

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Fernando Cousseau

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA PROPOSIÇÃO DE UMA  
COOPERATIVA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA SERRA NORDESTE  
DO RIO GRANDE DO SUL**

Panambi, RS  
2017

**Fernando Cousseau**

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA PROPOSIÇÃO DE UMA COOPERATIVA  
SOLAR FOTOVOLTAICA PARA SERRA NORDESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Especialização Eficiência Energética Aplicada Aos Processos Produtivos (Ead), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética de Processos**.

Orientador: Dra. Ísis Portolan dos Santos

Panambi, RS  
2017

**Fernando Cousseau**

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA PROPOSIÇÃO DE UMA COOPERATIVA  
SOLAR FOTOVOLTAICA PARA SERRA NORDESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Especialização Eficiência Energética Aplicada Aos Processos Produtivos (Ead), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética de Processos**.

**Aprovado em 28 de julho de 2017.**

---

**Ademar Michels, Dr. (UFSM)**  
(Presidente da banca / Co-orientador)

---

**Cristiano José Scheuer, Dr. (UFSM)**  
1º Avaliador

---

**Claudio Roberto Losekann, Dr. (UFSM)**  
2º Avaliador

---

**Geomar Machado Martins, Dr. (UFSM)**  
Suplente

Panambi, RS  
2017

## RESUMO

### **ESTUDO DE VIABILIDADE PARA PROPOSIÇÃO DE UMA COOPERATIVA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA SERRA NORDESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

AUTOR: Fernando Cousseau

ORIENTADOR: Dra. Ísis Portolan dos Santos

A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis é uma solução de eficiência energética para atender a crescente demanda por energia de forma sustentável e diversificar a matriz energética Brasileira. Dentro desse contexto a energia fotovoltaica vem se destacando nos últimos anos por sua modularidade e a instalação que não gera gases de efeito estufa e não causa novos impactos ambientais, por se tratar na maioria das vezes de instalações em áreas urbanas já impactadas pelo homem. O presente trabalho refere-se ao estudo de implantação, dimensionamento e viabilidade econômica de uma cooperativa solar fotovoltaica para geração de energia entre vinte e seis cooperados da serra nordeste do Rio Grande do Sul. Foi elaborado um plano de instituição para a cooperativa em questão e então coletada as demandas individuais desses interessados por meio da fatura de energia elétrica. Após a tabulação dos dados e estabelecidos a divisão energética de cada sócio foi realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico que resultou em uma minigeração, também foi estudado os demais parâmetros que englobam o projeto como área de implantação, obras civis, rede elétrica e sombreamento. Nos resultados, foi analisada a eficiência e a estimativa de geração energética da cooperativa e para cada cooperado, na qual implica em um estudo de viabilidade financeira onde cada sócio, com um sistema de potência diferente submeteu-se a investimentos em R\$/Wp distintos. O trabalho foi finalizado com uma análise de investimento do capital ao longo de vinte anos para a cooperativa de forma geral, que resultou em um tempo de retorno médio do investimento de 6,5 anos. O tempo de retorno de investimento para cada cooperado individual sofreu variações de acordo com o percentual de geração de energia e capital investido respectivamente.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Cooperativa Solar. Sistema Fotovoltaico.

## ABSTRACT

### VIABILITY STUDY FOR THE PROPOSITION OF A SOLAR PHOTOVOLTAIC COOPERATIVE FOR NORTHEAST SIERRA OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Fernando Cousseau  
ADVISOR: Dra. Ísis Portolan dos Santos

The generation of electricity from renewable sources is an energy efficiency solution to meet the growing demand for energy in a sustainable way and to diversify the Brazilian energy matrix. Within this context photovoltaic energy has been outstanding in recent years for its modularity and installation that does not generate greenhouse gases and does not cause new environmental impacts, since most of them are installations in urban areas already impacted by man. The present work refers to the study of the implantation, dimensioning and economical viability of a photovoltaic solar cooperative for the generation of energy among twenty-six cooperatives of the northeast sierra of Rio Grande do Sul. A plan of institution for the cooperative in question was elaborated and then collected the individual demands of those interested through the electric bill. After the data were tabulated and the energy division of each partner was established, the sizing of the photovoltaic system was carried out, which resulted in a minigeration and studied the other parameters that encompass the project as an implantation area, civil works and electricity grid, shading. In the results, it was analyzed the efficiency and the estimated energy generation of the cooperative and for each cooperative, in which it implies in a financial feasibility study where each partner, with a different power system, underwent investments in different R\$ / Wp . Teh work was finalized with an analysis of the return on capital investment over twenty years for the cooperative in general which resulted in 6.5 years. The time of return of investment for each cooperative that has undergone variations according to the percentage of power generation and invested capital respectively.

**Keywords:** Energy Efficiency. Cooperative Solar. Photovoltaic System.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Irradiação Extraterrestre .....	15
FIGURA 2 – Diagrama de um SFCR.....	16
FIGURA 3 – Diagrama esquemático de uma central fotovoltaica.....	17
FIGURA 4 - Imagem aérea da cooperativa de energia solar fotovoltaica Coober.....	18
FIGURA 5 - Linha do tempo da implantação da cooperativa fotovoltaica Coober .....	18
FIGURA 6 - Resultados iniciais da cooperativa solar fotovoltaica Coober.....	19
FIGURA 7 - Vista dos painéis da cooperativa <i>La Geres</i> a com seguidor de 2 eixos.....	20
FIGURA 8 - Vista norte da cooperativa solar da Creluz.....	21
FIGURA 9 - Módulo fotovoltaico de silício multicristalino .....	23
FIGURA 10 - Curvas <i>I - V</i> , módulos associados em série e paralelo.....	24
FIGURA 11 - Instalação fotovoltaica com inversores multistring.....	25
FIGURA 12 - Fluxograma com passos da implantação da cooperativa solar fotovolta .....	26
FIGURA 13 - Futura área de instalação da cooperativa solar fotovoltaica.....	31
FIGURA 14 - Irradiação global horizontal anual em kWh/m <sup>2</sup> .dia para área da cooperativa ...	37
FIGURA 15 - Gráfico de comparação da irradiação horizontal e inclinada para área da cooperativa solar.....	38
FIGURA 16 - Fator de espaçamento <i>versus</i> latitude do local da instalação .....	41
FIGURA 17 - Simulação de perda de eficiência anual por sombras entre fileiras da cooperativa solar.....	43
FIGURA 18 - Planta ilustrativa da cooperativa solar com disposição dos painéis .....	45
FIGURA 19 - Parâmetros de entrada C.C. do inversor <i>Fronius</i> na configuração adotada .....	46
FIGURA 20 - Eficiência da configuração dimensionada no inversor fotovoltaico .....	46
FIGURA 21 - Unifilar da planta fotovoltaica com apenas um inversor e suas proteções.....	47
FIGURA 22 - Gráfico de estimativa de geração anual média em kWh da cooperativa solar ..	49
FIGURA 23 - Gráfico com estimativa de geração prevista <i>versus</i> a demanda de consumo ....	49
FIGURA 24 - Gráfico com geração média mensal para cada cooperado em kWh/mês .....	51
FIGURA 25 - Gráfico com geração mensal ao longo do ano para cada cooperado em kWh/mês.....	51
FIGURA 26 - Curva de degradação da eficiência do sistema na geração fotovoltaica em kWh/ano.....	52
FIGURA 27 - Gráfico do valor R\$/Wp em função da potência respectiva adquirida.....	56

FIGURA 28 - Gráfico do investimento dos cooperados em função da geração média mensal	56
FIGURA 29 - Gráfico com fluxo de caixa acumulado total para o projeto unificado .....	59
FIGURA 30 - Dados de irradiação solar média diária em kWh/m <sup>2</sup> .dia do site do SWERA....	63
FIGURA 31 - Relatório técnico do LABSOL - UFRGS 117/2015. Avaliação do módulo fotovoltaico <i>Canadian Solar CS6X - 320P</i> .....	64
FIGURA 32 - Curva de eficiência do inversor e ponto de operação da tensão MPPT do FDI	64
FIGURA 33 - Vista noroeste da planta da cooperativa solar com a unidade de conversão.....	65
FIGURA 34 - Diagrama elétrico unifilar da planta da cooperativa solar fotovoltaica.....	66
FIGURA 35 - Unifilar da planta fotovoltaica com apenas um inversor e suas proteções.....	67

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Tecnologias FV: Eficiência, vantagens e desvantagens .....	22
Tabela 2 – Valores das médias de consumo mensal de cada cooperado .....	34
Tabela 3 - Consumo mensal total em kWh/mês somados de todos os cooperados .....	35
Tabela 4 – Dados de irradiação do local proposto para a cooperativa - SWERA .....	37
Tabela 5 - Dados de irradiação corrigidos no local proposto para a cooperativa .....	39
Tabela 6 - Planilha de dimensionando do sistema fotovoltaico e da energia mensal gerada ...	40
Tabela 7 - Dados nominais de catálogo de módulo CS6X-320P sob condições STC .....	40
Tabela 8 - Especificações do inversor <i>Fronius</i> ECO 27.0-3-S selecionado .....	43
Tabela 9 - Energia do gerador fotovoltaico (rede C.A.) pelo PV*Sol e planilha do autor .....	48
Tabela 10 - Energia média mensal estimada e respectiva para cada cooperado .....	50
Tabela 11 - Custos totais estimados e separados para implantação da cooperativa solar .....	53
Tabela 12 - Grupo dos custos em comum rateados pelos 26 cooperados .....	54
Tabela 13 - Investimento, valor do Wp, potência de pico e retorno respectivo de cada cooperado .....	55
Tabela 14 - Análise financeira para 20 anos da planta fotovoltaica unificada .....	57
Tabela 15 - Definição da inclinação com máxima média diária de irradiação utilizando o <i>software</i> Radiasol .....	63
Tabela 16 - Consumo mensal em kWh/mês respectiva para cada cooperado .....	68
Tabela 17 - Energia mensal gerada em kWh/mês estimada para cada cooperado .....	69
Quadro 1 - Fluxo de caixa unificado para o projeto em 20 anos .....	58



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BIPV – *Building Integrated Photovoltaic* (Sistema Fotovoltaico Integrado a Edificações)

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

DPS – Dispositivo de Proteção contra Surtos de Tensão

EVA – Acetato de Vinil Etileno

FDI – Fator de Dimensionamento dos Inversores

FV – Fotovoltaico

INMETRO – Instituto nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Isc – Corrente de curto circuito

kVA – kilo-Volt-Ampere (Potência Aparente)

kWh – kilo-Watt-hora

LABSOL – Laboratório de Energia Solar

MPPT – *Maximum Power Point Tracking* – (Rastreador do Ponto de Máxima Potência)

NOCT – Temperatura da célula em Operação Normal

PEE – Programa de Eficiência Energética

P<sub>máx</sub> – Potência Máxima

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RGE – Rio Grande Energia S.A.

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede

SFV – Sistema Fotovoltaico

SPDA – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

STC – *Standard Test Conditions* – (Condições de Teste Padrão)

SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment* – (Levantamento de Recursos Energéticos Solares e Eólicos)

TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

UC – Unidade Consumidora

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Voc – Tensão máxima de circuito aberto

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS .....	12
<b>1.1.1 Objetivo geral</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>13</b>
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
1.3 ESCOPO E RESTRIÇÕES .....	14
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 RADIAÇÃO SOLAR.....	15
<b>2.1.1 Tipos de Radiação</b> .....	<b>16</b>
2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	16
<b>2.2.1 Sistemas Conectados à Rede</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.2 Cooperativa Solar</b> .....	<b>18</b>
2.3 COMPONENTES DO SISTEMA.....	22
<b>2.3.1 Módulos Fotovoltaicos</b> .....	<b>22</b>
2.3.1.1 <i>Módulo Monocristalino</i> .....	23
2.3.1.2 <i>Módulo Multicristalino</i> .....	23
<b>2.3.2 Associação de Módulos Formando um Pannel</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3.3 Inversor de Frequência</b> .....	<b>25</b>
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
3.1 PLANO DE ELABORAÇÃO DA COOPERATIVA .....	27
3.2 ELABORAÇÃO DA COOPERATIVA.....	28
<b>3.2.1 Associados</b> .....	<b>28</b>
3.2.1.1 <i>Pessoal Física</i> .....	<b>28</b>
3.2.1.2 <i>Pessoa Jurídica</i> .....	29
3.3 IMPLEMENTAÇÃO INSTITUCIONAL.....	29
3.4 NORMAS DO SETOR .....	31
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>32</b>
4.1 COOPERADOS .....	32
4.2 ANÁLISES DE ÁREA .....	32
4.3 DIMENSIONAMENTO E CAPACIDADE DE GERAÇÃO.....	33
<b>4.3.1 Divisão do dimensionamento por cooperado</b> .....	<b>34</b>
<b>4.3.2 Definição dos parâmetros para projeto</b> .....	<b>36</b>

<b>4.3.3 Avaliação da irradiação solar na área da cooperativa.....</b>	<b>36</b>
<b>4.3.4 Dimensionamento Fotovoltaico .....</b>	<b>39</b>
4.3.4.1 Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico .....	40
4.3.4.2 Dimensionamento do Inversor .....	43
<b>4.3.5 Projeto elétrico.....</b>	<b>47</b>
4.4 PRODUÇÃO ENERGÉTICA .....	48
4.5 ANÁLISES FINANCEIRAS .....	52
4.5.1 Retorno do Investimento ( <i>Payback</i> ).....	57
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE E .....</b>	<b>69</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A radiação solar que incide na Terra anualmente é equivalente a dez mil vezes a energia utilizada e consumida por todos habitantes do planeta no mesmo período, representando uma alternativa energética promissora.

