trabalho tem-se como objetivo fornecer um projeto de autossuficiência de eletricidade das duas UCs através da tecnologia fotovoltaica, dessa forma podemos somar o valor da energia fornecida da taxa de disponibilidade de cada uma das residências. Uma tem conexão monofásica e a outra trifásica somando assim 100 kWh mais 30 kWh totalizando 130 kWh por mês, que não deve ser incluso nos cálculos como demanda a ser suprida pelo sistema FV. A demanda para atender as duas UCs é de 445,5 kWh por mês. Esse foi o valor considerado para simulação no software PVSyst fornecendo a capacidade instalada necessária para essa redução desejada a *Performance Ratio* (PR) e a taxa de desempenho (YIELD).

O software Google Sketchup é utilizado para a etapa de modelagem, layout do sistema, imagens da simulação, a fim de compatibilizar o projeto arquitetônico com o sistema FV. Já para os projetos em 2D foi utilizado o AutoCad 2016 versão estudantil da empresa Autodesk.

Nas imagens de satélite foi utilizado o Google Earth, software que proporciona informações sobre o entorno do local de estudo, identifica possíveis objetos de

sombreamento e parâmetros do posicionamento da cobertura, mas sem oferecer muita precisão.

### 3.4. POTENCIAL DE GERAÇÃO E ANÁLISE DE SOMBREAMENTO

Para verificar o espaço disponível e livre de sombreamento, do telhado norte da Residência 1, foram feitas duas análises. A primeira que analisa se o telhado tem área suficiente para acomodar os 16 módulos do sistema proposto. Já a segunda que simula o sombreamento que atinge o telhado.

Durante a visita técnica foi identificado que a chaminé da lareira poderia causar sombra sobre parte do telhado. Pode-se verificar na Figura 32 que os módulos foram posicionados o mais para a direita possível se distanciando ao máximo da sombra da chaminé.

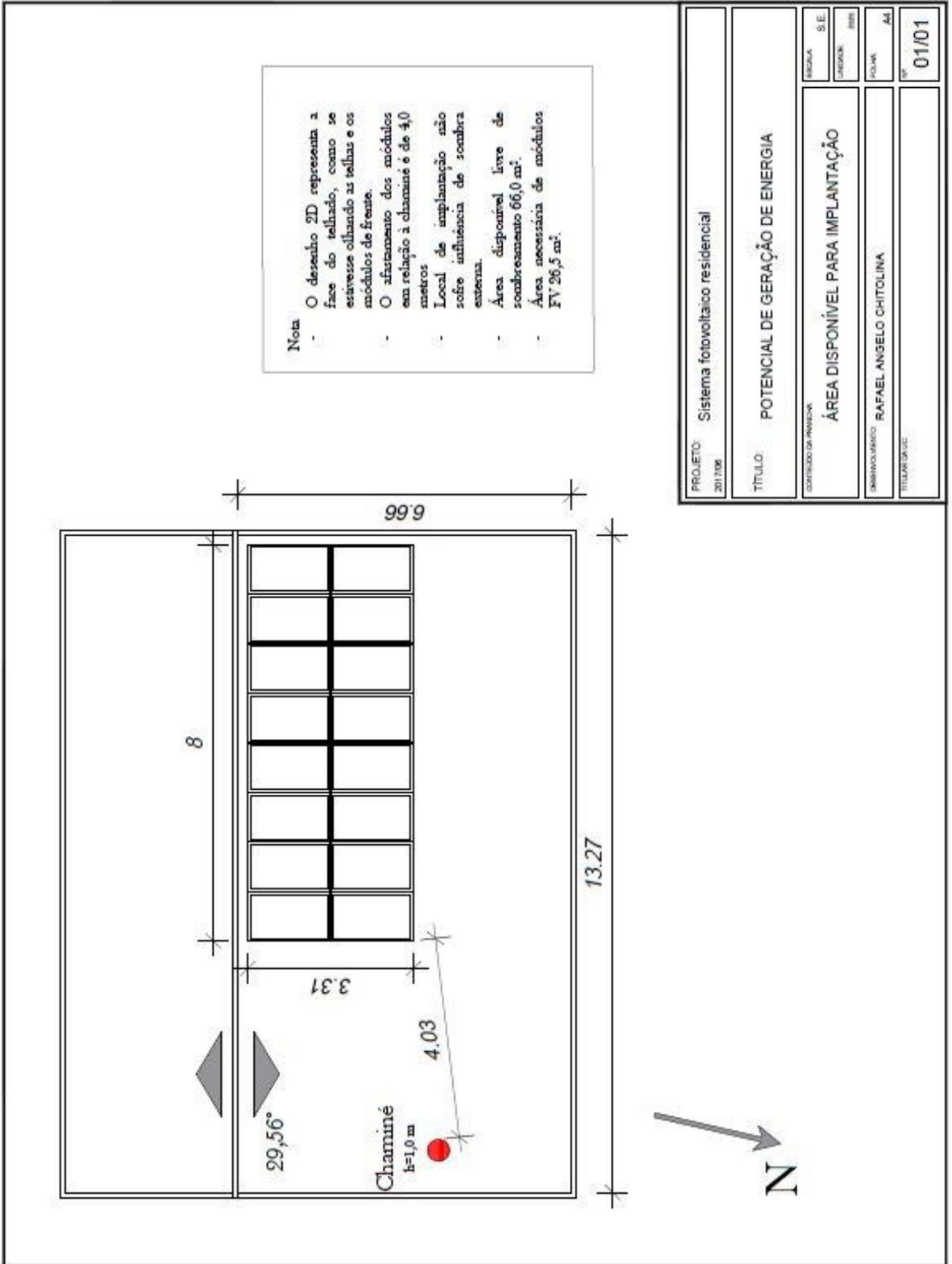
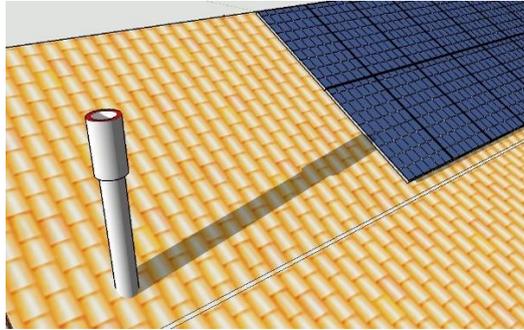
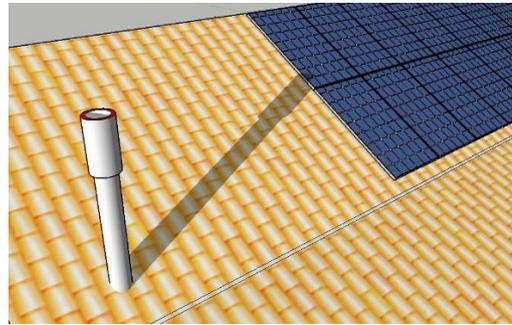


Figura 32 – Potencial de Geração de Energia.

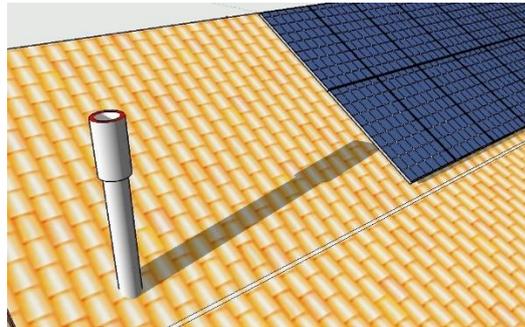
A simulação de sombreamento foi efetuada durante o período crítico, onde a sombra da chaminé chega o mais próximo dos módulos fotovoltaicos, como apresentam as Figuras 33, 34 e 35.



**Figura 33** – Sombra no dia 05/04 às 8h.

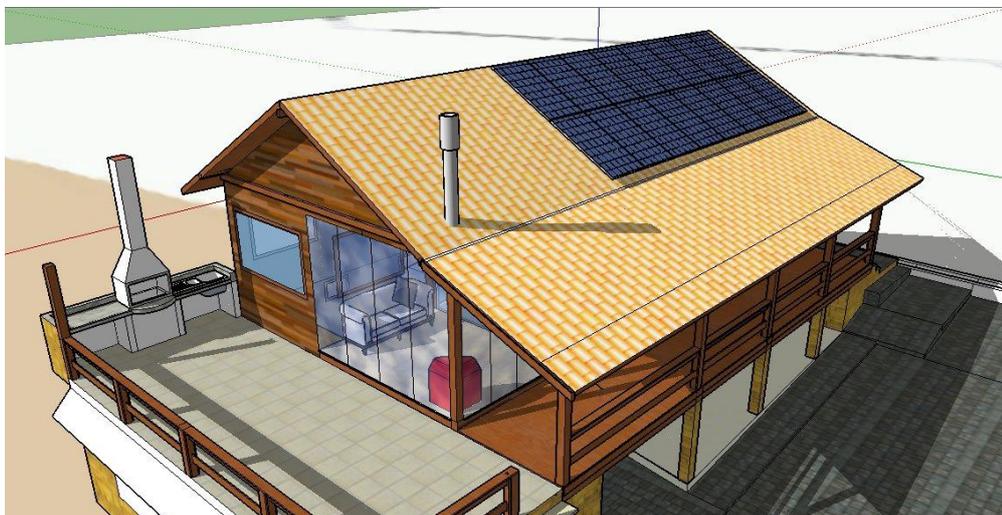


**Figura 34** – Sombra no dia 22/06 às 8h.



**Figura 35** – Sombra no dia 08/09 às 8h.

Do começo de novembro até 10 de março o sistema fotovoltaico é livre de sombra. Nos outros meses a sombra da chaminé atinge os módulos apenas no início da manhã, até às 8h, como por exemplo a Figura 36, no dia 01 de janeiro.



**Figura 36** – Sombra da chaminé em 01 de janeiro às 8h.

### 3.5. SIMULAÇÕES

De acordo com Rüther (2004), entre os fatores que podem causar um menor rendimento dos módulos solares fotovoltaicos estão a radia  o solar, temperatura dos painéis, sombreamento parcial, descasamento entre painéis de um mesmo *string*, resistência dos condutores e a limpeza dos módulos fotovoltaicos.

Será feita a simula  o de um único sistema fotovoltaico, em que o microgerador de energia elétrica será instalado na cobertura da residência 1.

#### 3.5.1. Equipamentos utilizados na simula  o FV

A tecnologia de silício multicristalino foi utilizada tanto para a simula  o no PVSyst quanto para o dimensionamento de todo o sistema FV. Essa    a tecnologia que predomina no mercado, mesmo não sendo a mais eficiente possui um custo menor do equipamento. A potência utilizada    de 265 Watts em um módulo de 60 células. Esse    um produto facilmente encontrado no mercado brasileiro e suas especifica  es do fabricante estão apresentadas no Anexo C.

O inversor monofásico de potência de 4,2 kW deve ser compatível com a conexão também monofásica da CELESC e da UC. Suas especifica  es estão dispostas no Anexo D, disponibilizado na internet pelo fabricante.

#### 3.5.2. Relatório de simula  o FV

O desempenho de um sistema FV    medido pela taxa de desempenho (PR), que    definida como a rela  o entre o desempenho real do sistema e o desempenho máximo teórico possível. Esse    um parâmetro importante para avaliar a gera  o de energia elétrica de um dado sistema FV, por levar em considera  o a potência real do sistema sob condi  es de opera  o e todas as perdas envolvidas, como perdas por queda de tensão, devido    resistência de conectores e fia  o, sujeira, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor (NASCIMENTO, 2013).

Esperamos dessa simula  o a obten  o de valores de PR entre 70 e 80% que Nascimento (2013) apresenta como valor médio para sistemas livres de sombreamento. Geralmente, de modo a reduzir a incerteza na obten  o da PR dos sistemas FV, softwares de dimensionamento são utilizados.

A produtividade de um sistema FV reflete seu desempenho em relação à potência instalada, ou seja, a quantidade de eletricidade que um determinado sistema produz pela unidade de potência (kWh/kWp), na base anual (NASCIMENTO, 2013).

### 3.6. PROJETO FOTOVOLTAICO

Os projetos elétrico, civil e mecânico devem ser desenvolvidos de forma compatível com o projeto arquitetônico, elétrico e estrutural, existentes da edificação que irá acomodar o sistema FV. Essa compatibilização é de extrema importância e proporciona um projeto mais eficiente e economicamente atraente. O projetista/instalador deverá preparar um projeto das instalações de conexão à rede (SCHEIDT, 2017).

#### 3.6.1. Acesso à rede de distribuição da CELESC

Documentos, projetos e informações exigidos no processo de conexão demandam um considerável nível de conhecimento técnico, dedicação e tempo de trabalho. Como esse trabalho possui características técnicas, um detalhamento será feito nessa etapa do trabalho. A verificação do projeto de microgeração distribuída, a garantia de geração, os equipamentos testados e aprovados e principalmente a responsabilidade técnica pelo projeto e implantação são alguns exemplos de requisitos vistoriados.

É firmado um contrato entre a Celesc Distribuição, que é o agente de distribuição de energia elétrica aonde o acessante ou proprietário da UC conecta suas instalações geradoras de energia. O proprietário da UC é quem solicita o acesso ao sistema elétrico da empresa distribuidora de eletricidade através de um processo de análises de uma série de documentos e projetos (CELESC, 2016).

#### 3.6.2. Aspectos legais CELESC

- a) Resolução Normativa ANEEL nº 414/2010, que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica.
- b) Resolução Normativa REN ANEEL 687/2015, que revisa a REN ANEEL 482/2012, a qual estabelece as condições gerais para o acesso de

microgeração e minigeração distribuída e o sistema de compensação de energia elétrica.

- c) Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – ANEEL.

Um acordo é celebrado entre o acessante e a Celesc Distribuição no qual descreve e define as atribuições, responsabilidades e procedimentos necessários ao relacionamento técnico- operacional, para mini geradores. A residência apresentada no estudo de implantação do microgerador FV está de acordo, atendendo os requisitos de conexão do sistema elétrico de baixa tensão (BT), operando nas tensões nominais de 380/220 Volts (CELESC, 2016).

### **3.6.3. Requerimentos de solicitação de acesso e vistoria**

Ambos os requerimentos de acesso e vistoria para esse projeto estão apresentados nos Anexo F e Anexo G, respectivamente, e seguem o padrão da concessionária de distribuição de energia local. Esses documentos quando enviados para a concessionária devem ser acompanhados das ARTs de projeto e acompanhamento de obra.

A Celesc Distribuição deverá emitir, em até quinze dias depois do recebimento da Solicitação de Acesso, um Parecer Técnico de Acesso onde ficam estabelecidas características técnicas da conexão, condições de acesso e demais características do empreendimento de instalação. Nesse documento o cliente receberá também o aditivo do contrato de sua UC com objetivo de formalizar as regras de faturamento do sistema de compensação de eletricidade, e um acordo de relacionamento operacional. Caso o acessante possua mais de uma unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia elétrica, as mesmas também deverão celebrar o aditivo contratual.

Em até sete dias, após o recebimento da Solicitação de Vistoria, uma equipe técnica efetuará a vistoria técnica, com mais cinco dias a concessionaria entrega um relatório com pendências. Caso não haja pendências técnicas a aprovação do ponto de conexão e troca de medidor é realizada em 7 (sete) dias após a emissão do Relatório de Vistoria.

O medidor eletrônico multifunção, apresentado pela Celesc Distribuidora, para utilização em sistemas monofásicos é o MEMD4Q. Tem uma tensão nominal de 240 V, corrente nominal 15 A, corrente máxima 100 A contendo uma fase e 2 cabos.

#### 3.6.4. Memorial de cálculo

Para o cálculo da capacidade de corrente do cabo elétrico é adotada seguindo a Equação 3, tendo a corrente elétrica como parâmetro de dimensionamento.

$$I_{string} \leq I_{cabo, corrigido} = I_{cabo} \cdot F_t \cdot F_a$$

#### Equação 3

Aonde:

- $I_{string}$  = Corrente máxima na string;
- $I_{cabo}$  = Capacidade de corrente do cabo;
- $I_{cabo, corrigido}$  = Capacidade corrigida de corrente do cabo;
- $F_t$  = Fator de correção de temperatura;
- $F_a$  = Fator de correção de agrupamento;

Para obter a queda de tensão ocasionada pelo transporte da energia foi utilizada a Equação 4.

$$\Delta V\% = \frac{2 \cdot R_{cc} \cdot I_{string} \cdot L}{V_{string}}$$

#### Equação 4

Aonde:

- $\Delta V\%$  = Queda de tensão em relação a tensão da string, percentual;
- $I_{string}$  = Corrente máxima na string;
- $V_{string}$  = Tensão de operação da string;
- $R_{cc}$  = Resistividade em corrente contínua;
- $L$  = Distância em (km);

### **3.6.5. Memorial descritivo**

O memorial descritivo refere-se ao detalhamento do projeto elétrico de um sistema fotovoltaico em baixa tensão para geração de energia elétrica. Para o desenvolvimento do projeto e das atividades referidas serão necessários uma série de materiais conforme descritos a seguir.

#### *3.6.5.1. Quadros de proteção CC e CA*

Essa caixa se destina a oferecer espaço para acomodar os DPS e disjuntores, o quadro utilizado será o mesmo para os dois lados CC e CA. Será o Quadro em PVC, com tampa, branco, que comporta até oito dispositivos e com dimensões de (182 x 222 x 98) mm.

#### *3.6.5.2. Supressores de surto de baixa tensão*

Para a proteção das instalações elétricas contra surtos de tensão, provenientes de descargas atmosféricas ou manobras elétricas executadas pela concessionária de energia, deverão ser utilizados os supressores de surto de baixa tensão para as fases e para o neutro.

#### *3.6.5.3. Cabeamento CC*

Cabo flexível, seção 6 mm<sup>2</sup>, PVC, classe térmica 70°C, tensão de isolamento 750V, conforme NBR NM 247-3. Cor Branco.

#### *3.6.5.4. Cabeamento CA*

Cabo flexível, seção 4 mm<sup>2</sup>, classe de isolamento 0,6/1kV, classe térmica 90°C, isolamento HEPR. Cor VERMELHO.

#### *3.6.5.5. Disjuntor*

Disjuntor monopolar 20A, Curva C, 5kA (220/127), 3kA (380/220).

#### 3.6.5.6. Conectores

Conector Macho MC4 com Tensão de 1000V para cabos de 1,5 a 4mm<sup>2</sup>, faixa de operação -40°C a +75°C.

Conector Fêmea MC4 com Tensão de 1000V para cabos de 1,5 a 4mm<sup>2</sup>, faixa de operação -40°C a +75°C.

#### 3.6.5.7. Execução

É importante que as características do cabeamento elétrica sejam definidas no processo do projeto, e deve-se seguir rigorosamente essa convenção de cores prevista na NBR 5410/2004 para identificação dos cabos:

- Neutro: Azul claro;
- Terra: Verde;
- Fase R: Vermelho;
- Fase S: Branco;
- Fase T: Preto;
- Retorno: Marrom.

Os cabos deverão ser contínuos desde o sistema de corrente contínua até a caixa CC, após isso, da caixa CC até o inversor de frequência, do inversor até a caixa CA e posteriormente até o quadro de distribuição do cliente.

O cabeamento CC será encaminhado até a caixa CC através de eletroduto em PVC rígido, 1". Após a passagem dos cabeamentos elétricos CC pelo eletroduto, e entrando na caixa CC através de prensa cabos, o circuito passará pelo DPS CC para proteção. Após isso, será encaminhado até o inversor para alteração de CC para CA. Após a conversão, o circuito será encaminhado até a caixa CA para proteção do DPS e disjuntor.

Os dispositivos de proteção do lado CA visam fornecer proteção contra algum sinistro que possa vir da rede elétrica da concessionária de energia elétrica ou até do quadro de distribuição do cliente. Após a conclusão das instalações todos os quadros, cabos e equipamentos deverão ser testados quanto à tensão e à continuidade do circuito.

### 3.6.6. Especificações técnicas

Os detalhes dos equipamentos elétricos e de proteção utilizados são apresentados a seguir.

#### 3.6.6.1. Especificação técnica do módulo

O módulo fotovoltaico, fabricante JA Solar, modelo JAP6-60/265/4BB foi selecionado para este projeto. As suas características são apresentadas na Tabela 7 e as especificações técnicas do fabricante no Anexo C.

**Tabela 7 - Características do Módulo FV**

Características em STC	Unidade	Valores
Potência nominal:	W	265
Corrente de curto-circuito:	A	9,08
Tensão de circuito aberto:	V	38,05
Corrente de máxima potência:	A	8,54
Tensão de máxima potência:	V	31,02
Coeficientes de temperatura		
Potência máxima :	(%/°C)	-0,41
Corrente de curto-circuito :	(%/°C)	0,058
Tensão de circuito aberto :	(%/° C)	-0,33
Outras		
Número de células:		60
Eficiência:	%	16,51

#### 3.6.6.2. Especificação técnica do inversor

O inversor utilizado para esse projeto é o ABB, modelo PVI–4.2-TL-OUTD, com potência nominal de 4,2 kW. As características do inversor utilizado são detalhadas na Tabela 8, e as especificações técnicas do fabricante no Anexo D.