São consideradas fontes de energia renováveis aquelas em que os recursos naturais utilizados são oriundos de fontes inesgotáveis com capacidade de se regenerar, como exemplo: energia solar, energia geotérmica, energia mareomotriz, energia hidráulica, energia de biomassa, e energia eólica. No âmbito mundial de energia as fontes de energia renováveis como solar e eólica embora amplamente conhecidas ainda não alcançaram patamares desejados pois mesmo com o desenvolvimento de novas tecnologias seus custos ainda são elevados se comparados a fontes de energia convencionais como carvão.

Para o amplo campo da Eficiência Energética, o desenvolvimento e a propagação da filosofia da transformação da energia solar em energia elétrica através do processo fotovoltaico se enquadram em um patamar muito plausível, onde o processo se torna viável quando avaliado seu ciclo completo de vida através da cadeia desde a extração da matéria prima para a fabricação dos elementos que constituem os componentes do sistema, principalmente destacando os módulos fotovoltaicos, até o balanço da energia gerada ao longo de toda sua vida estimada, comparada com a energia e impactos utilizados na produção dos elementos que integram todo o sistema e empreendimento.

Atrelado a filosofia mencionada anteriormente, em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), criou a normativa nº 482/2012, alterada 687/2015, que regulamenta a conexão com a rede elétrica da distribuidora de energia para micro e minigeradores. Após a criação deste regulamento, criou-se um caminho de viabilidade econômica para a geração distribuída.

A geração distribuída (GD) representa a geração de energia elétrica de maneira descentralizada, mais próxima ao consumidor, onde microgeração é uma central geradora com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto a minigeração distribuída é a central geradora com potência instalada maior que 75kW e menor que 5 megawatts (MW).

O aprimoramento do Sistema de Compensação de Energia Elétrica feito pela Resolução Normativa 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL permitiu que consumidores constituíssem cooperativas para gerar energia solar fotovoltaica, eólicas e biomassa, entre outras. Entre os modelos de geração distribuída existentes, o presente trabalho destaca a geração compartilhada de energia solar fotovoltaica, na qual, um conjunto de

consumidores, através de um consórcio ou cooperativa, se junta e desenvolve um projeto e instalação de uma unidade de geração em um único ponto, para usarem os créditos em suas devidas unidades consumidores.

O sistema de geração fotovoltaica se tornou uma solução interessante para essas modalidades primeiramente porque é modular, permite a construção de projetos em escalas na faixa de alguns watts até dezenas de megawatts o que favorece investimentos em diversos segmentos sociais. Em uma faixa de geração até 5MWp não necessita de nenhum licenciamento ambiental. Especialistas em meio ambiente acreditam que seja a modalidade que menos impacto ocasionará em seus projetos, pois, se trata de obras realizadas em áreas onde já estão afetadas ou impactadas pela própria população, áreas urbanas.

Tendo em vista a norma regulamentadora, o potencial de radiação solar do estado e a acessibilidade de linhas de transmissão e subestações, um estudo de geração solar fotovoltaica compartilhada através de cooperativa fica atrativo.

Através de outros estudos científicos já realizados, é possível identificar que existem pontos atrativos para instalação de geração fotovoltaica centralizada no Rio Grande do Sul, e entre esses pontos alguns se destacam na serra nordeste gaúcha, por possuir incidência de radiação solar pouco variável e um clima ameno, com temperaturas menores em relação ao norte e nordeste do país, onde o sistema aquece e perde eficiência.

Importante salientar que existem iniciativas vinculadas a políticas de incentivo, de subsídios e desenvolvimento de tecnologias para tornar as fontes de energia renováveis mais acessíveis e competitivas economicamente.

Neste capítulo será expressa a motivação deste trabalho, bem como um modo de aproveitamento de parte da radiação solar para a conversão em energia elétrica interligada ao sistema interligado nacional (SIN).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

A presente monografia tem como objetivo geral desenvolver uma proposta de uma cooperativa de energia solar fotovoltaica para a serra nordeste do Rio Grande do Sul, projeto e o dimensionamento da central fotovoltaica, constituída por empresários de microempresas da região e pessoas físicas que tenham interesse na modalidade.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, estão atrelados a seguir alguns objetivos específicos, fundamentais para o desenvolvimento do projeto:

- a) Análise do contexto e estudo das cooperativas de energia solar de pequeno porte que operam no país e no exterior para gerar energia para micro e pequenas empresas;
- b) Estudo e implementação institucional da cooperativa como: análise, selecionamento e delimitação do público alvo; viabilidade para investir nessa modalidade de geração; recursos para investimento e atratividade dos sócios; retorno financeiro;
- c) Realização de um estudo das premissas que envolvam a elaboração, normas, questões legais e de que forma tramita a cooperativa de energia dentro do setor elétrico após a REN687/2015 da ANEEL;
- d) Avaliação de área, identificação de locais na região propícias para a instalação de uma cooperativa solar. Estimativa da irradiação incidente em superfície inclinada com o auxílio de *software* e mapas Solarimétrico;
- e) Dimensionamento e simulação do sistema conectado a rede com auxílio de *software* para cálculos de quantidade de equipamentos, área, customização do sistema, sombreamento e potência da cooperativa conforme o investimento financeiro e perfil de consumo energético dos sócios;
- f) Simulação da geração de energia elétrica, eficiência energética, análise financeira e retorno financeiro ao longo de determinados anos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O trabalho proposto consiste em uma breve revisão bibliográfica de outras cooperativas e a elaboração de um plano de viabilidade técnica que possa servir de base para empresários de pequenas e médias empresas localizadas na região da serra nordeste do Rio Grande do Sul, que remetam o interesse de investir em energias renováveis na área de solar fotovoltaica na forma de cooperativa ou consórcio, pontualmente na região da serra nordeste do Rio Grande do Sul.

A região da serra gaúcha demanda de grandes quantidades de energia elétrica devido a um elevado índice de indústrias e comércio. Esse estudo tem o intuito de contribuir com o desenvolvimento da região através de uma modalidade de geração de energia eficiente e

renovável, sendo mais uma alternativa entre as demais, para integrar a demanda da carga na matriz elétrica de energia.

### 1.3 ESCOPO E RESTRIÇÕES

As restrições a seguir são aplicadas ao atual trabalho com a finalidade de restringir-se aos objetivos já apresentados:

- a) O estudo institucional se restringirá a referências bibliográficas, algumas adaptações da região e as normas do setor brasileiro e estadual.
- b) Os sócios foram relacionados através de uma pesquisa de interesse já existente através do banco de dados de clientes da empresa Delta Energy Solutions Ltda. O projeto da cooperativa se limitara há um estudo de preposição dessa modalidade de empreendimento na região.
- c) O principal foco do desenvolvimento da preposição é voltado para a parte técnica da cooperativa solar fotovoltaica, assim sendo, dimensionamento e retorno financeiro.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

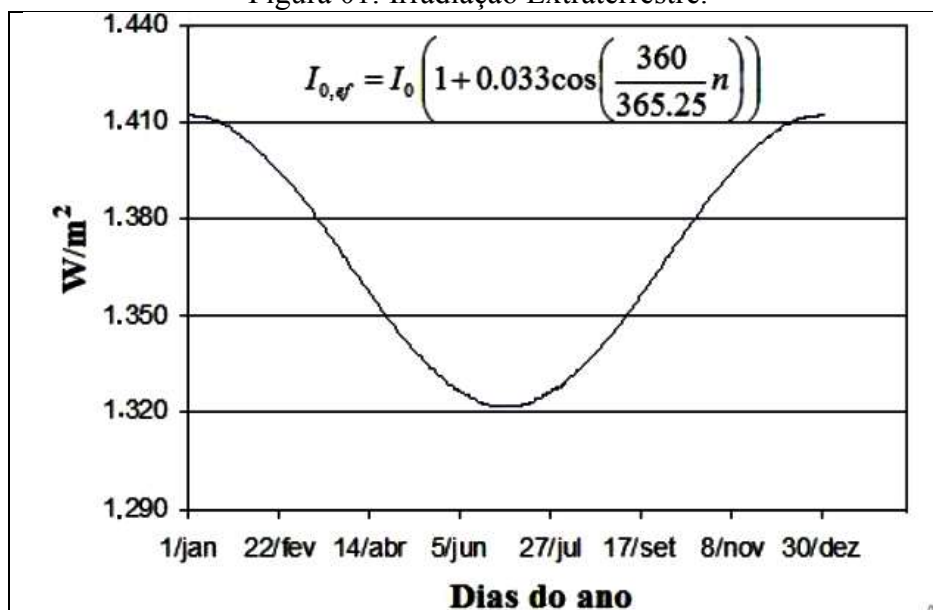
Para o desenvolvimento do projeto foi realizado uma revisão bibliográfica que abrange um estudo específico desse modo de aplicação dessa tecnologia em forma de cooperativas, fazendo um estudo de caso do modelo de organização e forma técnica dessas centrais. A pesquisa abrangeu cooperativas de energia solar fotovoltaica em operação no Brasil e na Europa. O estudo fundamental da radiação solar, células fotovoltaicas, as tecnologias disponíveis atualmente para o sistema de conversão através de inversores solares e a proteção do sistema também fazem parte da revisão.

### 2.1 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é a energia do sol transmitida através de ondas eletromagnéticas. A potência instantânea que chega ao topo da atmosfera, ou seja, a irradiação extraterrestre é  $1367 \text{ W/m}^2$ . Este valor médio é chamado, também, de constante solar, podendo ser medido por um instrumento de medição, o piranômetro (Zilles, et al, 2012).

Considerando que o raio médio da Terra é  $6.371 \text{ km}$ , e o valor da irradiância média é de  $1367 \text{ W/m}^2$  incidindo sobre a área projetada da Terra, como é apresentado na curva anual da figura 01, conclui-se que a potência total disponibilizada pelo Sol à Terra, no topo da atmosfera, é de aproximadamente 174 mil Terawatts (TW), na qual 94 mil TW chegam a superfície terrestre.

Figura 01: Irradiação Extraterrestre.



Fonte: Pinho e Galdino, (2014).



### **2.1.1 Tipos de Radiação**

A radiação solar global pode ser dividida em três formas:

- Radiação direta: aquela que o fluxo luminoso do sol incide diretamente sobre um ponto.
- Radiação difusa: esta é a radiação solar que chega a um ponto após sofrer espalhamento nas nuvens ou gases.
- Radiação Refletida ou albedo: é a radiação refletida por objetos, árvores, entre outros, para um ponto específico.

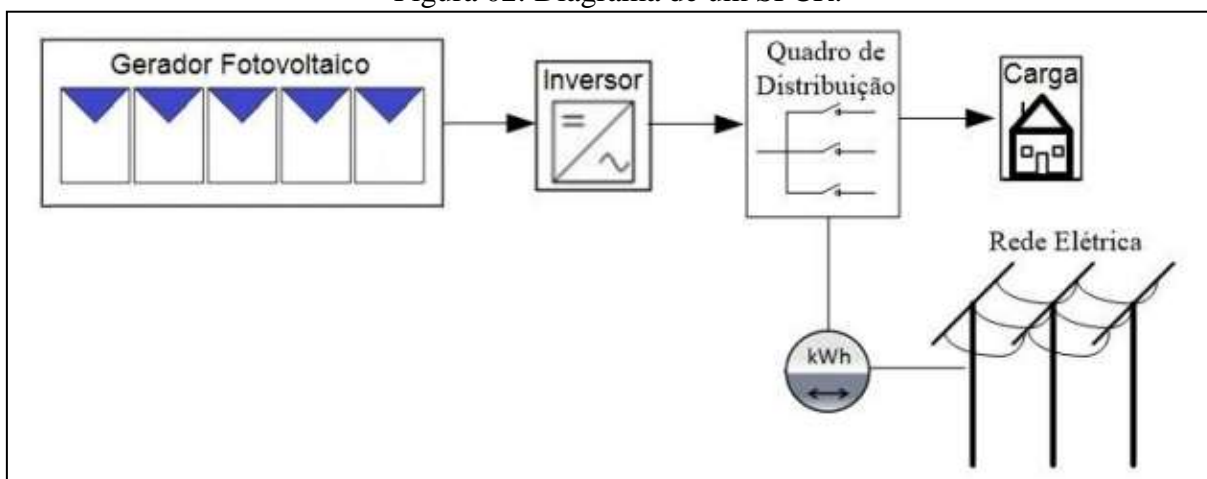
## **2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Um sistema fotovoltaico é denominado pelo conjunto de elementos composto de arranjo(s) fotovoltaico(s), onde esses arranjos são compostos por painéis fotovoltaicos e esses painéis compostos de módulos fotovoltaicos, podendo incluir: dispositivos para controle, condicionamento, supervisão, proteção e armazenamento de energia elétrica; fiação; fundação e estrutura de suporte.

### **2.2.1 Sistemas Conectados à Rede**

Os sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica, normalmente não possuem baterias de acumulação. A energia produzida pelo gerador fotovoltaico pode ser consumida diretamente pela carga, ou injetada diretamente na rede elétrica convencional, para ser consumida pelas unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição. O seu funcionamento atua da seguinte forma: havendo irradiação solar, as placas geram energia em corrente contínua, o inversor condiciona na forma de corrente alternada com tensão e frequência idênticas da rede e a injeta no sistema elétrico da unidade consumidora, com uma tensão levemente superior à rede. Qualquer carga elétrica dentro da unidade irá consumir preferencialmente esta energia com tensão levemente superior. Se houver sobra, esta energia flui para a rede elétrica como demonstrado na figura 02.

Figura 02: Diagrama de um SFCR.