**Tabela 8 – Características do Inversor**

Exigências Técnicas	Unidade	Valores
Dimensões (LxAxP):	mm	618x325x222
Potência CA:	W	3000
Intervalo de Tensão MPPT:	Vdc	120 – 530
Máxima Corrente CC:	A	20
Entradas MPPT:	Unid.	2
Tensão nominal CA:	V	220
Eficiência Máxima:	%	96.8

### 3.6.6.3. *Cabeamento das strings*

O cabeamento que é utilizado para a parte em corrente contínua do circuito é apresentado na Tabela 9.

**Tabela 9** – Especificação cabos de *strings*

Requisitos Técnicos	Unidade	Valores
Bitola do condutor	mm <sup>2</sup>	4
A prova de intempéries e resistente a UV		OK
Faixa de Temperatura de Operação	°C	0 ≥ +90
Isolação mínima	V	1000
Não deve propagar fogo		OK
Cor de cobertura		Vermelho ou preto

### 3.6.6.4. *Cabeamento CA*

O cabeamento que é utilizado para a parte em corrente contínua do circuito é apresentado na Tabela 10.

**Tabela 10** – Especificação cabos CA

Requisitos Técnicos	Unidade	Valores
Bitola do condutor	mm <sup>2</sup>	6
A prova de intempéries e resistente a UV		OK
Faixa de Temperatura de Operação	°C	0 ≥ +70
Isolação mínima	V	750
Não deve propagar fogo		OK
Cor de cobertura		Conforme NBR 5410

### 3.6.6.5. *Disjuntor CA*

O disjuntor que é utilizado para a parte em corrente alternada do circuito é apresentado na Tabela 11.

**Tabela 11 – Especificação do disjuntor CA**

Exigências Técnicas	Unidade	Valores
<b>Tensão</b>	V	220
<b>Nº de polos</b>		1
<b>Terminação DIN</b>		OK
<b>Corrente de ruptura</b>	kA	5

### 3.6.6.6. Dispositivo de proteção contra surtos

O DPS que é utilizado para o projeto está apresentado na Tabela 12:

**Tabela 12 – Especificação do DPS CA**

Requisitos Técnicos	Unidade	Valores
<b>Tensão</b>	V	175
<b>Classe de proteção I+II</b>		OK
<b>Terminação DIN</b>		OK
<b>Nível de proteção</b>	kV	1,5

### 3.6.7. Lista de materiais

Para reunir todos os equipamentos e conseguir quantificá-los mais adequadamente para apresentação foi desenvolvido uma lista de materiais, apresentada na Tabela 13, necessários para o projeto desenvolvido.

Tabela 13 – Lista de Materiais

Equipamentos C3:E29para Sistema FV	Unidade	Quantidade
<b>Módulos e Inversores</b>		
Módulos JAP6-60/265/4BB	peça	16
Inversor ABB PVI-4.2-TL-OUTD	peça	1
<b>Quadro de Proteção</b>		
Quadro - Quadro em PVC, branco, tampa branca, para até 8 disp.	peça	2
DPS CC	peça	2
DPS CA	peça	2
Poste em poliamida para uso em trilhos DIN32 / DIN35 / DIN35-15	peça	4
Disjuntor monopolar 20A, Curva C, 5kA (220/127), 3kA (380/220).	peça	2
Barramento Terra, com 7 furos, para cabo máx. 16mm <sup>2</sup> . Verde	peça	2
<b>Eletrodutos e Acessórios</b>		
Eletroduto rígido PVC, Φ1". Dext. Φ33,2mm, esp. 1,7mm, compr. 3m.	peça	5
Abraçadeira, PVC, Φ1". Dint. Φ32mm, altura 27mm, compr. 34mm.	peça	10
Preença cabos, Branco, PVC, Φ3/4", dmin. Φ13mm, dmáx. Φ18mm, compr. 30mm.	peça	2
<b>Cabos</b>		
Cabo flexível, seção 4 mm <sup>2</sup> - Cor Vermelho.	metros	20
Cabo flexível, seção 4 mm <sup>2</sup> - Cor Preto.	metros	20
Cabo flexível, seção 6 mm <sup>2</sup> , PVC, classe térmica 70°C - Cor Branco.	metros	15
Cabo flexível, seção 6 mm <sup>2</sup> , PVC, classe térmica 70°C - Cor Azul Claro.	metros	15
Cabo flexível, seção 6 mm <sup>2</sup> , PVC, classe térmica 70°C - Cor Verde (terra).	metros	30
<b>Conectores</b>		
Conector Macho MC4 com Tensão de 1000V para cabos de 1,5 a 4mm <sup>2</sup> .	peça	2
Conector Fêmea MC4 com Tensão de 1000V para cabos de 1,5 a 4mm <sup>2</sup> .	peça	2
Terminal Pré-isolado Tubular - TP, para cabo 4-6mm <sup>2</sup> , furo M8, cor Amarelo.	peça	10
Terminal Pré-isolado Tipo Ilhós (Pino Tubular) - TI, para cabo 6mm <sup>2</sup> , 50A, cor Amarelo.	peça	40
Terminal Pré-isolado Tipo Ilhós Duplo - TID, para cabos 2 x 6mm <sup>2</sup> , 50A, cor Amarelo.	peça	40
<b>Outros</b>		
Abraçadeira de nylon resistente ao Sol, (UV), preta, dim. Pacote com 200 unidades.	peça	1
Placa de advertencia (PVC)	peça	1
Adesivo de advertencia para caixa CC	peça	1
Fita dupla face 3M. Largura 24mm, comprimento: 1,5m	peça	1
Parafuso Phillips, Cabeça Panela, Aço Inox, N° 10, Φ4,8mm, rosca: Auto Atarraxante.	peça	10
Parafuso Phillips, Cabeça Panela, Aço Inox, N° 8, Φ4,2mm, rosca: Auto Atarraxante.	peça	50
Bucha Universal de Nylon (concreto e alvenaria), UN8, ext. Φ8mm.	peça	10
Bucha Universal de Nylon (concreto e alvenaria), UN6, ext. Φ6mm.	peça	50
Parafuso, Aço Inox, ponto broca, flangeado, com arruela dupla. Φ5,5mm.	peça	5

### 3.6.7.1. Layout

Durante a visita técnica foi identificado que a chaminé da lareira iria causar um sombreamento sobre o telhado de implantação dos módulos. Uma simulação de Sketchup foi desenvolvida na residência para verificar qual seria a área mais apropriada posicionar os módulos FV. Uma série de imagens obtidas na simulação do

Google Sketchup apresenta a parcela do telhado de cobertura que é atingido pela sombra dos objetos citados.

Foi verificado que a área livre de sombreamento é suficiente para a área de módulos FV necessários para a geração da eletricidade, já considerando a compensação em autoconsumo remoto para a segunda residência. A Figura 37 apresenta uma vista frontal da residência com os 16 módulos FV posicionados sobre as telhas e fixados nos caibros de madeira. Esse deslocamento para a direita é devido ao sombreamento causado pela chaminé e uma árvore “sombreiro” que interferem na captação de energia solar naquela área.



**Figura 37** – Posicionamento dos módulos FV no telhado.

#### 3.6.7.2. *Análise de viabilidade econômica*

Foi realizada uma análise de mercado visando obter o custo médio, por unidade de potência, e tempo médio de retorno de investimento para sistemas fotovoltaicos com as seguintes características: 16 módulos, conexão monofásica, e as características de inclinação, localização e orientação já apresentadas anteriormente. Foram contatadas 20 empresas do setor, localizadas nas mesorregiões da Grande Florianópolis e do Vale do Itajaí, para realizarem um orçamento do sistema. A Tabela 14 apresenta dados de 13 empresas que proporcionaram orçamentos com todos os dados necessários.

**Tabela 14** – Diferentes orçamentos de empresas do setor de energia solar de Santa Catarina.

	<b>Empresas</b>	<b>Custo médio (R\$/kWp)</b>	<b>Payback (anos)</b>
<b>1</b>	Empresa 1	6102	6,5
<b>2</b>	Empresa 2	7445	6,25
<b>3</b>	Empresa 3	7006	6
<b>4</b>	Empresa 4	4864	5,7
<b>5</b>	Empresa 5	7042	7,9
<b>6</b>	Empresa 6	6265	6,3
<b>7</b>	Empresa 7	7428	6,4
<b>8</b>	Empresa 8	6718	6,7
<b>9</b>	Empresa 9	6653	7
<b>10</b>	Empresa 10	6327	6
<b>11</b>	Empresa 11	6918	8
<b>12</b>	Empresa 12	7713	6
<b>13</b>	Empresa 13	6984	10
	<b>MÉDIA</b>	<b>6918</b>	<b>6,4</b>

Dessa forma foi possível escolher umas das empresas apresentadas, devido a condição de pagamento favorável fornecido pela Empresa 1, a mesma forneceu os parâmetros de base para os cálculos do tempo de retorno do investimento.

a) Fluxo de Caixa

A análise do fluxo de caixa foi realizada considerando um do aumento anual no custo da energia elétrica de 2% elevando o custo evitado até os 25 anos previstos. O investimento inicial considerado foi de R\$ 25.874,00, valor distribuído nos primeiros 12 meses do ano zero e sem implicação de juros. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada foi de 6% ao ano, independente da inflação.

b) Valor Presente Líquido (VPL)

Se  $VPL = 0$ , o ponto é indiferente;

Se  $VPL < 0$ , então o projeto é inviável;

Se  $VPL > 0$ , então o projeto é viável.

Se VPL for positivo no final do ano 25 então o projeto é economicamente viável, para determinação do VPL foi utilizado a ferramenta Microsoft Excel 2016.

c) Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é necessária pois iguala o valor do investimento com os respectivos retornos do futuro.

Quando:

$TIR = TMA$  o projeto é indiferente economicamente;

$TIR > TMA$  o projeto é economicamente atrativo;

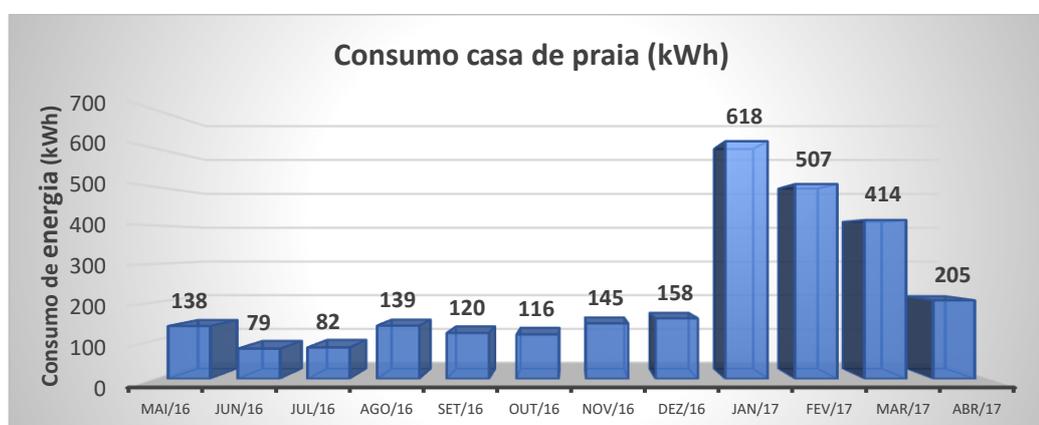
$TIR < TMA$  o projeto não é economicamente atrativo.

d) Payback Simples e Payback Descontado

O cálculo do Payback é realizado para saber em quanto tempo o investimento aplicado irá retornar.

## 4. RESULTADOS

Os resultados começaram a ser obtidos na análise do consumo de energia das duas residências. O Gráfico 3 mostra o consumo mensal de energia da residência 1 coletado na fatura de energia, e apresenta o reflexo dessa maior utilização do imóvel. A média de consumo nesse primeiro semestre foi de 580 kWh/mês, e os condicionadores de ar são os equipamentos elétricos que mais consomem eletricidade na residência, isso devido ao maior tempo de utilização, pois durante a temporada a região apresenta elevadas temperaturas.



**Gráfico 3** – Dados da fatura de energia, consumo mensal em kWh da casa de praia.

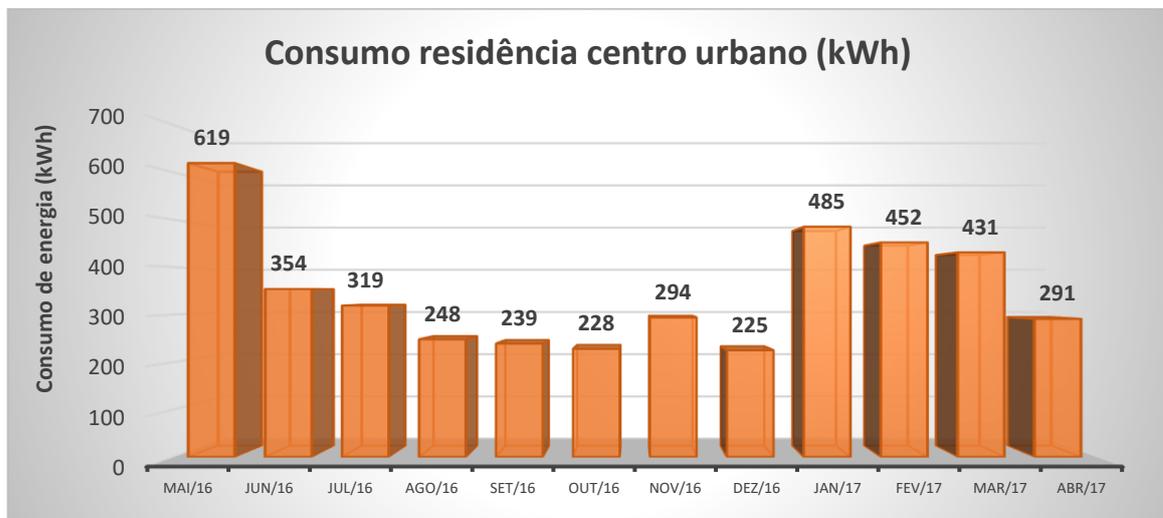
Nos outros nove meses a utilização da residência de praia é reduzida fazendo com que o consumo seja reduzido consideravelmente para uma média de 130 kWh/mês. A média calculada nos últimos doze meses é de 226,75 kWh/mês. É importante ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade, valor em reais equivalente a 30 kWh na conexão monofásica (site da Aneel – acesso dia 12 de junho de 2017).

Entendemos que a energia necessária para suprir o consumo apresentado no histórico é a diferença entre a média de consumo mensal e a energia referente a taxa fixa da concessionária. Esse valor será definido como a quantidade de energia necessária para reduzir ao máximo o valor de pagamento de energia da casa de praia:

Consumo médio mensal (Praia) = 226,75 kWh;  
 Taxa mensal de disponibilidade (Praia) = 30 kWh;  
 Energia FV necessária (Praia) = (226,75 – 30) = 196,75kWh/mês

### Equação 1

As informações do consumo da residência 2 foram analisadas com a mesma metodologia, seus resultados estão apresentados no Gráfico 4.



**Gráfico 4** – Consumo mensal em kWh da residência do centro urbano.

Fonte: Informações da fatura de energia e adaptado pelo autor.

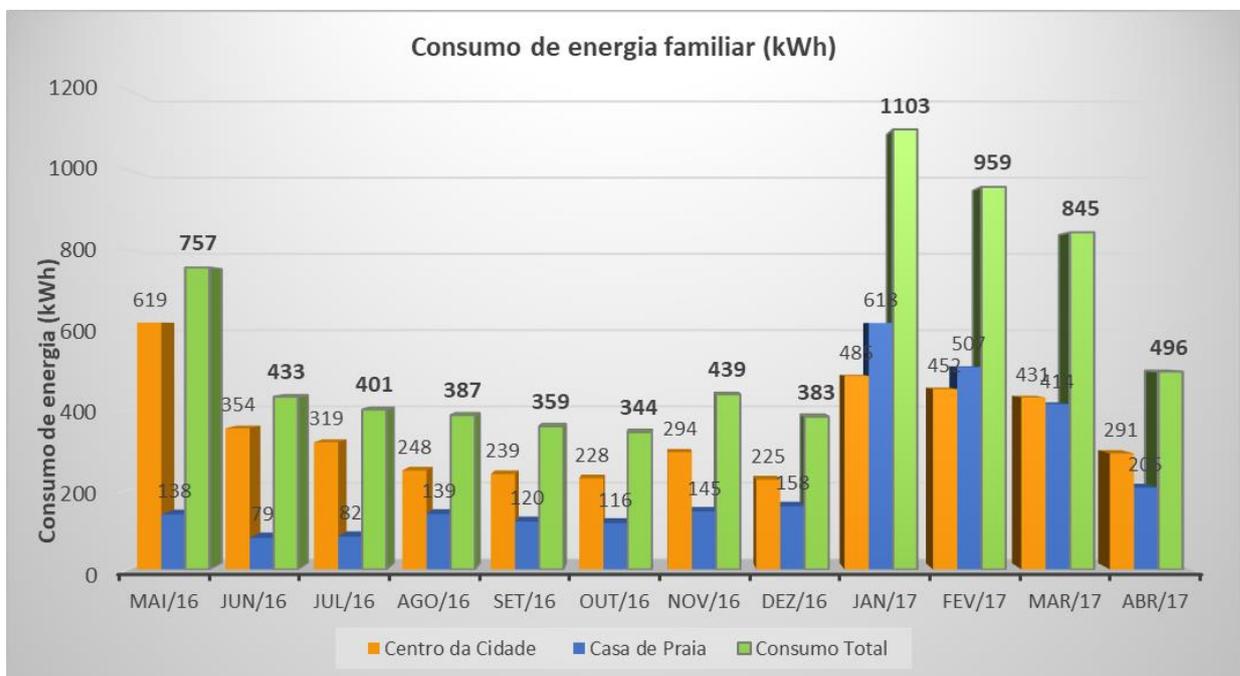
Com dados obtidos na fatura de energia coletamos a média do consumo nos últimos doze meses que foi de 348,75 kWh/mês. Como a conexão é trifásica a taxa de disponibilidade referente aos serviços prestados pela concessionária exige um valor mínimo de pagamento e disponibiliza 100 kWh, que independentemente da utilização será cobrado.

Da mesma forma que foi apresentado na residência 1 a energia necessária para suprir o consumo apresentado no histórico é a diferença entre a média de consumo mensal mês e a energia referente a taxa fixa da concessionária, esse valor será definido como uma demanda de energia da residência do centro urbano:

Consumo médio mensal (Centro) = 348,75 kWh;  
 Taxa mensal de disponibilidade (Centro) = 100 kWh;  
 Energia FV necessária (Centro) = (348,75 – 100) = 248,75 kWh/mês

### Equação 2

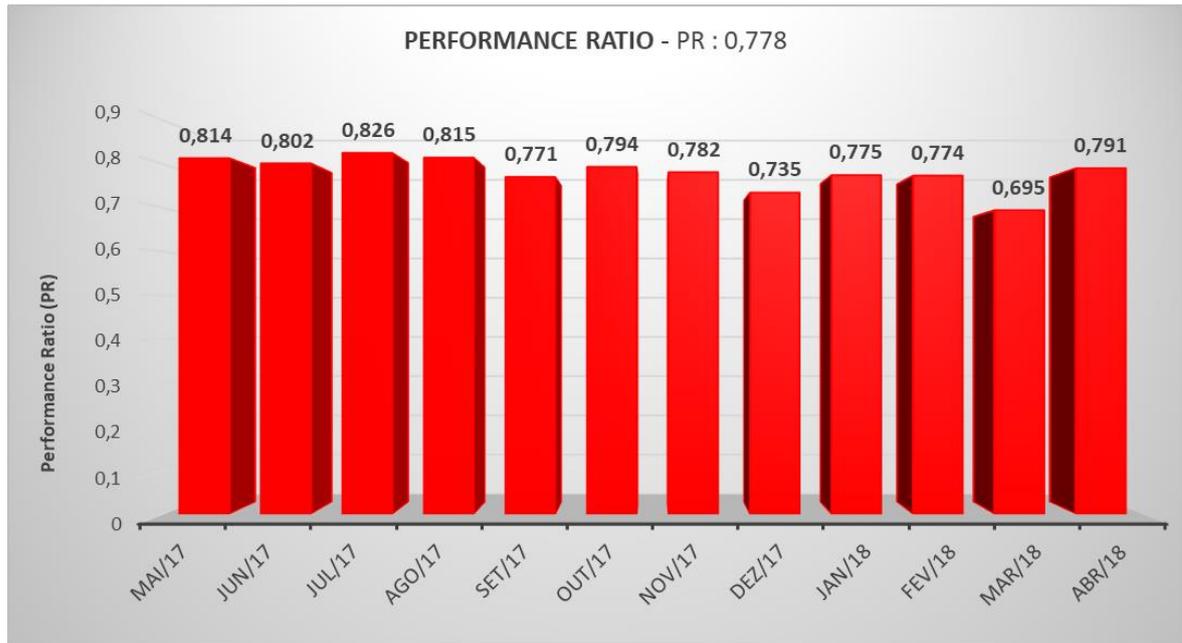
Compatibilizando os Gráficos 3 e 4 obtemos o Gráfico 5 que será utilizado para o desenvolvimento das simulações e no dimensionamento fotovoltaico. A variação do consumo elétrico acumulado no verão é mais visível do que na análise isolada das residências, que como já foi comentado, é devido à utilização de múltiplos condicionadores de ar em ambas residências.