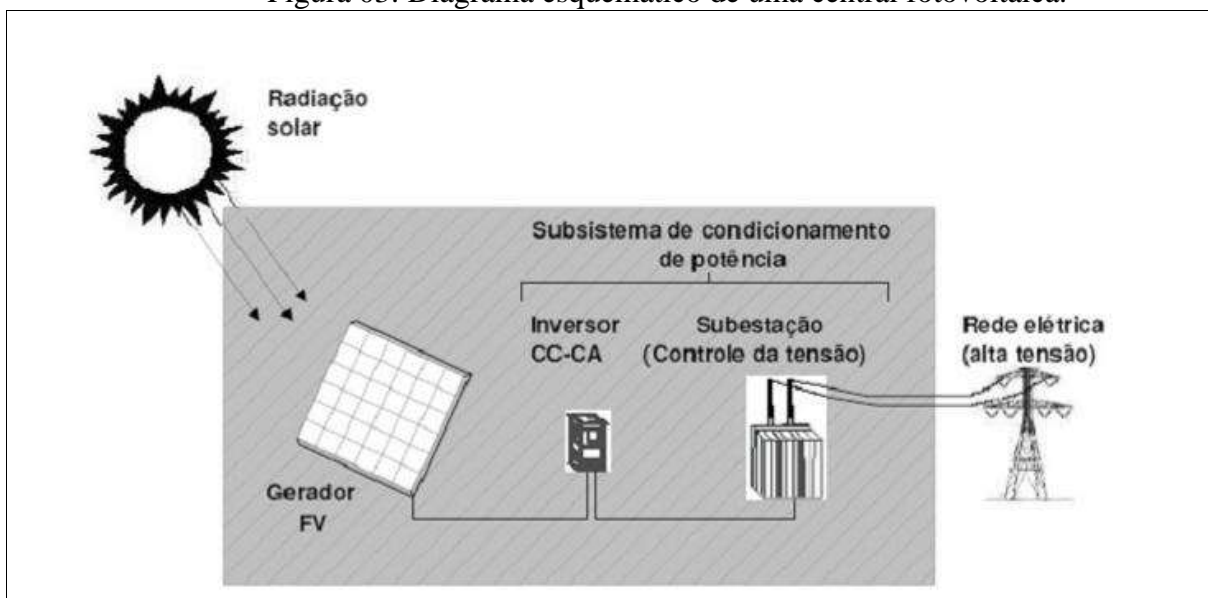


Fonte: Pinho e Galdino, (2014).

O medidor bidirecional contabiliza a quantidade no sentido reverso ao consumo, gerando créditos que podem ser compensados em até 60 meses.

Uma central fotovoltaica, neste caso, enquadrasse minigeração, fornece a energia à rede elétrica instantaneamente por meio de um ou mais inversores e transformadores, conforme figura 03.

Figura 03: Diagrama esquemático de uma central fotovoltaica.



Fonte: Almeida, (2012).

Esse modelo mais centralizado pode-se, também, enquadrar como geração distribuída ainda no modelo de minigeração, como muitas cooperativas de energia solar operam no mundo,

não necessariamente sendo uma usina solar propriamente dita, as quais no Brasil é considerada acima dos 5 MWp para sistemas fotovoltaicos.

### 2.2.2 Cooperativa Solar

A primeira cooperativa de energia renovável do Brasil foi implementada no município de Paragominas, no estado do Pará. A micro-usina de energia solar fotovoltaica da Cooperativa Brasileira de Energia Renovável (COOBER), mostrada na figura 04, começou a operar em fevereiro de 2017 com capacidade de 75 kWp, potência que deve ser ampliada futuramente.

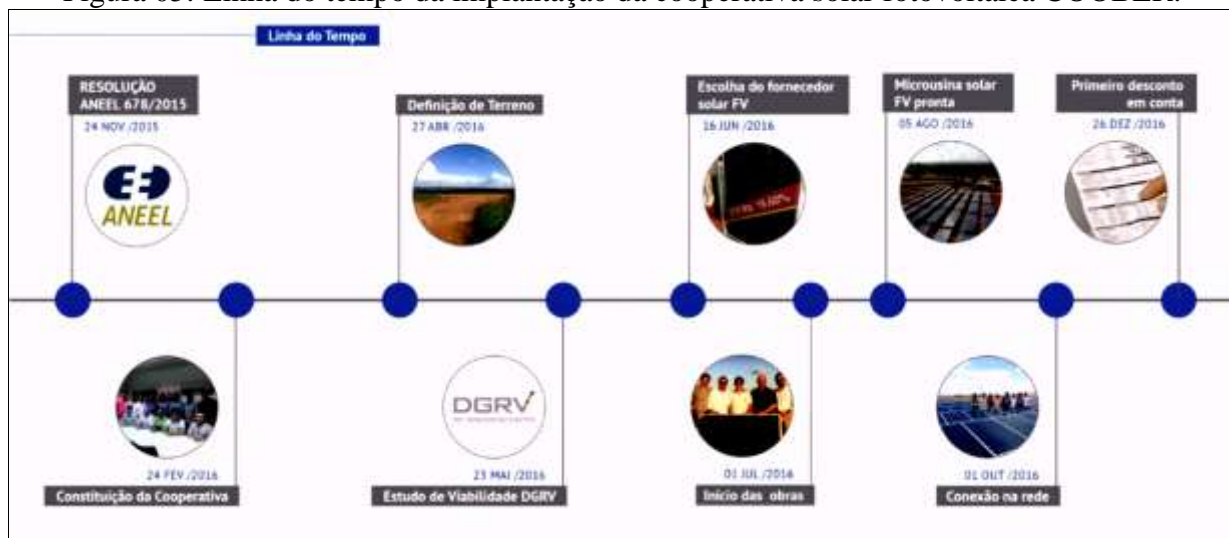
Figura 04: Imagem aérea da cooperativa de energia solar fotovoltaica COOBER.



Fonte: Coober, (2017).

A Coober foi criada com base nas novas regras da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), com o objetivo de estimular a geração de energia pelos próprios consumidores. Foram investidos R\$ 600 mil e o recurso provém da contribuição dos 23 cooperados. A figura 05 ilustra uma linha temporal com as datas das etapas alcançadas e definidas desde a fundação até os primeiros resultados reais da implantação da cooperativa de energia renovável fotovoltaica Coober.

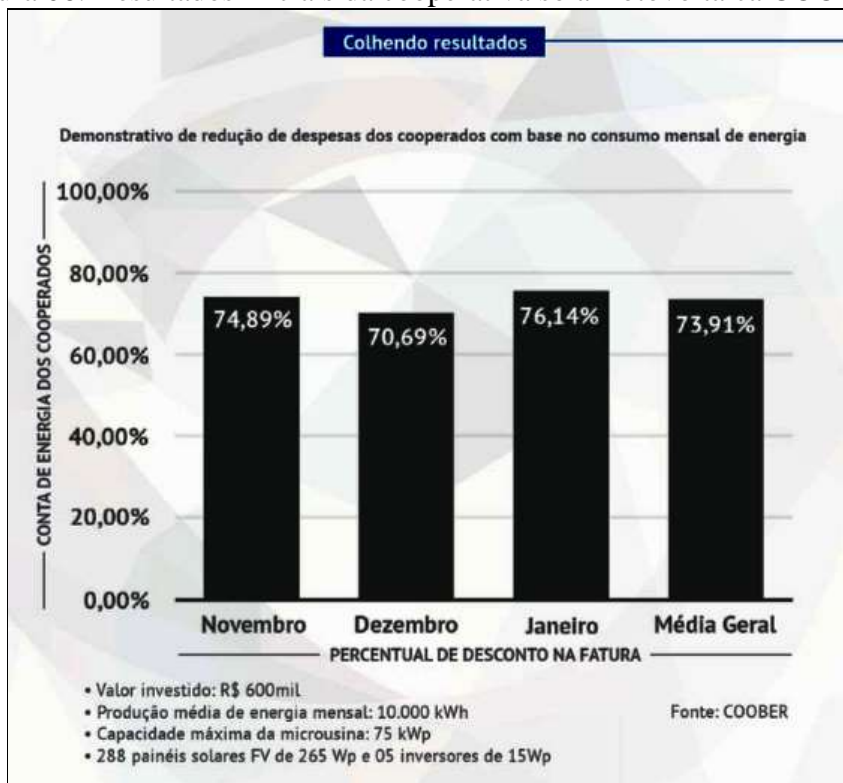
Figura 05: Linha do tempo da implantação da cooperativa solar fotovoltaica COOBER.



Fonte: Anuário Coober, (2017).

A micro usina reúne 288 módulos fotovoltaicos de silício multicristalino com potência de 265Wp cada módulo, que possuem capacidade de produção média de 11.550 KW/h por mês. Os painéis são estáticos, não contam com a implementação de seguidor solar. A parte de conversão foi dimensionada com 5 inversores de 15 kWp cada. De acordo com a cooperativa toda energia é injetada no sistema da rede Celpa. O resultado será rateado entre os cooperados e descontado diretamente na conta de energia como é demonstrado na figura 06.

Figura 06: Resultados iniciais da cooperativa solar fotovoltaica COOBER.



Fonte: Anuário Coober, (2017).

Segundo a Coober, existem diversas vantagens da modalidade de geração compartilhada através de cooperativa solar fotovoltaica do que de maneira individual. Entre as principais destaca-se um valor mais baixo de investimento para cada cooperado individual, já que os custos são divididos por todos os cooperados participantes; isento de problemas de sombreamentos futuros, principalmente em centros urbanos; mobilidade na produção, os cooperados podem mudar de endereço suas unidades consumidoras sem a necessidade de obras, instalações e projeto; desenvolvimento de uma cultura em favor do cooperativismo, união das pessoas e consciência por uma sociedade mais sustentável; várias pessoas pensando em um mesmo senso em comum; relação mais aberta com a concessionária de energia elétrica.

O parque fotovoltaico *Huerta solar La Jeresa*, localizado em *Lorca (Múrcia)*, Espanha, é modelo de produção de energia elétrica social e sustentável. É uma cooperativa composta por 418 pequenos produtores, gerando 9.000.000 kWh de energia limpa e evitando a emissão de 3.040.000 Tn de CO<sub>2</sub> por ano.

Cada cooperado tem exatamente o mesmo poder, 9,9 kW, com uma potência total de 4,10 MW, consistindo em instalações de monitoramento de dois eixos como observado na figura 07, em uma área total de 14 hectares.

Figura 07: Vista dos painéis da cooperativa *La Jeresa* com seguidor solar de 2 eixos.



Fonte: La Jeresa, (2016).

De acordo com o presidente da cooperativa de La Jeresa, Antonio José Alcázar García, os membros de suas cooperativas, juntamente com dezenas de milhares de famílias espanholas espalhadas por toda a geografia espanhola, não só conseguiram amadurecer esta tecnologia e colocá-la ao serviço da Sociedade, mas demonstram que pequenas e médias empresas podem participar no mercado energético com absoluta confiabilidade, agregando os benefícios da socialização da renda do próprio sistema elétrico, já que os retornos do sistema revertem imediatamente à economia local de *Lorca*.

A Cooperativa Boa vista, primeira Cooperativa Solar do Estado do Rio Grande do Sul foi inaugurada em 9 de dezembro de 2016, em Boa Vista das Missões.

A construção foi dividida em dois projetos: a infraestrutura, como a parte de arruamentos, terraplanagem, cercamento, e o projeto elétrico, envolvendo os módulos solares, inversores e subestação. Na fase A, foram instalados 1008 módulos fotovoltaicos multicristalinos, demonstrados na figura 08, que recebem a irradiação solar e geram energia em corrente contínua. A cada 144 módulos existem um inversor que converte a energia gerada em corrente contínua para corrente alternada. No total, são 7 inversores, que recebem 6 *strings* de 24 módulos cada um. Esses inversores estão ligados ao painel de comando, responsável por todo o controle e armazenamento de dados da usina, tanto local quanto remoto. Na saída do painel de controle, há a subestação que eleva a tensão para que a usina seja conectada à rede de distribuição. Na subestação também existe o controle e proteção da média tensão segundo CREA-RS 2017. A potência de pico da cooperativa solar é de 257 kWp, capazes de gerar energia suficiente para suprir todo o consumo interno da Creluz; em 16 agências, outras 6 usinas hidrelétricas, fabrica de postes e a matriz administrativa em Pinhal.

Figura 08: Vista norte da cooperativa solar da Creluz.



Fonte: Creluz (2016).

A maioria dos equipamentos utilizados foram fabricados no Brasil, incluindo os módulos fotovoltaicos do fabricante Globo Brasil localizado na cidade de Valinhos no estado de São Paulo.

A Cooperativa é operada a distância através de computadores, *tablet* ou até mesmo celular e para vigilância possui um circuito de câmeras, não havendo necessidades de operadores no local, segundo Elemar Batistti, presidente do Grupo Creluz (2016).

## 2.3 COMPONENTES DO SISTEMA

Os principais componentes de um sistema fotovoltaico são os módulos fotovoltaicos, inversor de frequência, *string box* para proteção do sistema, estruturas e cabeamento. Onde cada componente será explicado detalhadamente neste capítulo.

### 2.3.1 Módulos Fotovoltaicos

O entendimento, o correto dimensionamento e uso de módulos FV é de extrema importância no estudo de sistemas solares. Um módulo fotovoltaico é constituído de células solares associadas eletricamente e, geralmente, em série.

**Módulo fotovoltaico:** unidade básica formada por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica.

**Painel fotovoltaico:** um ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente. Montados de modo a formar uma única estrutura.

**Arranjo ou gerador fotovoltaico:** um ou mais painéis fotovoltaicos interligados eletricamente de modo a prover uma única saída de corrente elétrica.

A eficiência da célula solar apresentadas na tabela 01, que é o principal componente do módulo fotovoltaico, depende dos materiais e tecnologia de dopagem utilizada. Os tipos de células mais utilizadas atualmente são as de silício multicristalino (policristalino) e as de silício Cristalino (monocristalino), normalmente representado por c-SI.

Tabela 01: Tecnologias FV: Eficiência, vantagens e desvantagens.