**Gráfico 5** – Histórico do consumo de energia elétrica das duas residências e o acumulado (kWh).

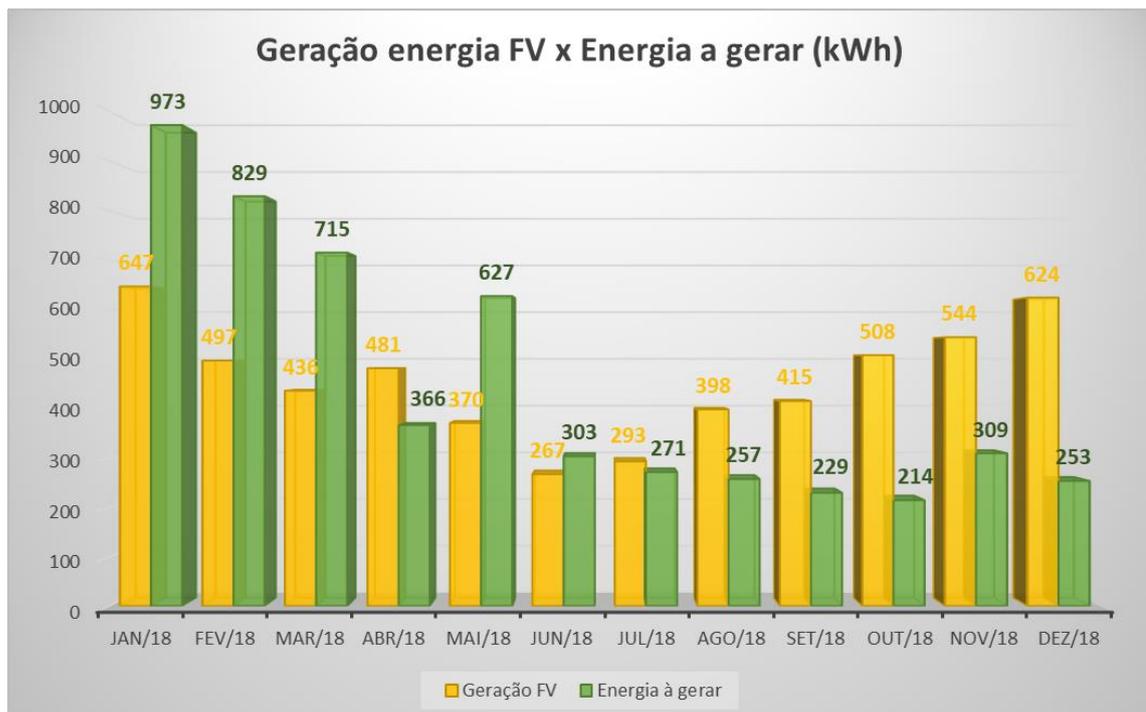
O Gráfico 5 representa, através das barras verdes, um acumulado do consumo de energia elétrica familiar. A média calculada nos últimos meses é 575,5 kWh/mês, número que será utilizado como base de consumo para o dimensionamento da potência necessária para suprir essa demanda das duas residências. O consumo anual atinge quase 7.000 kWh.

Através do PVSyst foi obtido o PR anual, o Gráfico 6 apresenta a divisão dos valores mensais proporcionando um valor de 77,8% de desempenho do sistema FV projetado.



**Gráfico 6** – Performance Ratio do sistema FV da simulação.

Devido à grande variação do consumo nos diferentes meses do ano, com o desenvolvimento de um dimensionamento correto de autossuficiência de energia elétrica nas duas UC's, o sistema FV irá proporcionar uma energia excedente em alguns meses que será posteriormente compensada nos meses de maior consumo como por exemplo janeiro, fevereiro e março.



**Gráfico 7** – Comparativo entre a geração FV e o consumo durante os meses do ano.

Percebemos no Gráfico 7 que a geração de energia solar é inferior ao consumo das duas unidades consumidoras em 5 meses do ano: janeiro, fevereiro, março, maio e junho. Há o consumo elevado pela utilização de condicionadores de ar em ambas as residências. Já a geração de energia se demonstra mais constante, com uma média de 473 kWh/mês, e apresenta seu pico no mês de novembro, com 542 kWh de energia renovável. Notamos que esse gráfico já está desconsiderando, da parcela do consumo, a energia dedicada à taxa de disponibilidade das UC's de 130kWh cada mês

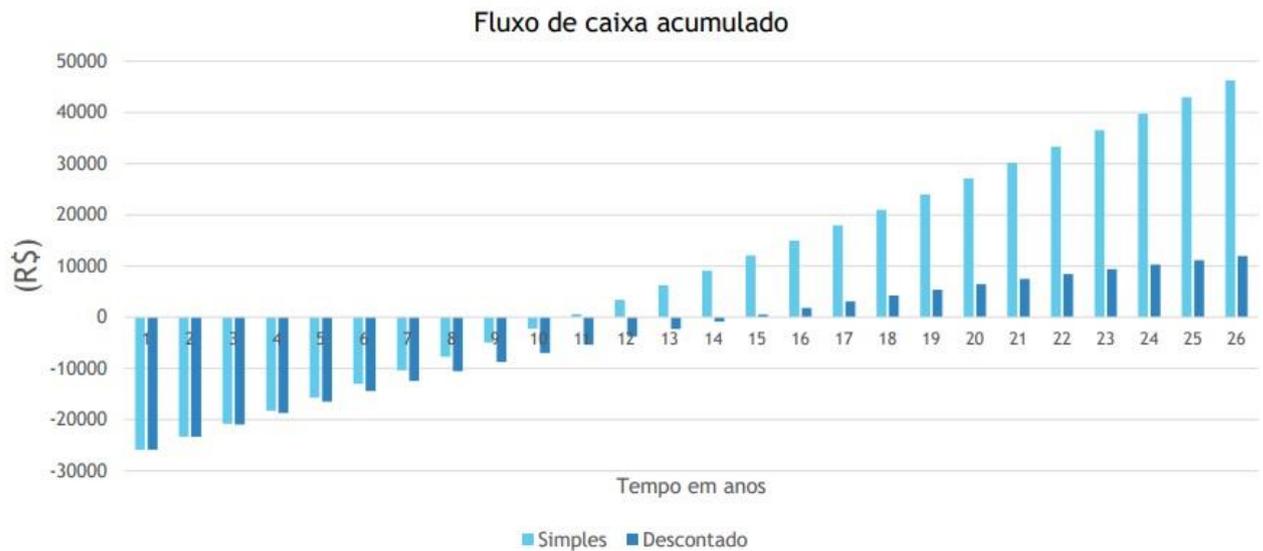
O sistema projetado e simulado no PVSyst se apresenta levemente superdimensionado o que gera, no período de um ano, um excedente de energia elétrica de 329 kWh. Esse acúmulo pode proporcionar um aumento de 6 % no consumo anual da família, ou garantir a geração fotovoltaica, para atender a demanda de projeto por mais de uma década. Isso devido à redução de rendimento do sistema, considerado de 0,5% ao ano nesse trabalho.

A Tabela 15 apresenta os valores calculados para Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback Simples e Payback Descontado.

**Tabela 15** – Resultado da análise econômica.

Investimento Inicial	R\$25.874,00
VPL	R\$11.952,87
TIR	10,80%
Payback Simples	9 anos
Payback Descontado	13 anos
<b>Viabilidade Econômica</b>	
VPL > 0 e TIR > TMA, logo o sistema é viável	

Os cálculos foram realizados a partir dos fluxos de caixa, obtidos através do aumento da tarifa real de energia elétrica da CELESC ao ano, e foi considerado ainda uma Taxa Mínima de Atratividade de 6% ao ano, independente da inflação. O Gráfico 8 apresenta o fluxo de caixa simples e descontado.



**Gráfico 8** – Fluxo de caixa acumulado.

Em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, após sua aprovação do ponto de geração distribuída, a redução do valor da tarifa de energia e os resultados são imediatos para o proprietário. O objetivo desse trabalho foi apresentar um método para o desenvolvimento de um projeto, de geração de energia solar fotovoltaica, voltado para as questões técnicas do local e na modalidade de autoconsumo remoto. A relação econômica foi apresentada através de uma pesquisa de mercado, com empresas do setor localizadas a uma distância máxima de 200 km do local do projeto apresentado. Com o payback obtido e o tempo de funcionamento do sistema considerado no estudo de 25 anos verificamos que o projeto é economicamente atrativo.

## 5. CONCLUSÕES

O maior motivador para o desenvolvimento desse estudo de caso foi o investimento a médio prazo do sistema solar fotovoltaico. Quando foi apresentado ao proprietário essa solução, para gerar sua própria energia elétrica através de uma fonte renovável, e no momento que o projeto foi analisado financeiramente, as vantagens ficaram ainda mais interessantes.

O intuito foi reduzir a necessidade de ampliações na infraestrutura elétrica, que abastece a demanda do entorno das duas residências, e assim ajudar a preservar principalmente a ilha de Florianópolis. Esse projeto possibilita que as duas residências se tornem sustentáveis. Em um primeiro momento o proprietário acreditava que as vantagens de implantação de um sistema FV se dava apenas no local de instalação da microgeradora. Através da REN nº482/2012, que apresenta a modalidade de autoconsumo remoto, ambas as localidades estarão deixando de consumir a energia disponibilizada pela CELESC.

Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica já se apresentam com um investimento rentável e são realidade no Brasil. É natural que sistemas de maior potência instalada proporcionem um custo benefício mais interessante para o cliente do que sistemas fracionados. Esses exigem uma menor quantidade de equipamentos e materiais como inversor, *stringbox*, cabeamento elétrico, componentes de segurança e, se for utilizado um local com maior potencial de geração, a quantidade de módulos FV também pode ser reduzida. Também verificamos vantagens em relação à redução de tempo no desenvolvimento do projeto, na montagem do sistema, processo de conexão com a concessionária, ART, sistema de monitoramento, etc. Isso tudo favorece a obtenção de um projeto mais eficiente e um menor tempo de retorno do investimento. O estudo de caso apresentado fornece um projeto concentrado, isso devido à utilização da modalidade de autoconsumo remoto como solução.

Como já foi apresentado na revisão bibliográfica do trabalho, a adesão da isenção do ICMS sobre a energia compensada fica na responsabilidade dos estados. Santa Catarina é um dos estados que ainda não aderiram ao convênio ICMS 16/2015 CONFAZ. A tendência é que todos os estados do país estejam em dia com o decreto a fim de contribuir com a Geração Distribuída e reduzir o tempo de retorno dos investimentos para sistemas conectados à rede elétrica. No momento que o estado

aderir ao CONFAZ o projeto apresentado começa a obter melhores resultados na questão econômica, com redução da projeção do tempo de retorno financeiro desse estudo.

Além dessa “âncora” do convênio ICMS 16/2015, Santa Catarina e a CELESC não utilizam um método de compensação automática dos créditos excedentes em uma segunda UC, para a modalidade de autoconsumo remoto. Dessa forma, o cliente deve se dirigir todo mês até a CELESC e pedir pessoalmente que a compensação seja realizada, sendo essa outra dificuldade criada pelas autoridades governamentais, que reduz o número de adeptos ao sistema de geração distribuída e principalmente nesse estudo de caso que trata do autoconsumo remoto. O proprietário da residência deve saber dessa desvantagem e barreira criada pelo governo, que força a ida do proprietário até a concessionária a todo momento que deseja compensar seus créditos excedentes.

*Sou Engenheiro e tive contato com a energia fotovoltaica durante a graduação. Hoje prezo pela utilização dela no convívio urbano, no entanto, há ainda pouca informação no mercado quanto à eficiência e funcionamento desses sistemas. A solução de geração de autoconsumo remoto caiu perfeitamente para o meu caso uma vez que poderei gerar energia em minha casa de praia suficiente para utilizar no centro também (Proprietário).*

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nº 0056/2017**: Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024. Brasília: Aneel, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Caderno Temático de Micro e Minigeração Distribuída**. Brasília: Aneel, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414/2010**: Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Brasília: Aneel, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012**: Condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Brasília: Aneel, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687/2015**: Condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Brasília: Aneel, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PRODIST**: Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição. Brasília: 2012.

ANTONIOLLI, Andriago Filippo Gonçalves. **AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES EM SC**. 2012. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11704:2008**: Classificação de Sistemas Fotovoltaicos. São Paulo: Abnt, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão, 2 ed. Rio de Janeiro, 2004.

CELESC (Santa Catarina). **Projeto Bônus Fotovoltaico**. Disponível em: <<http://bonusfotovoltaico.celesc.com.br>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA S.A.. **I-432.0004**: Requisitos para a Conexão de Micro ou Mini Geradores de Energia ao Sistema Elétrico da Celesc Distribuição. Florianópolis: 2016.

CRESESB/CEPEL. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito; Grupo de trabalho de Energia Solar. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: 2014.

CHANDLER, Jo. **Apesar dos obstáculos, a energia solar na Austrália é forte demais para morrer**. Disponível em: <<http://e360yale.universia.net/apesar-dos->

obstaculos-a-energia-solar-na-australia-e-forte-demais-para-morrer/?lang=pt-br>. Acesso em: 13 jun. 2017.

ELY, Fernando; SWART, Jacobus. **Energia Solar Fotovoltaica de Terceira Geração**, IEEE 2014.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (Org.). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: Epe, 2016.

Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2013.

Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

Empresa de Pesquisa Energética. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Rio de Janeiro: Epe, 2014.

ENERDATA. **Electricity production**. Disponível em: <<https://yearbook.enerdata.net/#world-electricity-production-map-graph-and-data.html>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

ENERDATA. **Electricity domestic consumption**. Disponível em: <<https://yearbook.enerdata.net/electricity-domestic-consumption-data-by-region.html>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

NASCIMENTO, Lucas Rafael do. **A avaliação de longo prazo de um sistema fotovoltaico integrado à edificação urbana e conectado à rede elétrica pública**. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

NIEDZIALKOSKI, Rosana Krauss. **Desempenho de painéis solares mono e policristalinos em um sistema de bombeamento de água**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, São José dos Campos - SP, INPE 2006.

PROGRAMA DO MEIO AMBIENTE DAS ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS (Org.). **Projeto Swera**. Disponível em: <<https://maps.nrel.gov/swera/>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis: UFSC/LABSOLAR, 2004. 118 p.

SCHEIDT, Paula. **Guia de Microgeradores Fotovoltaicos**. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/guiaFV/>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

SEBRAE. **Cadeia de Valor da Energia Solar Fotovoltaica**. SEBRAE, 2016. Color.

SOLAR BRASIL. **Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos**. Disponível em: <<http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/77-energia-solar-fotovoltaica-conceitos>>. Acesso em: 22 jun. 2017.

TAVARES, Wagner Marques et al. **Energias Renováveis riqueza sustentável ao alcance da sociedade**. Brasília: edições Câmara, 2012.

**Uso de Energia Solar Fotovoltaica no Projeto de Arquitetura**. Ricardo Rütther. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=lhlpOTx4l2M&t=228s>. Acesso em junho de 2017.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015. 224 p.

## ANEXO A – Autorização do proprietário

### Autorização do proprietário

Eu \_\_\_\_\_, CPF: \_\_\_\_\_

e RG: \_\_\_\_\_ autorizo Rafael Angelo Chitolina,

CPF: 067.327.349-03, RG: 3892790-0 a efetuar uma visita técnica na minha residência

particular. Também autorizo a utilização desses dados, imagens e informações em um Estudo

de Caso para o Trabalho de Conclusão de Curso do graduando.

Florianópolis, ( \_\_ / \_\_ / \_\_ ).

\_\_\_\_\_  
Proprietário

## ANEXO B – Checklist de visita técnica – Residência 2

ANEXO B	Check list de visita técnica - Residência 2	Situação
<u>Aprovação</u>	<b>Assinatura Proprietário (Documento)</b>	
Equipamentos	Câmera fotográfica	ok
	Trena	ok
	Bússola	app celular
	Prancheta	ok
	Notbook	ok
	Canetas	ok
	GPS	app celular
Imagens	Padrão de entrada	ok
	Telhado - Várias	ok
	Quadro Geral	ok
	Quadro Geral	ok
	Disjuntores (A)	ok
	Árvores	ok
	Chaminé	ok
	Caibros	ok
	Foto Bússola com a orientação do local	ok
	Fotos da casa, várias direções	ok
	Cabos indo do Padrão para o QG	ok
	Padrão de passagem de cabeamento da casa	subterr.
Dimensões	Largura do telhado	metros
	Altura do telhado	metros
	Inclinação dos telhado	app celular
	Árvores	metros
	Altura da chaminé	metros
	Espaço entre caibros	metros
	Fazer Esboço Completo	ok
	Distância dos módulos até Inversor e até QG	metros
	Coordenadas do local	Google Earth
<hr style="width: 20%; margin-left: 0;"/> RESPONSÁVEL PELA UC		

## ANEXO C – Datasheet do módulo fotovoltaico

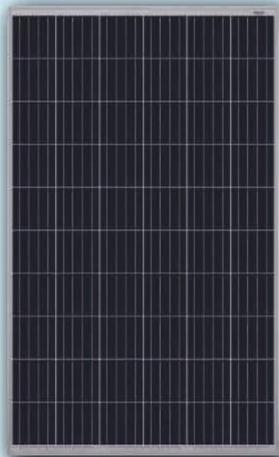
JA SOLAR

# JAP6(K)

-60/255-275/4BB

F 35-35

MULTICRYSTALLINE SILICON MODULE



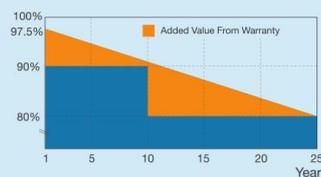
### JA Solar Holdings Co., Ltd.

JA Solar Holdings Co., Ltd. is a world-leading manufacturer of high-performance photovoltaic products that convert sunlight into electricity for residential, commercial, and utility-scale power generation. The company was founded on May 18, 2005, and was publicly listed on NASDAQ on February 7, 2007. JA Solar is one of the world's largest producers of solar cells and modules. Its standard and high-efficiency product offerings are among the most powerful and cost-effective in the industry.

Address: Building No.8, Nuode Center, Automobile Museum East Road, Fengtai District, Beijing  
 Tel: +86 (10) 63611888  
 Fax: +86 (10) 63611999  
 Email: sales@jasolar.com market@jasolar.com

### Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty



www.jasolar.com

### Key Features



JA 4BB design module reduce cell series resistance and stress between cell interconnectors improves module reliability and module conversion efficiency



High output, 16.51% highest conversion efficiency



Designed for DC IEC 1000V applications



Anti-reflective and anti-soiling surface reduces power loss from dirt and dust



Outstanding performance in low-light irradiance environments



Excellent mechanical load resistance: Certified to withstand high wind loads (2400Pa) and snow loads (5400Pa)



High salt and ammonia resistance certified by TÜV NORD

### Reliable Quality

- Positive power tolerance: 0~+5W
- 100% EL double-inspection ensures modules are defects free
- Modules binned by current to improve system performance
- Potential Induced Degradation (PID) Resistant

### Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL1703, CEC Listed, MCS and CE
- ISO 9001: 2008: Quality management systems
- ISO 14001: 2004: Environmental management systems
- BS OHSAS 18001: 2007: Occupational health and safety management systems
- Environmental policy: The first solar company in China to complete Intertek's carbon footprint evaluation program and receive green leaf mark verification for our products

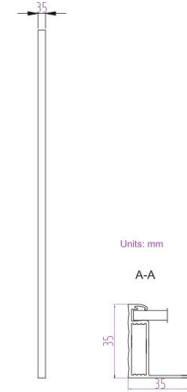
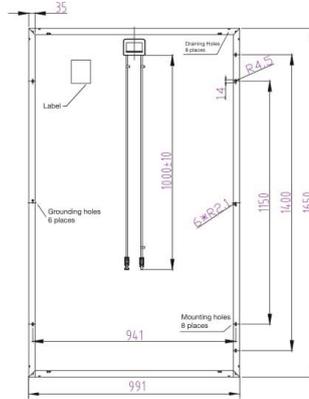
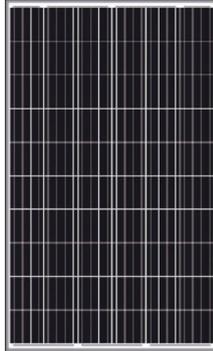


Specifications subject to technical changes and tests. JA Solar reserves the right of final interpretation.