<b>Tecnologia</b>	<b>Eficiência</b>	<b>Vantagens / Desvantagens</b>
Monocristalinos	14 – 21%	Eficiente / Custo elevado
Multicristalinos	13 – 16,5%	Custo benefício / Maior área
Amorfo	7 – 13%	Custo baixo / Baixa eficiência

Fonte: Adaptado de Zilles et al, (2014).

Um módulo é geralmente identificado pela sua potência elétrica de pico ( $W_p$ ), mas um conjunto de características compatíveis com a aplicação específica deve ser observado (Pinho e Galdino, 2014). A definição da potência de pico do módulo fotovoltaico é feita nas condições-padrão de ensaio (STC, do inglês *Standard Test Conditions*), considerando irradiância solar de  $1.000 \text{ W/m}^2$  sob uma distribuição espectral padrão AM 1,5 e temperatura de célula de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A tensão observada em um módulo desconectado é a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ). Ao conectar os terminais desse módulo a um amperímetro mede-se a corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ). Entretanto, estes dados não remetem a potência real do módulo. O ponto de máxima potência corresponde ao produto da tensão de máxima potência ( $V_{MP}$ ) e corrente de máxima potência ( $I_{MP}$ ). Os valores PMP,  $V_{MP}$ ,  $I_{MP}$ ,  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$  são os cinco parâmetros que especificam o módulo sob dadas condições de radiação, temperatura de operação de célula e massa de ar.

#### *2.3.1.1 Módulo Monocristalino*

A tecnologia monocristalina é a mais antiga e também uma das mais caras, porém eles possuem a eficiência mais alta. Em anos anteriores, cerca de 80% da produção mundial de módulos foi baseada no silício cristalino, em função, principalmente por sua extrema robustez e confiabilidade. Os módulos solares de silício monocristalino (mono-Si) são facilmente reconhecíveis apenas olhando de perto. Possuem uma cor uniforme, indicando silício de alta pureza e cantos tipicamente arredondados como você pode ver na imagem abaixo:

#### *2.3.1.2 Módulo Multicristalino*

Esse tipo de tecnologia tem evoluído, e já é possível encontrar módulos multicristalinos cuja eficiência chega a ser igual às células monocristalinas de tamanho semelhante. Os módulos multicristalinos são assim chamados pelo fato das células que os constituem serem feitas a partir de um processo menos rigoroso do que os monocristalinos em que as células são feitas a partir de vários cristais, como aparece na figura 09 da célula na direita.



Figura 09: Módulo fotovoltaico de silício multicristalino.



Fonte: LABSOL (UFRGS).

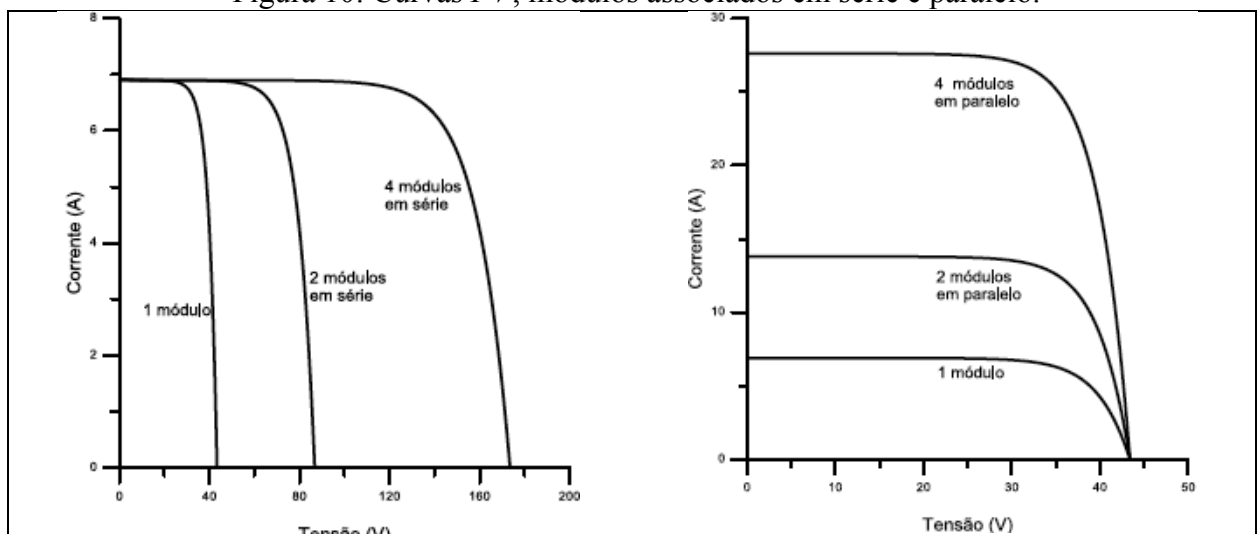
Este tipo de células de menor custo de produzir torna a escolha preferencial de muitos consumidores, como é o caso da cooperativa solar proposta neste trabalho.

### 2.3.2 Associação de Módulos Formando um Painel

Os módulos podem ser conectados em ligações série e/ou paralelo, conforme figura 10, dependendo da corrente e tensões desejadas, para formar painéis fotovoltaicos com potência mais elevada. Ao definir como serão associados os módulos, é necessário ter informações de como deverá ser a instalação e quais componentes serão utilizados, pois as tensões e correntes resultantes devem ter plena compatibilidade com o inversor e componentes de proteção.

A conexão em série é feita do terminal positivo de um módulo ao terminal negativo de outro, e assim por diante. Caso haja uma dispersão de características elétricas ou um sombreamento parcial, a corrente do conjunto conectado em série é limitada pelo módulo com a menor corrente individual.

Figura 10: Curvas  $I-V$ , módulos associados em série e paralelo.



Fonte: Pinho e Galdino, (2014).

A conexão em paralelo é feita unindo-se os terminais positivos de todos os módulos entre si e procedendo-se da mesma forma com os terminais negativos. Esta conexão resulta na soma das correntes sem alteração da tensão. As caixas de conexões na sua face posterior ou cabos pré-instalados facilitam esta conexão.

### 2.3.3 Inversor de Frequência

Os principais componentes PCU (*Power Conversion Unit*), na prática conhecido como Inversor Solar é responsável pela conversão da potência CC (dos módulos) para CA (220V ou 380V) para injetar na carga ou na rede e pelo controle de MPPT (*maximum power point tracking*, ou rastreamento do ponto de máxima potência).

O ponto médio entre o sistema solar e a rede é o inversor que aparece na figura 11, composto por dispositivos de eletrônica de potência. Normalmente bons inversores possuem controle de harmônicas, além de limite de distorção da frequência e tensão da energia gerada.

Figura 11: Instalação fotovoltaica com inversores *multistring*.



Fonte: *Fronius (2017)*.

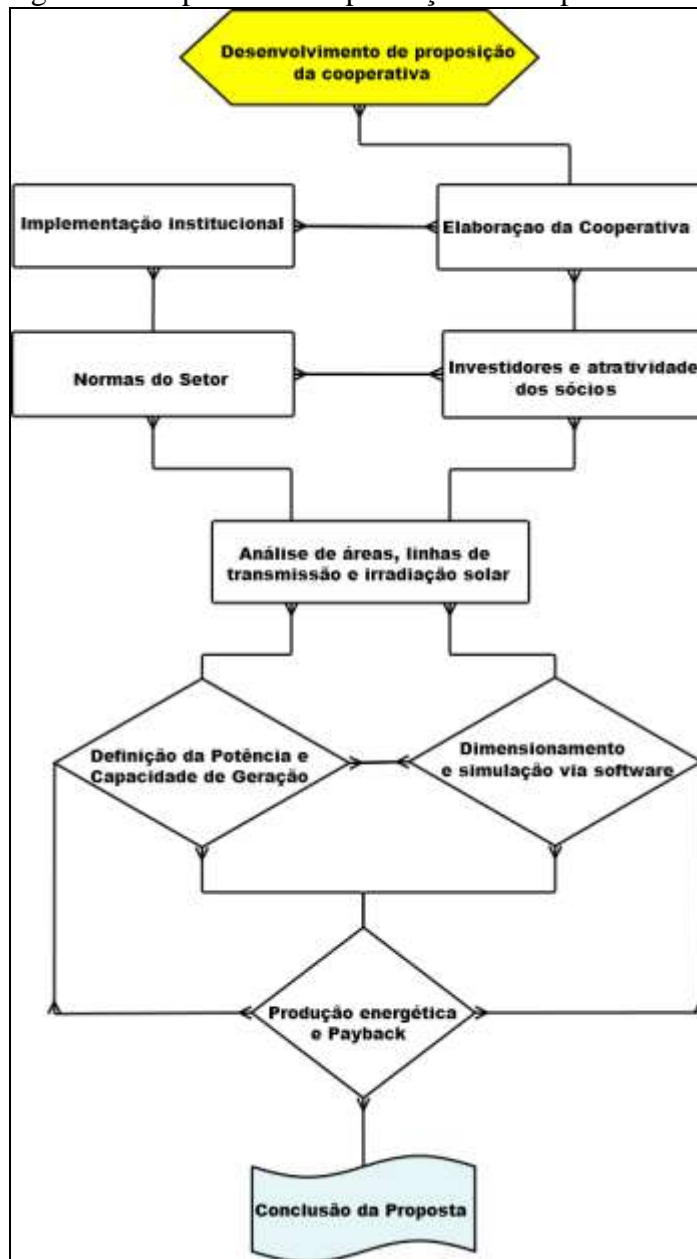
No Brasil, os inversores para SFCRs devem atender aos requisitos de proteção exigidos no item 5 da seção 3.3 Módulo 3 do Prodist (Aneel, 2012c), o que inclui a proteção anti-ilhamento e a exigência de transformador de acoplamento, entre outras.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para propor a instituição da cooperativa de energia solar fotovoltaica para a Serra Nordeste do estado do Rio Grande do Sul foi baseada no método utilizado pela Coober, Cooperativa Brasileira de Energia Renovável. Um sistema fundamentado na reunião de pessoas e não no capital, onde visa às necessidades do grupo e sua demanda de energia, não se enquadra na modalidade de lucro por venda de energia.

O fluxograma da figura 12 apresenta a sequência de passos norteados para atingir o objetivo do trabalho, que é a proposta de implantação de uma cooperativa solar fotovoltaica.

Figura 12: Fluxograma com passos da implantação da cooperativa solar fotovoltaica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

### 3.1 PLANO DE ELABORAÇÃO DA COOPERATIVA

Muito se ouve falar em cooperativa de crédito, agrícola e tantas outras. Uma forma para que o consumidor não fique dependente das distribuidoras energéticas pode ser uma cooperativa de energia renovável.

Para compor e criar uma cooperativa é necessário o número de 20 pessoas. Esse conceito também serve para o cooperativismo no caso de energia renováveis em geração distribuída. É através desse que o atual trabalho propõe em formar uma cooperativa com 26 associados em forma de pessoas físicas e jurídicas de micro empresas da região nordeste do Rio Grande do Sul. O número de associados foi definido para ser um patamar tangível ao tamanho do trabalho proposto, ficando dentro de uma potência que não ultrapassaria o grupo de mini geração distribuída, onde a modalidade ainda se atrela a geração compartilhada no modo cooperativo, com estudos de ampliação futura no caso de interesse do mesmo perfil de associados.

O perfil desses empresários são pessoas jurídicas com tarifas de energia do grupo B que tenha uma faixa de consumo médio de energia mensal entre 300 a 10000 kWh/mês.

As empresas nas quais mais demonstram interesse por esse tipo de geração, as quais querem investir em longo prazo nesse tipo de geração para obter retorno de créditos em seus empreendimentos, são do tipo comercial do ramo alimentício como de conservação e revendas de frios, padarias, açougues, mercados, restaurantes; e do tipo comercial como lojas, oficinas e pequenas empresas de móveis, onde na qual todas essas citadas não tem áreas suficientes, ou telhados para essa modalidade de geração. Outras em alguns casos, até por estarem livre de se comprometer a manutenção periódica como lavagem e checagem de componentes.

Uma vantagem de se formar cooperativa para a geração de energia renovável está no custo, para esses empreendimentos outro fator determinante para se tornar atraente a cooperativa é a questão de o equipamento estar montado em determinado local onde a empresa paga aluguel. Mudando de endereço, é necessário refazer obras, estudo de viabilidade e muitos outros imprevistos. Na modalidade de cooperativa de geração de energia, a produtividade estará em um local apropriado gerando energia e o cooperado utilizando de sua parcela. Se mudar de endereço, o percentual de energia continua a ser descontado no novo local, sem necessidades de adaptações, novo projeto e instalação.

Em relação ao custo da implantação do sistema, ao se criar uma escala mais elevada, ele fica com preço menor. A economia nesse modelo de cooperativa chega a 30% para a implantação.

A possibilidade de financiamento via linhas de créditos atuais no mercado, foi o que mais impactou para a decisão em participar da proposição de criação da cooperativa. Mesmo que hoje as taxas de juros dessas linhas ainda não sejam atrativas suficientes se comparados a outros grupos como a produção rural, alguns bancos oferecem linhas de créditos e financiamentos interessantes para micro empresas em particular ou cooperativas e associações.

A desvantagem da modalidade de geração compartilhada em relação à modalidade de geração na própria unidade consumidora está na isenção de impostos. Onde a norma vigente interna da CPFL, grupo que tem posse majoritária e controla a RGE especifica o seguinte: “apenas as unidades consumidoras pertencentes ao mesmo titular da unidade geradora poderão se beneficiar da isenção. Unidades que façam parte do sistema de compensação de energia e estiverem com as titularidades diferentes não terão isenção de ICMS”, conforme CPFL Energia, (2017).

Conforme a Lei Estadual RS 14.743/15 - Lei do Estado do Rio Grande do Sul nº 14.743 de 24.09.2015, publicada no Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, a alíquota de ICMS para energia elétrica nas classes residencial e comercial atualmente é de 30%.

### 3.2 ELABORAÇÃO DA COOPERATIVA

Para constituição de uma cooperativa singular é requerido o concurso de associados, em número mínimo necessário de 20 (vinte) associados para compor a administração da sociedade, órgão de administração e conselho fiscal (inciso II do art. 1.094 do CC), levando em conta a necessidade de renovação; 3 (três) cooperativas singulares para formar uma cooperativa central ou federação; e no mínimo, três cooperativas centrais ou federação de cooperativa para formarem uma confederação de cooperativas (incisos I, II, e III do art. 6º da Lei nº 5.764/71).

#### **3.2.1 Associados**

##### *3.2.1.1 Pessoa Física*

O ingresso nas cooperativas é livre a todos que desejarem utilizar dos serviços prestados pela sociedade, desde que adiram aos propósitos sociais e preencham as condições estabelecidas no estatuto. O número de associados é ilimitado, salvo impossibilidade técnica de prestação de serviços (art. 6º do inciso I, e art. 29 da Lei nº 5.764/71).

### *3.2.1.2 Pessoa Jurídica*

A admissão de pessoas jurídicas é excepcionalmente permitida, de acordo com os seguintes critérios:

- a) As pessoas jurídicas devem ter por objeto as mesmas ou correlatas atividades econômicas das pessoas físicas;
- b) As pessoas jurídicas devem ser sem fins lucrativos.

As pessoas jurídicas que forem admitidas deverão ser sediadas na respectiva área de operações da Sociedade Cooperativa.

Nas cooperativas de eletrificação, irrigação e telecomunicações, poderão ingressar as pessoas jurídicas que se localizem na respectiva área de operações (§§ 2º e 3º do art. 29 da Lei nº 5.764/71).

## 3.3 IMPLEMENTAÇÃO INSTITUCIONAL

As cooperativas são sociedades de pessoas, com forma e natureza jurídica própria e, independentemente de seu objeto, a Lei (parágrafo único do art. 982 do CC) as classifica como sociedade simples, não sujeitas à falência, constituídas para prestar serviços aos associados (art. 4º da Lei nº 5764/76).

Esse conceito serve para o cooperativismo como um todo e também neste caso de energias renováveis em geração distribuída. Para que isso possa se tornar possível, esses sócios participantes devem estar na mesma área de concessão, ou seja, pertencer à mesma área de uma concessionária de energia em comum, não necessita estar no mesmo município. No caso do trabalho proposto, a concessionária de energia que abrange a região é a RGE, Rio Grande Energia S.A.

O primeiro passo da implementação da cooperativa de energia é o objetivo de todos os associados em investirem com recursos próprios ou através de financiamento particular de cada um, em geração de energia elétrica através da conversão de energia solar fotovoltaica. Todos os associados entram em acordo em participar da modalidade de geração compartilhada, onde os

associados através do sistema de compensação de energia, possibilitado pela geração distribuída, compensam a energia injetada na rede elétrica através de créditos em forma de kWh, no consumo de suas unidades consumidoras que estejam dentro da área de abrangência da concessionária RGE.

Depois de realizado a pesquisa e estabelecido o interesse formal pelos 26 cooperados, a meta das primeiras reuniões da cooperativa é estabelecer o local da futura instalação, levando em consequência o tamanho do sistema, no qual é uma variável, pois a cooperativa possibilita que o sócio possa estipular o tamanho do sistema que vai querer investir, e conseqüentemente, quanta energia estimada essa potência instalada irá gerar para compensar a fatura de energia de sua própria unidade. O percentual de capital líquido investido que corresponde ao tamanho do sistema e sua quantidade de geração são proporcionais ao percentual de investimento em despesas de uso comum, como: adequação do terreno; cercamento da propriedade; iluminação do local; investimento em segurança como alarme e câmeras; construção da casa de geração onde ficará os inversores, quadro de proteção e controle; obras de subestação e linha de transmissão; O mesmo vale para as taxas de manutenção do condomínio, fundos de reserva, limpeza e monitoramento de segurança.

A área de construção da cooperativa será cedida pelo município de Garibaldi por período determinado não superior a 10 anos. Formalizado por meio de contrato administrativo firmado entre as partes. Com início a partir da assinatura do contrato entre a cooperativa e o município. Durante esse tempo pode ser decidido em reuniões uma forma de os cooperados adquirirem uma nova área para implantação e instalação do sistema, implementando uma taxa que se destine a um fundo de investimento para aquisição de uma futura área de poder exclusivo da cooperativa, assim como ampliação e inclusão de novos cooperados que demonstrem interesse em participar e investir na cooperativa.

A cooperativa proposta vai ser constituída para compensar todo o consumo de energia elétrica de cada unidade, salvo dois cooperados que optam inicialmente por compensarem 10% do consumo médio total de suas unidades consumidoras.

Inicialmente uma proposta de área seria próxima à subestação SE de Garibaldi, como pode ser visualizada na figura 13. A subestação próxima tem potência de 83 MVA e opera nas tensões de 230 / 69 / 13,8 kV.

Figura 13: Futura área de instalação da cooperativa solar fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2017).

A área se encontra em terreno plano, sem muita vegetação, com um terreno com medidas em torno de 87 metros de largura por 200 metros de comprimento. Esse terreno está localizado nas proximidades da rodovia São Vedelino RS-470, a principal que interliga o município de Garibaldi aos demais da região.

### 3.4 NORMAS DO SETOR

Neste item são informadas as normas que rege o setor de geração distribuída às quais esclarecem as regras para a modalidade de geração compartilhada e minigeração distribuída. Essas normas, assim como as demais, estão fundamentadas pela RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015.

Dentro da qual a que remete direta e indiretamente a modalidade de geração compartilhada de micro e minigeração distribuída estão encontradas no Artigo 1º “Alterar o art. 2º da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012”; Artigo 5º e Artigo 7º.



## 4. RESULTADOS

O presente capítulo apresenta avaliações em comparação com a metodologia e os resultados obtidos a partir do planejamento e organização da cooperativa: consumo e divisão dos cooperados, dimensionamento do sistema fotovoltaico necessário, estudo da irradiação no local, simulação de sombreamento e rendimento dos componentes, projeto elétrico da cooperativa, estimativa de geração e perda de eficiência ao longo dos anos, análises financeiras como custos de implantação e retorno do investimento geral e de cada cooperado.

### 4.1 COOPERADOS

Com foco na pesquisa realizada, 26 interessados contando pessoas físicas e micro empresas da região que foram selecionados através de uma lista que levantou o perfil desses micros empresários que pensam da mesma forma quando se trata em gerar sua própria energia e compensar a energia gerada pela cooperativa em suas unidades consumidoras.

Um ponto estabelecido pela divisão dos créditos de energia a serem compensados nas unidades consumidoras é que se dá na forma de kWh por kWh. Onde o dimensionamento levará em conta o consumo médio do cooperado, e/ou, o quanto de kWh ele pretende compensar em sua unidade, o que proporcionalmente será representado por um percentual de geração do sistema como um todo. A quantidade de kWh que o cooperado optar por gerar, acarretará no tamanho do seu sistema e o quanto ele irá investir, já contabilizado o percentual do condomínio que fica por sua responsabilidade e custo.

A compensação de energia não é padronizada de acordo com o preço do kWh de cada unidade consumidora, ressaltando que se trata de cooperados de cidades diferentes onde os preços do kWh praticados pela concessionária de energia não são os mesmos. Finalizando, a geração de energia elétrica da cooperativa de energia solar fotovoltaica não será dividida ou calculada por preço da energia de cada cooperado, e, sim, somente por kWh gerado e compensado proporcionalmente ao tamanho do sistema adquirido por cada cooperado.

### 4.2 ANÁLISES DE ÁREA

Um dos primeiros métodos para nortear o trabalho foi realizar uma análise através de mapas de irradiação solar e/ou *software* que possibilitem a melhor escolha e posição da usina

em relação a sua produtividade anual fotovoltaica, levando em consideração a rede elétrica existente. Logo, a escolha da localidade para aplicação do projeto esta atrelada ao nível de irradiação do local.

O local onde a instalação física da proposta cooperativa de energia solar foi prevista é de posse da prefeitura municipal de Garibaldi / RS, onde o município concede o terreno aplainado para a instituição cooperativa única e exclusivamente para a implementação da geração de energia renovável através do modo de cooperativa. A estrutura para montar a central geradora de energia como cercas, postes, casa de geração, portão e outros são despesas da cooperativa.

#### 4.3 DIMENSIONAMENTO E CAPACIDADE

Depois de estabelecidos os estudos que regem a constituição da cooperativa e a definição do local são iniciados o desenvolvimento da parte técnica que envolve a minigeração, com determinação da carga a ser atendida pelos cooperados que é de extrema importância, pois implica diretamente no dimensionamento do sistema fotovoltaico. Nessa parte pode-se estudar uma curva de carga onde representaria a carga total de todos os associados da usina, que utilizariam dos créditos de energia da usina, observando o percentual de energia que cada associado deseja obter, não necessariamente condizendo a sua curva de carga total de consumo em suas unidades.

O *software* a ser utilizado para o dimensionamento da cooperativa será o PV\*Sol, é um *software* pago, desenvolvido por uma empresa da Alemanha. Um dos seus principais benefícios é a visualização no modo 3D, que fornece informações detalhadas sobre sombras lançadas em várias horas do dia e ano, e conseqüentemente sobre as prováveis reduções de rendimento (PV\*Sol *software*, 2017).

Outro *software* utilizado para confronto dos dados locais de irradiação é o RADIASOL desenvolvido pela UFRGS, possibilita a simulação da irradiação recebida a partir da sua localização, inclinação e orientação. Esse software também permite a inserção manual de dados de irradiação para cálculos mais específicos (UFRGS, 2010).

O dimensionamento do sistema conectado à rede de distribuição elétrica foi fundamentado com a base de cálculos na literatura atual e ao livro Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, onde os valores obtidos foram confrontados com os valores extraídos do *software* de cálculo e dimensionamento.

Para atender a demanda de energia estimada, primeiramente foi dimensionado o arranjo fotovoltaico, dentro desse dimensionamento precisa-se já atentar custos de mercado para módulos e estruturas de tal forma que o sistema seja o mais customizado possível. Junto ao arranjo é dimensionada a potência dos inversores fotovoltaicos, com os dados de entrada e saída de tal forma a atribuir a melhor *performance* e eficiência ao sistema. Uma análise econômica esta prevista para a utilização de inversores solares *grid-tie* ou centrais, questão de manutenção, fator de capacidade onde se estuda para o projeto a proporção entre a produção efetiva da usina em um período de tempo e a capacidade total máxima neste mesmo período.

Outro ponto importante do projeto é o estudo de acoplamento com a rede elétrica local, onde para uma minigeração fica obrigatória pela REN 687/2015 da ANEEL a utilização de transformador de acoplamento para a geração, onde o mesmo tem a função de fazer o isolamento do circuito de C.C. da usina com o circuito de C.A. da rede elétrica da concessionária. Junto a isso foi analisado a malha elétrica e suas linhas de transmissão existentes atualmente para conexão.

#### 4.3.1 Divisão do dimensionamento por cooperado

Para a divisão da compensação de energia por unidade consumidora foi primeiramente calculada a média de consumo para cada fatura de energia.

Na tabela 02 são apresentados os valores de consumo mensais totais somados de todos os cooperados, retirados do histórico da fatura de energia, onde os valores detalhados para cada cooperado podem ser encontrados na tabela 16 do Apêndice D. Os valores apresentados já estão descontados da taxa mínima total referente a cada mês. São 17 cooperados com taxas trifásicas de 100 kWh/mês e 7 cooperados com taxas monofásicas de 30 kWh/mês que totalizam 1910 kWh/mês de disponibilidade. Para os dois cooperados com compensação de 10% da energia de consumo não é necessário esse desconto na análise.

Tabela 02: Consumo mensal total em kWh/mês somados de todos os cooperados.

MÊS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
<i>kWh</i>	47736	42711	43291	40586	38067	35616	33301	36019	36975	34834	37994	40861	<b>38999</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Na tabela 03, são demonstrados os valores das médias de consumo mensal, onde foram utilizados os últimos 12 meses do histórico da fatura de energia de cada cooperado para gerar o valor médio. O valor apresentado já tem o desconto da taxa mínima de disponibilidade que é

obrigatoriamente cobrado de cada cooperado pela concessionária de energia. Também ficam destacados os valores calculados para os dois cooperados que optaram por compensar apenas 10% da média do consumo da fatura de energia.

Tabela 03: Valores das médias de consumo mensal de cada cooperado.