# JAP6(K) -60/255-275/4BB

## Engineering Drawings

### F 35-35



Units: mm

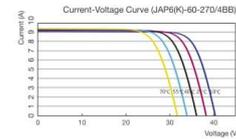
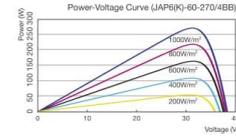
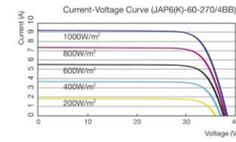
A-A

MECHANICAL PARAMETERS	
Cell (mm)	Poly 156.75x156.75
Weight (kg)	18 (approx)
Dimensions (LxWxH) (mm)	1650x991x35
Cable Cross Section Size (mm <sup>2</sup> )	4
No. of Cells and Connections	60 (6x10)
Junction Box	IP67, 3 diodes
Connector	MC4 Compatible
Packaging Configuration	30 Per Pallet

WORKING CONDITIONS	
Maximum System Voltage	DC 1000V (IEC)
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse	15A
Maximum Static Load, Front (e.g., snow and wind)	5400Pa (112 lb/ft <sup>2</sup> )
Maximum Static Load, Back (e.g., wind)	2400Pa (50 lb/ft <sup>2</sup> )
NOCT	45±2°C
Application Class	Class A

ELECTRICAL PARAMETERS					
TYPE	JAP6(K)-60-255/4BB	JAP6(K)-60-260/4BB	JAP6(K)-60-265/4BB	JAP6(K)-60-270/4BB	JAP6(K)-60-275/4BB
Rated Maximum Power at STC (W)	255	260	265	270	275
Open Circuit Voltage (Voc/V)	37.51	37.74	37.95	38.17	38.38
Maximum Power Voltage (Vmp/V)	30.49	30.71	30.92	31.13	31.34
Short Circuit Current (Isc/A)	8.93	9.04	9.11	9.18	9.29
Maximum Power Current (Imp/A)	8.36	8.47	8.57	8.67	8.77
Module Efficiency [%]	15.59	15.90	16.21	16.51	16.82
Power Tolerance (W)	-0~+5W				
Temperature Coefficient of Isc (αIsc)	+0.058%/°C				
Temperature Coefficient of Voc (βVoc)	-0.330%/°C				
Temperature Coefficient of Pmax (γPmp)	-0.410%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , Cell Temperature 25°C, Air Mass 1.5				

### I-V CURVE



NOCT					
TYPE	JAP6(K)-60-255/4BB	JAP6(K)-60-260/4BB	JAP6(K)-60-265/4BB	JAP6(K)-60-270/4BB	JAP6(K)-60-275/4BB
Max Power (Pmax) [W]	185.13	188.76	192.39	196.02	199.65
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	34.44	34.60	34.84	35.15	35.46
Max Power Voltage (Vmp) [V]	27.85	28.07	28.29	28.49	28.68
Short Circuit Current (Isc) [A]	7.06	7.10	7.13	7.17	7.23
Max Power Current (Imp) [A]	6.65	6.72	6.80	6.88	6.96
Condition	Under Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m <sup>2</sup> , spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s				

Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

## ANEXO D – Datasheet do inversor



SOLAR INVERTERS

### ABB string inverters

PVI-3.0/3.6/4.2-TL-OUTD

3.6 to 4.2 kW



01

—  
01  
PVI-3.0/3.6/4.2-TL-OUTD  
outdoor string inverter

The dual input section processes two strings with independent Maximum Power Point Tracking (MPPT). This is particularly useful for rooftop installations with two different orientations (e.g. East and West). The high speed MPPT offers real-time power tracking and improved energy harvesting.

#### Efficiency of up to 96.8%

The transformerless (TL) operation gives the highest efficiency of up to 96.8%. The wide input voltage range makes the inverter suitable for low power installations with reduced string size.

This rugged outdoor inverter has been designed as a completely sealed unit to withstand the harshest environmental conditions.

Our most common residential inverter is the ideal size for an average-sized family home.

ABB's UNO family of single-phase string inverters complements the typical number of rooftop solar panels, allowing home owners to get the most efficient energy harvesting for the size of the property.

#### Highlights

- Single-phase output
- Transformerless topology
- Each inverter is set on specific grid codes which can be selected in the field
- Wide input voltage range
- High speed and precise MPPT algorithm for real time power tracking and improved energy harvesting
- Dual input section with independent MPPT, allows optimal energy harvesting from two sub-arrays
- Flat efficiency curves ensure high efficiency at all output levels ensuring consistent and stable performance across the entire input voltage and output power range
- Integrated DC disconnect switch in compliance with international standards (-S version)
- Natural convection cooling for maximum reliability
- Outdoor enclosure for unrestricted use under any environmental conditions
- RS-485 communication interface (for connection to laptop or datalogger)

PRODUCT FLYER FOR PVI-3.0/3.6/4.2-TL-OUTD ABB SOLAR INVERTERS

## ABB string inverters

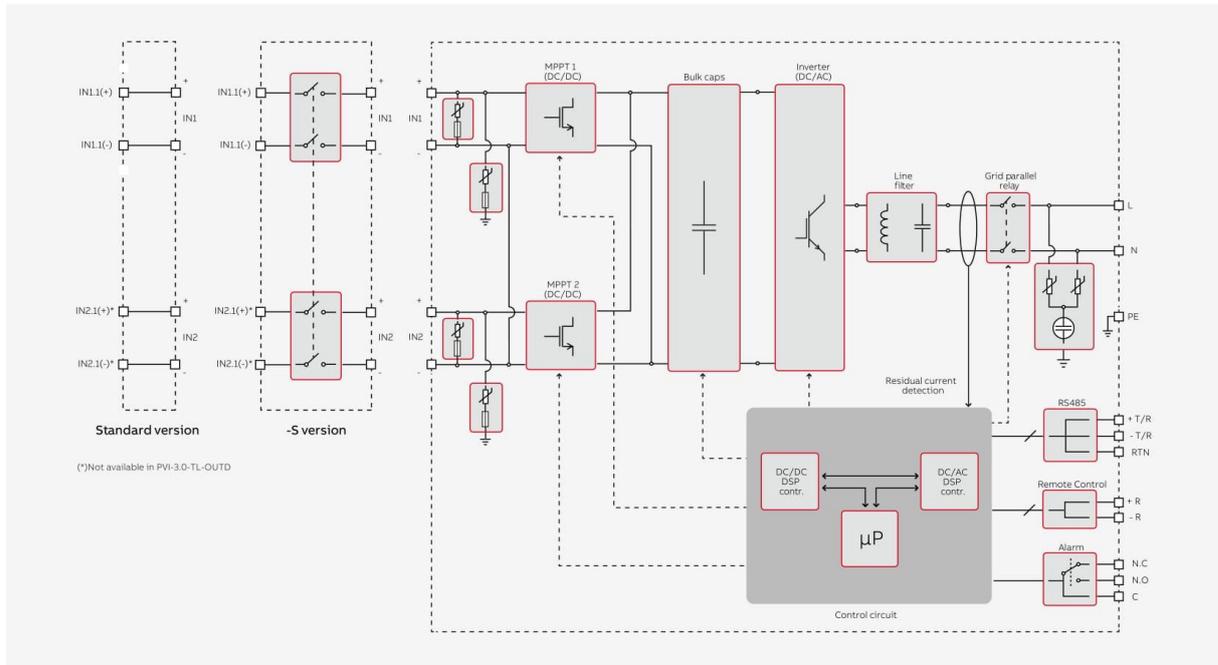
### PVI-3.0/3.6/4.2-TL-OUTD

#### 3.6 to 4.2 kW



#### Technical data and types

Type code	PVI-3.0-TL-OUTD	PVI-3.6-TL-OUTD	PVI-4.2-TL-OUTD
<b>Input side</b>			
Absolute maximum DC input voltage ( $V_{max,abs}$ )	600 V		
Start-up DC input voltage ( $V_{start}$ )	200 V (adj. 120...350 V)		
Operating DC input voltage range ( $V_{dcmín...V_{dcmax}}$ )	0.7 x $V_{start}$ ...580 V (min 90 V)		
Rated DC input voltage ( $V_{dcr}$ )	360 V		
Rated DC input power ( $P_{dcr}$ )	3120 W	3750 W	4375 W
Number of independent MPPT	2		
Maximum DC input power for each MPPT ( $P_{MPPTmax}$ )	2000 W	3000 W	3000 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at $P_{dcr}$	160...530 V	120...530 V	140...530 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from max to null [ $530 V \leq V_{MPPT} \leq 580 V$ ]		
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at $P_{dcr}$ , max unbalance example	2000 W [ $200 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ] the other channel: $P_{dcr} = 2000 W$ [ $112 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ]	3000 W [ $190 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ] the other channel: $P_{dcr} = 3000 W$ [ $90 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ]	
Maximum DC input current ( $I_{dcr,max}$ ) / for each MPPT ( $I_{MPPTmax}$ )	20.0 A / 10.0 A	32.0 A / 16.0 A	
Maximum input short circuit current for each MPPT	12.5 A	20.0 A	
Number of DC input pairs for each MPPT	1	1	1
DC connection type	PV quick fit connector <sup>3)</sup>		
<b>Input protection</b>			
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source		
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	Yes		
Photovoltaic array isolation control	According to local standard		
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	25 A / 600 V		
<b>Output side</b>			
AC grid connection type	Single-phase		
Rated AC power ( $P_{acr} @ \cos\phi=1$ )	3000 W	3600 W	4200 W
Rated AC power ( $P_{acr} @ \cos\phi=\pm 0.9$ )	3000 W	3600 W	4200 W
Maximum AC output power ( $P_{ac,max} @ \cos\phi=1$ )	3300 W <sup>5)</sup>	4000 W <sup>6)</sup>	4600 W <sup>7)</sup>
Maximum apparent power ( $S_{max}$ )	3330 VA	4000 VA	4670 VA
Rated AC grid voltage ( $V_{acr}$ )	230 V		
AC voltage range	180...264 V <sup>1)</sup>		
Maximum AC output current ( $I_{acr,max}$ )	14.5 A	17.2 A <sup>2)</sup>	20.0 A
Contributory fault current	16.0 A	19.0 A	22.0 A
Rated output frequency (f)	50 Hz / 60 Hz		
Output frequency range ( $f_{min}...f_{max}$ )	47...53 Hz / 57...63 Hz <sup>4)</sup>		
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. 0.8 inductive to 0.8 capacitive		
Total current harmonic distortion	< 3.5%		
AC connection type	Screw terminal block, cable gland M25		
<b>Output protection</b>			
Anti-islanding protection	According to local standard		
Maximum external AC overcurrent protection	20.0 A	25.0 A	25.0 A
Output overvoltage protection - varistor	2 (L - N / L - PE)		
<b>Operating performance</b>			
Maximum efficiency ( $\eta_{max}$ )	96.8%		
Weighted efficiency (EURO/CEC)	96.0% / -		
Feed in power threshold	10.0 W		
Night consumption	< 0.4 W		