<b>COOPERADO</b>	<b>Média de consumo mensal kWh</b>	<b>Percentual da cooperativa</b>
Marcia Lorenset	$185 - 30 = 155$	0,40%
Ledir Capitanio	$262 - 30 = 232$	0,59%
Vidraçaria Garibaldense	$390 - 100 = 290$	0,74%
Everaldo João Moretto	$457 - 100 = 357$	0,92%
Mauricio Lazaretti	$406 - 30 = 376$	0,96%
Patricia Cousseau	$530 - 100 = 430$	1,10%
Pilatti comércio de móveis - Itálínea	$490 - 30 = 460$	1,18%
Milton Ghilardi	$525 - 30 = 495$	1,27%
Alvaro Ludvig	$598 - 100 = 498$	1,28%
Sindicato Trab. Rurais Dois Lajeados	$829 - 30 = 799$	2,05%
Valsir Pavoni	$1175 - 30 = 1145$	2,94%
Friza materiais elétricos hidráulicos	$1309 - 100 = 1209$	3,10%
João Rosalen	$1386 - 100 = 1286$	3,30%
Possamai Moveis Ltda	$1414 - 100 = 1314$	3,37%
Contel Segurança Eletrônica 24Hs	$1484 - 100 = 1384$	3,55%
Distribuidora Armani Ltda	$1511 - 100 = 1411$	3,62%
Posto Geremias Leste Coronel Pilar	$1738 - 100 = 1638$	4,20%
Estúdio rádio Garibaldi AM 1410	$1909 - 100 = 1809$	4,64%
<i>Mercado Marin Guaporé</i>	$21579 * 0,1 = 2000$	5,13%
Jandir João Pilotto	$2277 - 100 = 2177$	5,58%
<i>Hospital Manoel Francisco Guaporé</i>	$23805 * 0,1 = 2380$	6,10%
Posto abastecimento Marin Cotiporã	$2676 - 100 = 2576$	6,61%
Tarciane Maria Mazuti ME - Guaporé	$2852 - 100 = 2752$	7,06%
Padaria Sol Nascente	$4045 - 100 = 3095$	7,94%
Comercial de Alimentos Oiggab	$3694 - 100 = 3594$	9,22%
Supermercado Bes Veranópolis	$5237 - 100 = 5137$	13,17%
<b>TOTAL</b>	<b>38.999 kWh</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

### 4.3.2 Definição dos parâmetros para projeto

A proposta de deste projeto destina-se a dimensionar um sistema de energia solar fotovoltaico conectado a rede elétrica que possa em uma média anual suprir e compensar a energia utilizada nas unidades consumidoras dos 26 cooperados através do sistema de compensação de energia pelo modelo de geração compartilhada.

O sistema deve ser composto por módulos fotovoltaicos instalados no solo da área demonstrada na figura 13. A energia elétrica CC oriunda das saídas desses módulos será convertida em energia elétrica CA através de inversores de frequência denominados *Grid-tie* (conectados a rede). As saídas desses inversores estarão conectadas a rede da concessionária através de um sistema de proteção e por se tratar de uma minigeração, um transformador de acoplamento. Assim, a energia é direcionada para a rede da concessionária, que utilizará essa energia para abastecer seus clientes durante o dia, compensando toda energia injetada em kWh da cooperativa, em percentuais de créditos de kWh nas faturas dos 26 cooperados.

Como parâmetro de projeto será usado o valor médio mensal de 38.999 kWh obtido na tabela 02, que representa a média mensal de consumo durante todo o ano no somatório dos 26 cooperados.

### 4.3.3 Avaliação da irradiação solar na área da cooperativa

Com base nos resultados obtidos pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar, Swera, o estado do Rio Grande do Sul tem grande potencial solar, tanto em termos de insolação diária quanto em termos de radiação solar global diária. Sendo que ambos os parâmetros apresentam maiores intensidades durante os meses de verão segundo Santos (2014).

Para a determinação da irradiação solar média mensal foi utilizado o *software* Radasol disponível na página da UFRGS, que também auxilia no melhor ângulo de instalação dos módulos. Para confrontar os dados do Radasol também serão consultados os dados da Base do SWERA, site (<http://swera.unep.net>), dados de irradiação fornecidos pelo INPE, acesso *TILT INPE High Resolution*, radiação global direta horizontal que podem ser analisados no Anexo A. As coordenadas a seguir do local da instalação foram obtidos pelo *Google Earth*:

**Latitude: -29.241014 - Longitude: -51.512645 - Altura: 683 metros**

A tabela 04 informa os dados de irradiação solar diária retirados do banco de dados do SWERA exatamente no ponto de coordenada com latitude de -29.24, onde se encontra a área proposta para o projeto da cooperativa solar.

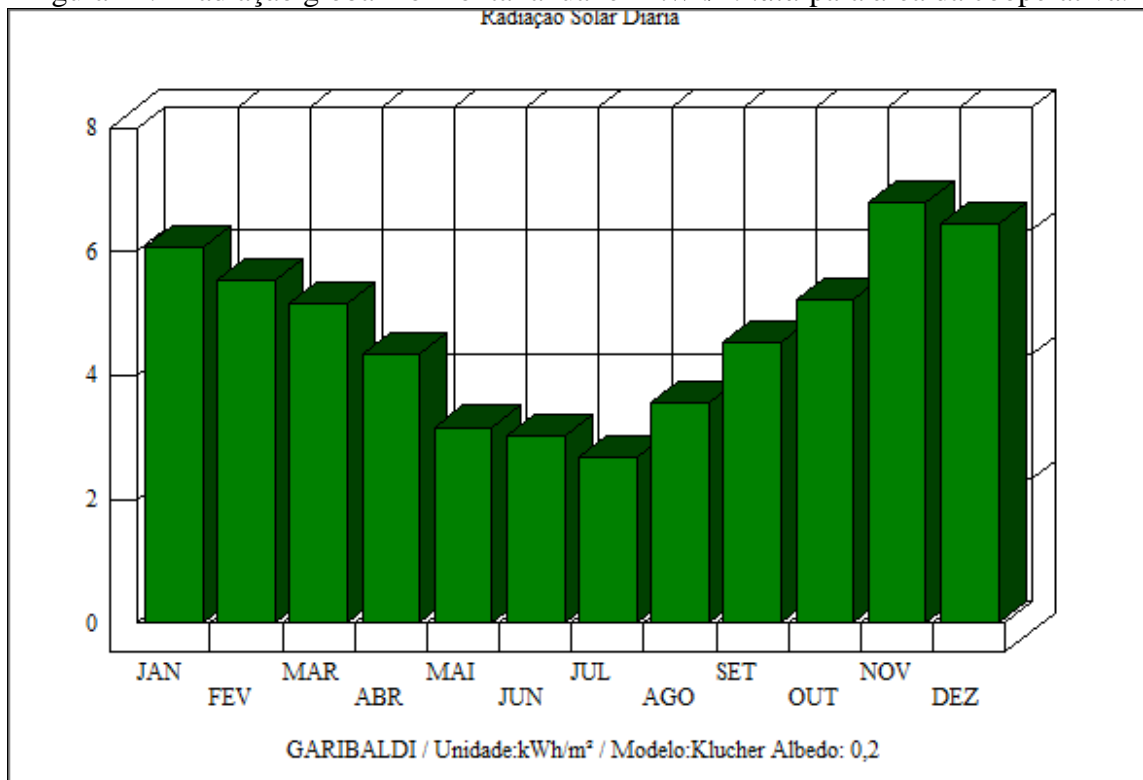
Tabela 04: Dados de irradiação do local proposto para a cooperativa – SWERA.

Irradiação Solar diária média global horizontal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
6.066	5.547	5.175	4.354	3.178	3.025	2.699	3.574	4.546	5.240	6.770	6.414	4.657

Fonte: Elaborado pelo autor com base de dados SWERA (2017).

Como a cidade de Garibaldi não consta na base de dados do Radiasol, foi criado uma nova estação, onde o *software* permite a entrada de valores manuais de irradiação que foram retirados do banco de dados do Atlas Solarimétrico do SWERA. O *software* permite também a entrada das coordenadas geográficas para o posterior ajuste de inclinação e desvio azimutal. Na figura 14 é apresentado o gráfico dos valores da irradiação solar diária mensal que aparecem na tabela 04, onde pode ser visualizado a curva de irradiação global horizontal incidente no local, que estará atrelada a potência de geração de energia elétrica média da minigeração ao longo dos meses.

Figura 14: Irradiação global horizontal anual em kWh/m<sup>2</sup>.dia para área da cooperativa.



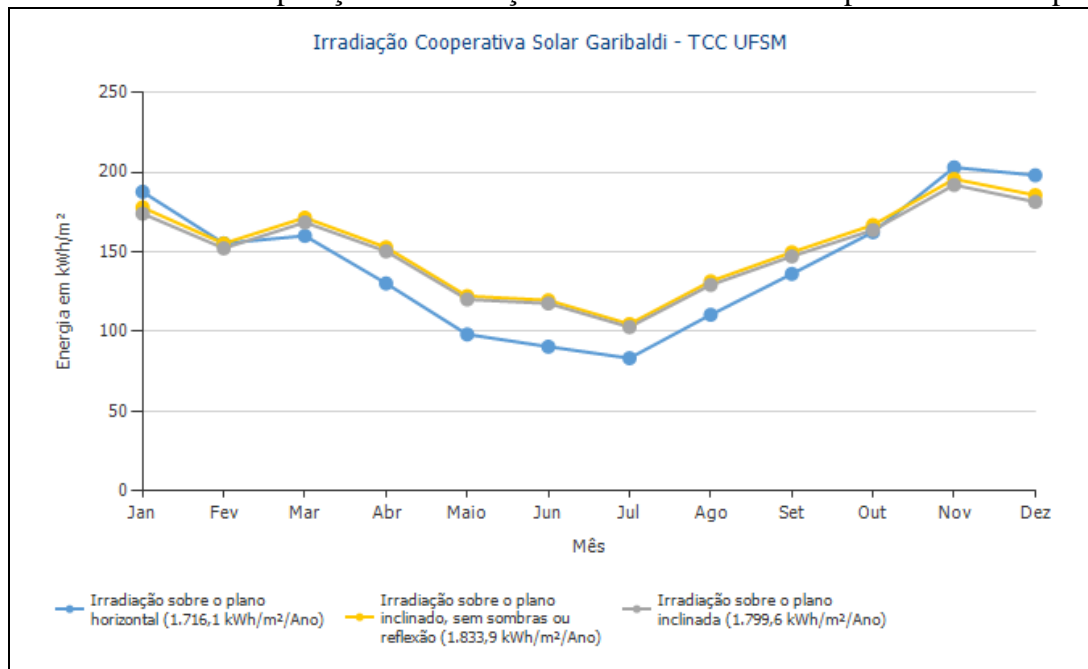
Fonte: Elaborado pelo autor (*Software Radiasol*, 2017).

A posição para instalar um módulo fotovoltaico de modo que receba a maior radiação possível para o local, é normalmente inclinado em um ângulo igual à latitude local. Como por definição do autor, o sistema de painéis da geração será estático, sem seguidor nos eixos das estruturas, foi analisado à orientação em que gera a maior média anual. Segundo dados da apostila BIPV, todas as cidades brasileiras apresentaram a máxima irradiação na orientação azimute 0, ou seja, 0° (Norte).

A inclinação é dada pelo ângulo entre a face do módulo fotovoltaico e a horizontal, a ocorrência da maior irradiação em ângulos diferentes da latitude já foi apresentada por diversos pesquisadores. Através das análises apresentadas em apostila BIPV, observa-se que o mais indicado é a utilização do modelo de Perez para cidades do equador até a latitude 18° e utilizar o modelo de Klucher para cidades com latitude entre 18° até 29° (Porto Alegre). Sobre as posições com maior valor de irradiação, em várias cidades o Radiasol atingiu os maiores valores de irradiação para posições com inclinação alguns graus acima ou abaixo do ângulo igual à latitude local (valor comumente utilizado), conforme a tabela 15 do Anexo B.

A figura 15 apresenta as curvas de irradiação em kWh/m<sup>2</sup> ao longo do ano para o local da cooperativa com orientação Norte 0° e inclinação de 20° comparada com a horizontal e com análise da perda por sombreamento e reflexão realizada no *software* PV\*Sol.

Figura 15: Gráfico de comparação da irradiação horizontal e inclinada para área da cooperativa.



Fonte: Elaborado pelo autor (*Software* PV\*Sol, 2017).

Foram feitos testes no Radiasol variando a inclinação e observando a irradiação média diária anual, para a posição 0° Norte.

A inclinação que apresentou a maior média para a estação cadastrada de Garibaldi foi de 19° e 20°. Ambas iguais, adotando assim a inclinação de 20° para o projeto.

Com a inclinação de 20° corrigida, é possível verificar um ganho em kWh/m<sup>2</sup> na irradiação do local significativo nos meses de inverno, ao mesmo que não descompromete o ganho do verão, logo, a média passa de [4.657 kWh/m<sup>2</sup>.dia] para [5.147 kWh/m<sup>2</sup>.dia] como apresenta a tabela 05:

Tabela 05: Dados de irradiação corrigidos no local proposto para a cooperativa.  
Irradiação Solar diária média global em superfície inclinada de 20° [kWh/m<sup>2</sup>.dia]

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
6.034	5.684	5.654	5.166	3.922	4.008	3.288	4.270	5.110	5.490	6.798	6.334	5.147

Fonte: Elaborado pelo autor com base de dados do Radiasol (2017).

#### 4.3.4 Dimensionamento Fotovoltaico

A partir dos dados de consumo e irradiação é possível estimar a produção para uma energia próxima ao consumo, como no Brasil o excedente não pode ser comercializado.

O primeiro passo depois de estabelecidos os dados de irradiação é definir a potência dos módulos fotovoltaicos em kWp através da equação (01):

$$P_{FV} = \frac{E \times G_{CNTP}}{H_{TOT}} \times TD \quad (01)$$

Onde:

$E$ : Energia gerada (Wh);

$P_{FV}$ : Potência Fotovoltaica (Wp);

$H_{TOT}$ : Irradiância diária média mensal para a área considerada ( $\frac{Wh}{m^2}$ );

$G_{CNTP}$ : Irradiância na condições normais de temperatura e pressão ( $1.000 \frac{W}{m^2}$ );

$TD$ : A taxa de desempenho é 80% citada por vários autores.

Logo, para estimar a geração a cada mês da cooperativa, foi considerada a irradiação diária para cada mês do ano, como é apresentada na planilha de cálculo da tabela 06:



Tabela 06: Planilha de dimensionamento do sistema fotovoltaico e da energia mensal gerada.