**PRODUCT FLYER FOR PVI-3.0/3.6/4.2-TL-OUTD ABB SOLAR INVERTERS**
**ABB PVI-3.0/3.6/4.2-TL-OUTD string inverter block diagram**

**Technical data and types**

Type code	PVI-3.0-TL-OUTD	PVI-3.6-TL-OUTD	PVI-4.2-TL-OUTD
<b>Communication</b>			
Wired local monitoring	PVI-USB-RS232_485 (opt.)		
Remote monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.), VSN700 Data Logger (opt.)		
Wireless local monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.)		
User interface	16 characters x 2 lines LCD display		
<b>Environmental</b>			
Ambient temperature range	-25...+60°C / -13...140°F with derating above 50°C/122°F	-25...+60°C / -13...140°F with derating above 55°C/131°F	-25...+60°C / -13...140°F with derating above 50°C/122°F
Relative humidity	0...100% condensing		
Sound pressure level, typical	50 dBA @ 1 m		
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft		
<b>Physical</b>			
Environmental protection rating	IP65		
Cooling	Natural		
Dimension (H x W x D)	618 mm x 325 mm x 222 mm / 24.3" x 12.8" x 8.7"		
Weight	17.5 kg / 38.5 lbs		
Mounting system	Wall bracket		
<b>Safety</b>			
Isolation level	Transformerless		
Marking	CE (50 Hz only), RCM		
Safety and EMC standard	EN 50178, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2, AS/NZS 3100, EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12		
Grid standard (check your sales channel for availability)	CEI 0-21, DIN V VDE V 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G83/2, G59/3, EN 50438 (not for all national appendices), RD 1699, RD 413, ITC-BT-40, AS 4777, IEC 61727, IEC 62116		
<b>Available products variants</b>			
Standard	PVI-3.0-TL-OUTD	PVI-3.6-TL-OUTD	PVI-4.2-TL-OUTD
With DC switch	PVI-3.0-TL-OUTD-S	PVI-3.6-TL-OUTD-S	PVI-4.2-TL-OUTD-S

<sup>1)</sup> The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard

<sup>2)</sup> For UK G83/2 setting, maximum output current limited to 16A up to a maximum output power of 3.68 kW

<sup>3)</sup> Please refer to the document "String inverters – Product manual appendix" available at [www.abb.com/solarinverters](http://www.abb.com/solarinverters) for information on the quick-fit connector brand and model used in the inverter

<sup>4)</sup> The Frequency range may vary depending on specific country grid standard

<sup>5)</sup> Limited to 3000 W for Germany

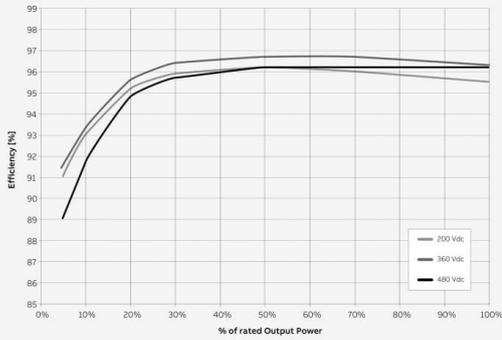
<sup>6)</sup> Limited to 3600 W for Germany

<sup>7)</sup> Limited to 4200 W for Germany

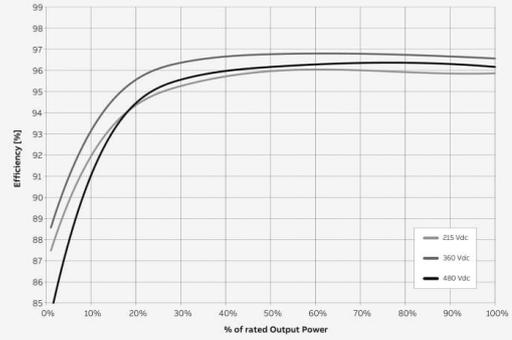
**Remark. Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product**



Efficiency curves of PVI-3.0-TL-OUTD



Efficiency curves of PVI-4.2-TL-OUTD



For more information please contact your local ABB representative or visit:

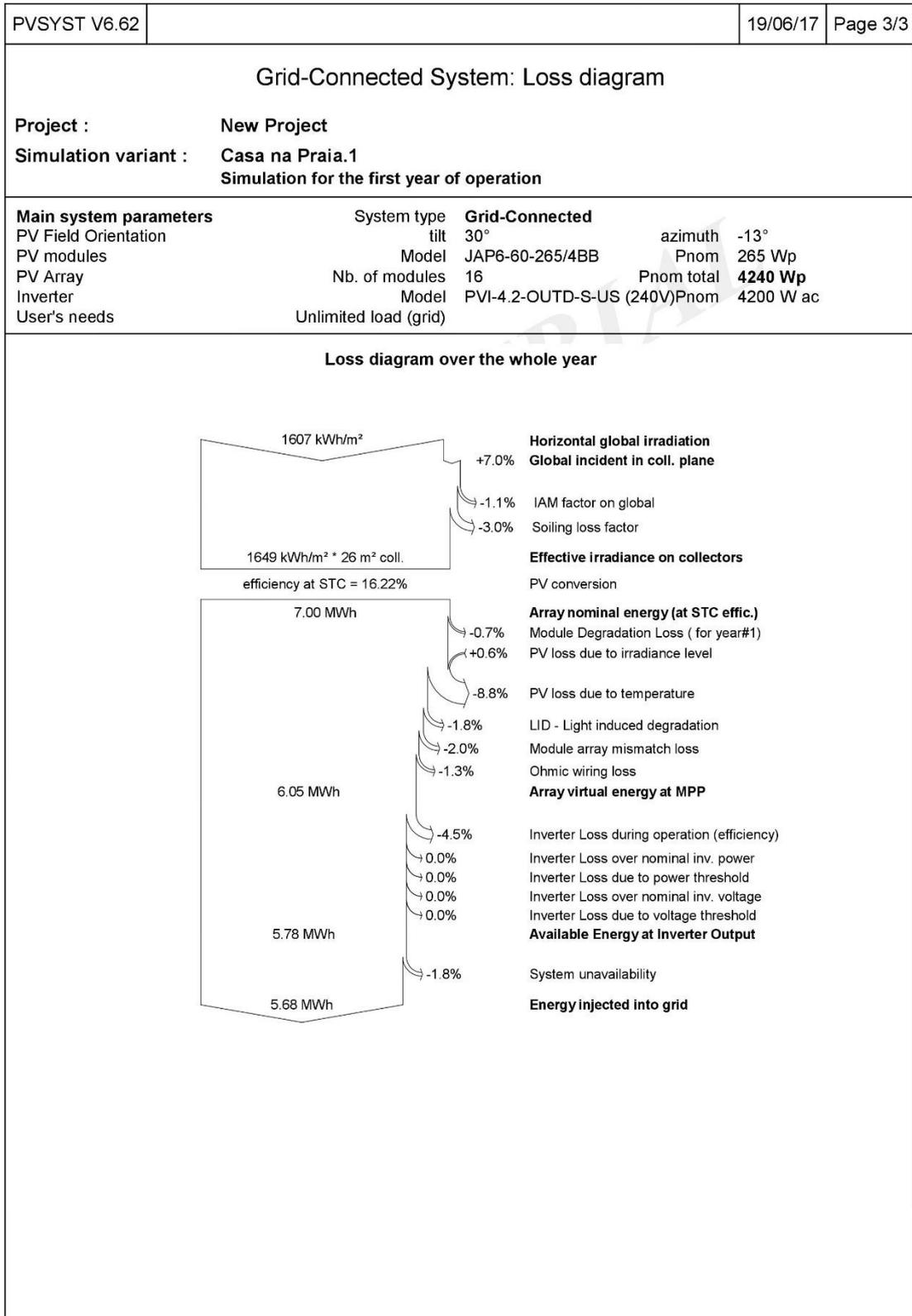
[www.abb.com/solarinverters](http://www.abb.com/solarinverters)  
[www.abb.com](http://www.abb.com)

We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB AG does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents – in whole or in parts – is forbidden without prior written consent of ABB AG. Copyright © 2017 ABB. All rights reserved.



## ANEXO E – Simulação fotovoltaica



## ANEXO F – Requerimento para solicitação de acesso



### ANEXO – F

#### Requerimento para Solicitação de Acesso

Sete de Junho de 2017.

Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. - Celesc  
Agência Regional de Florianópolis  
Divisão Comercial  
Florianópolis - SC

Prezado Senhor,

Vimos formalizar a Solicitação de Acesso ao Sistema Elétrico da Celesc Distribuição, na modalidade de micro/mini gerador de energia elétrica, participante do SCE – Sistema de Compensação de Energia Elétrica, nos termos da Resolução ANEEL n° 687 de 2015.

#### Dados da instalação:

- Titular da Unidade Consumidora: Informação pessoal.
- Telefone/Email de Contato: Informação pessoal.
- Endereço da Unidade Consumidora: Informação pessoal.
- Número da Unidade Consumidora (\*): Informação pessoal.
- Segunda Unidade Consumidora para Compensação de Energia:  
Obs.: Devem possuir mesmo CPF.
- Tipo de Gerador: Solar
- Potência Instalada (kW): 4,24 kWp
- Empresa Instaladora: UFSC – Estudo de Caso, Graduação.
- Responsável Técnico: Rafael Chitolina – (48) 9 9691 0496  
rafaelchitolina@hotmail.com

Atenciosamente,

Nome do Requerente: Informação pessoal.

Assinatura: \_\_\_\_\_

PADRONIZAÇÃO

APROVAÇÃO

ELABORAÇÃO

VISTO

## ANEXO G – Requerimento para solicitação de vistoria



### ANEXO – G

#### Requerimento para Solicitação de Vistoria

Sete de Junho de 2017.

À Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. - Celesc  
Agência Regional de Florianópolis  
Divisão Comercial  
Florianópolis - SC

Prezado Senhor,

Vimos solicitar à Celesc a realização da vistoria nas instalações, visando a conexão na modalidade de micro/mini gerador de energia elétrica, participante do SCE – Sistema de Compensação de Energia Elétrica, nos termos da Resolução ANEEL n° 687 de 2015.

#### **Dados da instalação:**

- Titular da Unidade Consumidora: Informação pessoal.
- Telefone/Email de Contato: (48) 9 9691 0496 / rafaechitolina@hotmail.com
- Endereço da Unidade Consumidora: Informação pessoal.

Atenciosamente,

Nome do Requerente: Informação pessoal.

Assinatura: \_\_\_\_\_

PADRONIZAÇÃO

APROVAÇÃO

ELABORAÇÃO

VISTO