Mês	Consumo Mensal para o projeto (kWh/mês)	Consumo diário médio Mensal - E (kWh/mês)	Irradiação diária média mensal (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	Potência pico do arranjo (kWp)	Energia Mensal Gerada pelo arranjo (kWh/mês)
jan	38999	1258,03	6,034	260,61	46453,12
fev	38999	1392,82	5,684	306,30	39523,92
mar	38999	1258,03	5,654	278,13	43527,67
abr	38999	1299,97	5,166	314,55	38487,84
mai	38999	1258,03	3,922	400,95	30193,76
jun	38999	1299,97	4,008	405,43	29860,49
jul	38999	1258,03	3,288	478,27	25312,87
ago	38999	1258,03	4,27	368,28	32872,86
set	38999	1299,97	5,11	318,00	38070,63
out	38999	1258,03	5,49	286,44	42265,10
nov	38999	1299,97	6,798	239,03	50646,60
dez	38999	1258,03	6,34	248,03	48808,88
Potência Média anual do arranjo (kWp)		<b>310,43</b>	Energia Média anual do arranjo (kWh/mês)		<b>38835,31</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

#### 4.3.4.1 Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico

Definida a potência a ser instalada, pode ser determinado o número de módulos que serão necessários para o sistema. Para o projeto da cooperativa solar será utilizado o módulo de silício multicristalino de 72 células CS6X-320P do fabricante *Canadian Solar* que tem suas características definidas na tabela 07 e o selo do Inmetro e a curva *I-V* encontradas junto ao Anexo C:

Tabela 07: Dados nominais de catálogo do módulo CS6X-320P sob condições STC.

Características	Definições
Dimensões (Larg. x Comp. x Esp.)	1968 x 992 x 5,8 mm
Peso:	22 kg
Potência Máxima (P <sub>máx</sub> ):	320 W
Corrente de curto circuito (I <sub>sc</sub> ):	9,04 A
Corrente nominal (I <sub>mp</sub> ):	8,528 A
Tensão de circuito Aberto (V <sub>oc</sub> ):	45,36 V
Tensão nominal (V <sub>mp</sub> ):	36,86 V
Eficiência % (P/área):	16,7 %

Fonte: Adaptado de LABSOL – UFRGS (2015).

Para obter o número de módulo é realizada a divisão da potência fotovoltaica pela potência de cada módulo, conforme equação (02):

$$N^{\circ} \text{mód} = \frac{P_{FV}}{P_{ot.Mód}} \qquad N^{\circ} \text{mód} = \frac{310,43kWp}{0,320kWp} = 970 \qquad (02)$$

Onde:

$N^{\circ} \text{mód}$ : Número de módulos a ser utilizado;

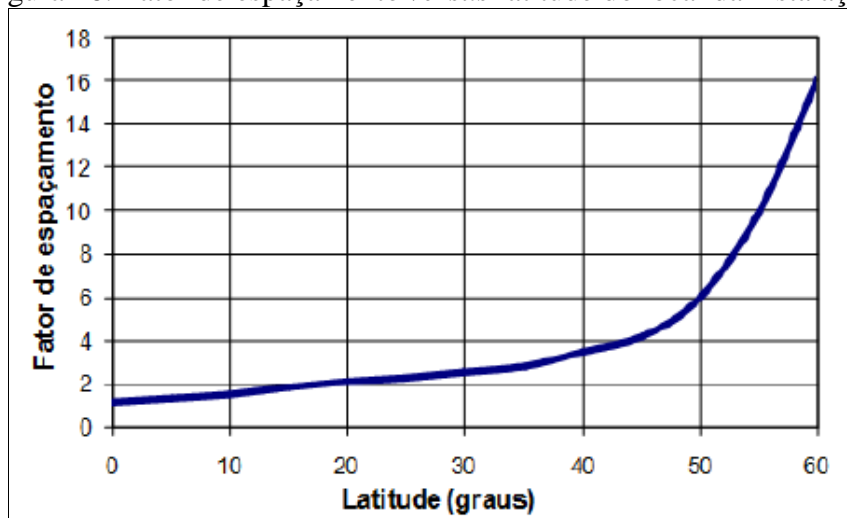
$P_{FV}$ : Potência total fotovoltaica (kWp);

$P_{ot.Mód}$ : Potência nominal indicado pelo fabricante do módulo (kWp em STC).

O total de módulos fotovoltaicos dimensionados para a cooperativa solar ficou em 970. Para saber a área que estes módulos ocuparam em solo precisa-se utilizar além da área do módulo fornecida pelo fabricante, o número de fileiras que serão necessárias de acordo com o tamanho da área disponível, para enfim, realizar o cálculo do espaçamento de módulos em sistemas fotovoltaicos que possuam mais de uma fileira de módulos. Este cálculo é importante para que os módulos da fileira da frente não provoquem sombreamento nas fileiras de trás.

Levando em consideração que no projeto seriam colocados os módulos no sentido retrato, para otimizar as estruturas, e os mesmos tem aproximadamente 1 metro de largura, poderíamos utilizar 7 fileiras 18 módulos, com sobras entre as divisões das *strings* para circular livremente para manutenção. Usando esse primícia pode-se calcular o espaçamento mínimo necessário entre as 7 fileiras para obter-se a ideia de área ocupada pelos módulos, conforme a equação (03) e de acordo com modelo da figura 16:

Figura 16: Fator de espaçamento *versus* latitude do local da instalação.



Fonte: Pinho e Galdino, (2014).

Para Plínio et al, a equação (03) apresenta um método para estimar a distância mínima que o módulo deve ser colocado da fonte de sombreamento.

$$d = F_e(h_{ob} - h_i) \quad (03)$$

$$d = 2,4 * cat. \text{ oposto } mód. = 2,4 * (1,968 * \text{sen}(20^\circ)) = 1,62m$$

Onde:

*d*: distância mínima a ser mantida entre o gerador fotovoltaico e o obstáculo (m);

*F<sub>e</sub>*: fator de espaçamento obtido pela curva da Figura 18;

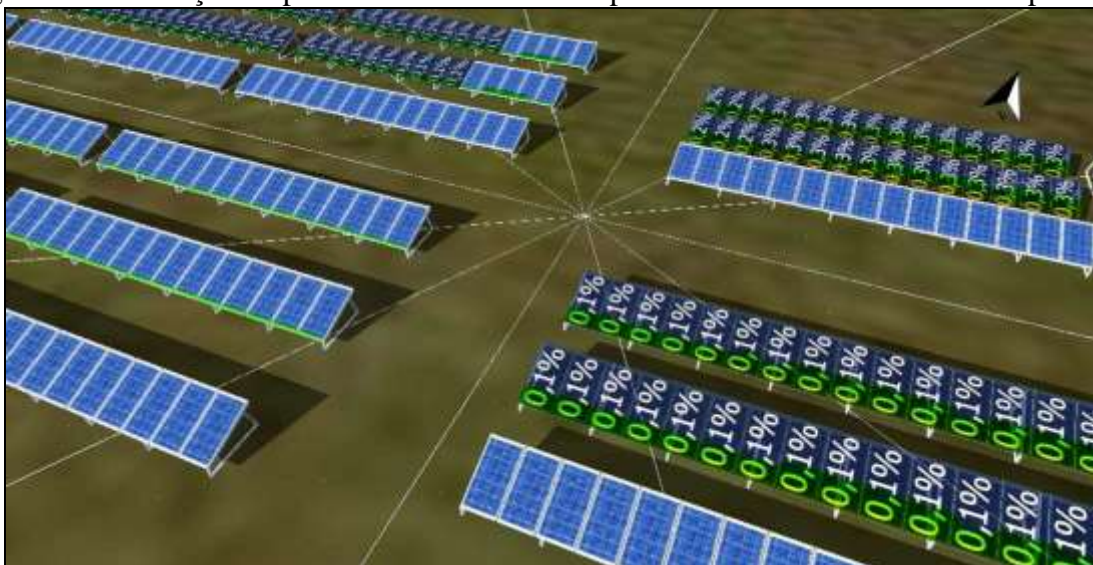
*h<sub>ob</sub>*: altura do obstáculo (m);

*h<sub>i</sub>*: altura de instalação do módulo fotovoltaico (m).

Levando em consideração a bibliografia, os valores encontrados para a distância entre o fim de um módulo e o início de outro ficou em 1,62 m. Para um melhor entendimento desse método, foi utilizado o *software PV\*Sol* do fabricante *Valentin Software*, para o desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos em 3D com simulação de sombreamento e perdas percentuais anuais de geração causadas por sombras em plantas fotovoltaicas.

Foram realizadas quatro simulações no mesmo cenário com fileiras no sentido norte 0° e inclinação 20°, como é apresentado na figura 17. A borda inferior do módulo mais próximo ao solo esta a uma distância de 0,3 m. As distâncias entre as fileiras para simulação foram 1 m, com perdas de 0,2 a 0,3% por módulo. Depois 1,62 m, com perdas de 0,1% por módulo, 2,3 m, com perdas de 0,1% nas partes centralizadas das filas e finalmente 2,9 m onde não apresentou nenhum percentual de perda por sombreamento.

Figura 17: Simulação de perda de eficiência anual por sombras entre fileiras da cooperativa.



Fonte: Elaborado pelo autor (*Software PV\*Sol*, 2017).

Levando em consideração que o valor de 1,62 m do cálculo já representaria níveis de perda praticamente insignificantes, por se tratar de uma área com espaço suficiente, no projeto será optado em utilizar a distância de 2,9 m entre as fileiras de módulos.

#### 4.3.4.2 Dimensionamento do Inversor

Para atender as necessidades do projeto foi selecionado o inversor da marca *Fronius*, modelo ECO 27.0-3-S trifásico com potência de 27 kW e características descritas na tabela 08:

Tabela 08: Especificações do inversor *Fronius* ECO 27.0-3-S selecionado.

Características	Especificações
Potência nominal de saída (Pac)	27.000 W
Max. Potência de saída	27.000 VA
Máx. corrente de saída (Iac nom.)	39 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	3-NPE 380V / 220V ou 3-NPE 400V / 230V
Frequência	50 Hz / 60 Hz (45 – 65 Hz)
Máx. corrente de entrada (Idc máx.)	47,7 A
Min. Tensão de entrada (Vdc mín.)	580 V
Máx. tensão de entrada (Vdc máx.)	1.000 V
Faixa de tensão MPP (Umpp mín – Umpp máx)	580 – 850 V
Números máx. de conexões CC	6
Design do inversor	Sem transformador de acoplamento
Máxima Eficiência	98,3 %

Fonte: Adaptado de *Fronius* (2017).

Como a potência total da planta é de 310,43 kWp, dividindo esse valor por a potência do inversor, é obtido o número de inversores suficientes para o sistema que ficou em 11,5. Logo, para o projeto foi adotado 11 inversores ECO 27.0-3-S, que totalizam 297 kWp de inversor.

O fator de dimensionamento dos inversores (FDI) implica a relação entre a potência nominal C.A. do inversor e a potência de pico do gerador FV. A equação (04) define segundo Pinho et al.

$$FDI = \frac{P_{Nca} (W)}{P_{FV} (Wp)} = \frac{11 \cdot 27 (kW)}{310,43 (kWp)} = 0,957 \quad (04)$$

Onde:

*FDI* (adimensional): Fator de dimensionamento do inversor;

$P_{Nca} (W)$ : Potência nominal em corrente alternada do inversor;

$P_{FV} (Wp)$ : Potência de pico do painel fotovoltaico.

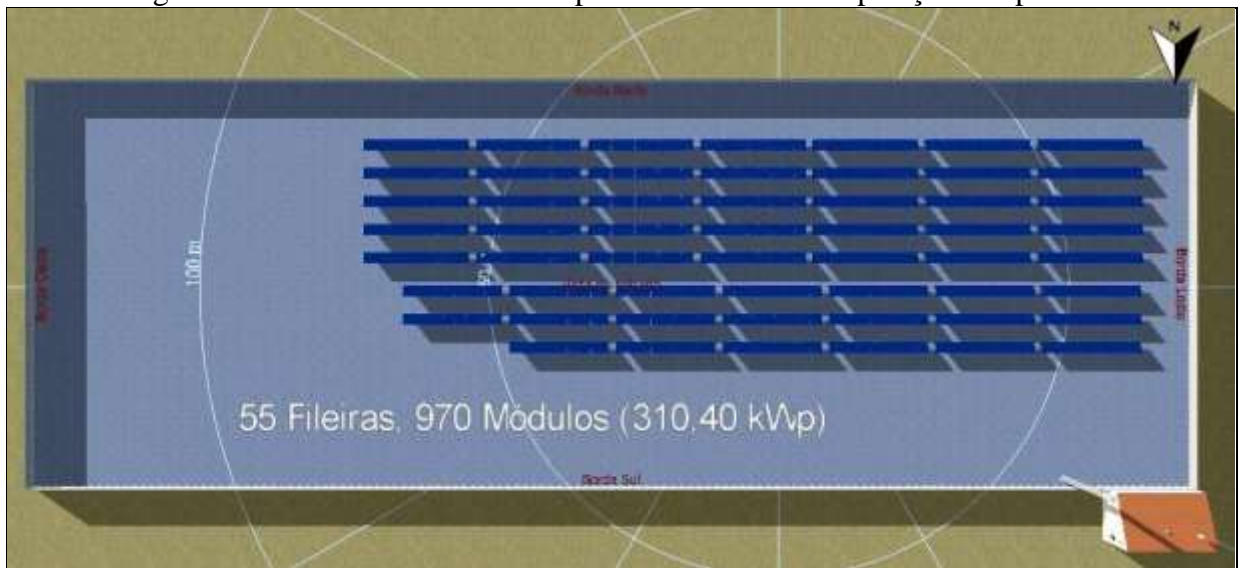
Um valor recomendado para o FDI é normalmente um mínimo de 0,85 e o máximo de 1,05. É recomendado que os inversores fotovoltaicos operem com um pequeno percentual a mais de potência de entrada fotovoltaica, esses valores estendem-se a um limite de 20% a mais de potência C.C.

Para os parâmetros de tensão e corrente de entrada C.C. do inversor, é considerada a máxima tensão do módulo que ocorre quando o painel FV está ainda em circuito aberto ( $V_{oc}$ ) em baixas temperaturas. A máxima entrada de tensão de 1000V suportada pelo inversor, tem que ser dividida pela máxima tensão do módulo nas condições anteriores. Avaliando assim a mínima temperatura já registrada no local da instalação. Para uma margem de segurança no de corrente de entrada C.C. O inversor do projeto suporta até 6 *strings* em paralelo totalizando uma corrente de 47,7 A em sua entrada C.C.

Como são 970 módulos no projeto, os mesmos foram divididos pelo número de inversores, que totalizou 7 inversores com 90 módulos cada e 4 inversores com 85 módulos cada. Visando utilizar o número mínimo possível de *string* por inversor para otimizar fiação e componentes de proteção, esse valor de 90 módulos chegou a um número de 5 *strings*, sendo 18 módulos cada. Para os 4 inversores com 85 módulos, foram dimensionados 5 *strings* de 17 módulos. A planta da figura 18 apresenta a disposição inicial para a potência de 310,4 kWp, a unidade de conversão e proteção, onde ficaram instalados os 11 inversores, transformador, religador, quadros de proteção C.C. e C.A. e também sistema de monitoramento por *wi-fi* entre outros. Para o projeto serão 35 fileiras de 18 módulos e 20 fileiras de 17 módulos. Será deixado um espaço de 1 metro leste e oeste de cada fileira para livre circulação, os espaços norte e sul das fileiras foram definidos nos itens anteriores e adotou-se 2,9 metros de distância.

A área total ocupada pelos painéis fotovoltaicos, contados os espaçamentos para muros e unidade de geração será de 6.580 m<sup>2</sup>, a área total cercada na ilustração da figura 18 para a implantação da cooperativa é de 12.000 m<sup>2</sup>.

Figura 18: Planta ilustrativa da cooperativa solar com disposição dos painéis.



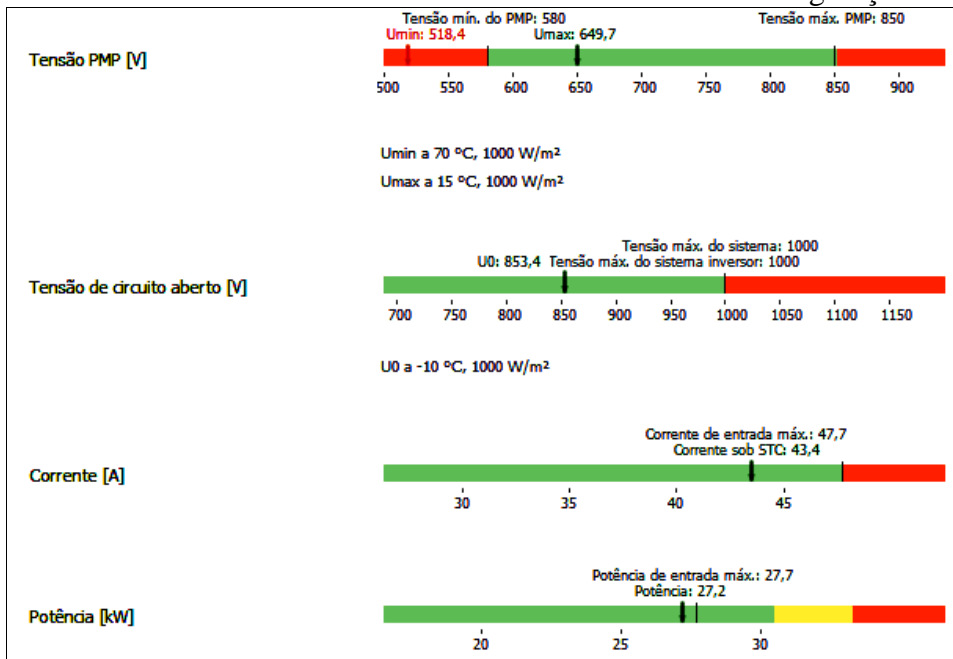
Fonte: Elaborado pelo autor (*Software PV\*Sol*, 2017).

Como o inversor do projeto possui apenas 1 rastreador de MPPT, as entradas internas ficam interligadas em paralelo após passarem por fusível interno já disponível nesse modelo de inversor. Logo, o número de módulos em série de cada entrada tem que ser o mesmo, para que um arranjo não se transforme em carga elétrica com diferença de potencial para o outro.

Nesse projeto, se utilizado apenas 4 *strings* por inversor, a tensão nominal de circuito aberto do conjunto série já ultrapassaria os 1000 V do inversor. Do mesmo modo, se utilizado 6 *strings* cada, algumas *strings* iriam operar com 15 módulos, o que resultaria em uma faixa de tensão de operação MPPT do inversor baixa, principalmente porque no Brasil, segundo Rampinelli (2010), a temperatura dos módulos dos SFVs pode atingir valores superiores de 70°C, tendo como consequência a redução de tensão C.C. do sistema. Isso comprometeria a eficiência de conversão do inversor em percentuais consideráveis, podendo até provocar sua desconexão. Também com 6 *strings* o limite da corrente de curto circuito dos módulos FV nas STC podem ultrapassar os valores de corrente máxima C.C admitida na entrada do inversor.

O SFV foi dimensionado de modo a otimizar o máximo a eficiência de conversão do gerador. São 18 módulos em série, tensão de operação STC de 36,8V, totalizando uma tensão de operação nominal do arranjo de 662,4Vcc. A figura 19 ilustra as variáveis possíveis de entrada o inversor conforme temperaturas máximas e mínimas obtidas no *software* PV\*Sol:

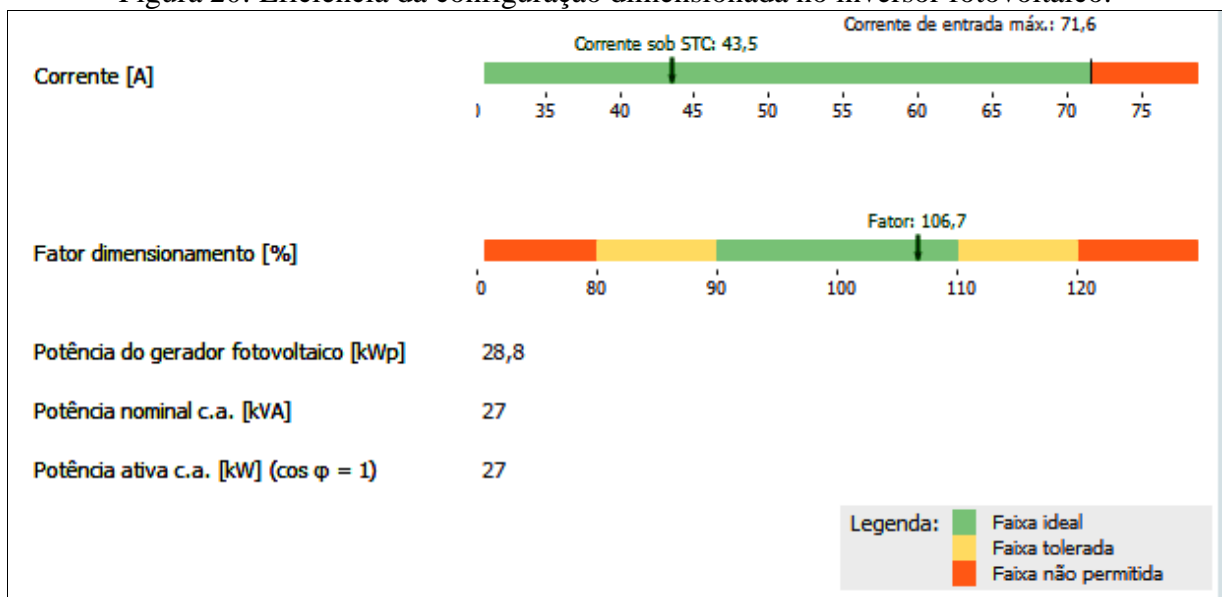
Figura 19: Parâmetros de entrada C.C. do inversor *Fronius* na configuração adotada.



Fonte: Simulador do PV\*Sol, (2017).

Com o FDI em 0,96, pode-se estimar a eficiência de 98% de conversão conforme indicado sobre a curva de eficiência do inversor que pode ser visualizada no Anexo D. A figura 20 apresenta um relatório do *software* PV\*Sol para a eficiência e corrente de entrada do inversor. O sistema faz a divisão das potências para utilizar o FDI ao contrário da bibliográfica utilizado anteriormente.

Figura 20: Eficiência da configuração dimensionada no inversor fotovoltaico.



Fonte: Simulador do PV\*Sol, (2017).

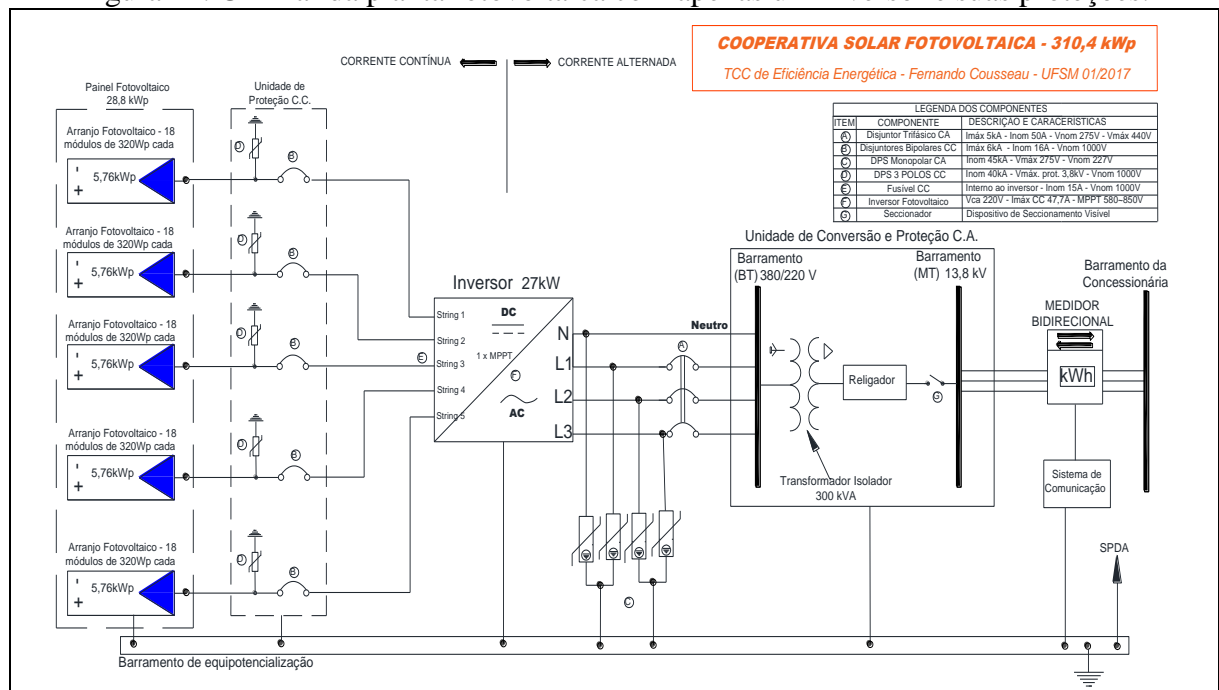
### 4.3.5 Projeto elétrico

O sistema de conexão elétrica da cooperativa que configura uma minigeração distribuída necessita além dos itens de qualquer microgeração, particularidades no sistema de proteção para a rede elétrica como: Transformador isolador, religador ou disjuntor com acionamento de comando secundário como relês ou controle eletrônico, disjuntor seccionador visível (DSV) com lacre externo nas duas posições (aberto e fechado) para acesso do pessoal técnico da concessionária, medição com sistema de comunicação.

O transformador do projeto será um trifásico de 300 kVA, pois a potência de injeção dos inversores ficou no patamar máximo de 297 kVA. A concessionária leva em questão a potência do gerador pelo menor número do conjunto, ou seja, se o inversor tiver a potência maior que a capacidade instalada de módulos, a potência do gerador para a ANEEL será a potência máxima do conjunto de módulos; já se a potência do inversor for menor que o conjunto de módulos, a ANEEL considera a potência do inversor. O item de menor potência representa o gargalo do pico máximo de injeção de potência instantânea na rede elétrica.

A figura 21 apresenta o diagrama unifilar de conexão dos 5 arranjos FV com 1 inversor, para o sistema completo, para os demais basta apenas replicar os 11 inversores no barramento de BT igual ao indicado no desenho. A figura 21 também esta no Apêndice C, onde, pode ser mais bem visualizada.

Figura 21: Unifilar da planta fotovoltaica com apenas um inversor e suas proteções.



Fonte: Elaborado pelo autor (Software AutoCAD, 2017).



Na composição total do sistema da instalação foram projetados 11 unidades de proteção C.C, compostas de 5 disjuntores bipolares de 16A e 1000 VDC de isolação cada, 5 DPS's tripolar de 1000 VDC e 45 kA cada. Os fusíveis que fazem a proteção entre *strings* ficam localizados internamente ao inversor.

Para a proteção C.A. na saída do inversor foram também dimensionados pelo projeto a instalação de 11 unidades de proteção, contendo 1 disjuntor tripolar trifásico de 50A cada e 4 DPS unipolar de 45 kA cada que estão ilustrados através da figura 34 do Anexo F.

#### 4.4 PRODUÇÃO ENERGÉTICA

Para conseguir sintetizar com valores mais concretos as análises financeiras do projeto da cooperativa, foi necessária estimar com a maior precisão possível a futura geração do sistema fotovoltaico. A tabela 09 apresenta as curvas de geração anual para o primeiro ano com seus respectivos dados de tabela da planilha do Excel e do *software* PV\*Sol.

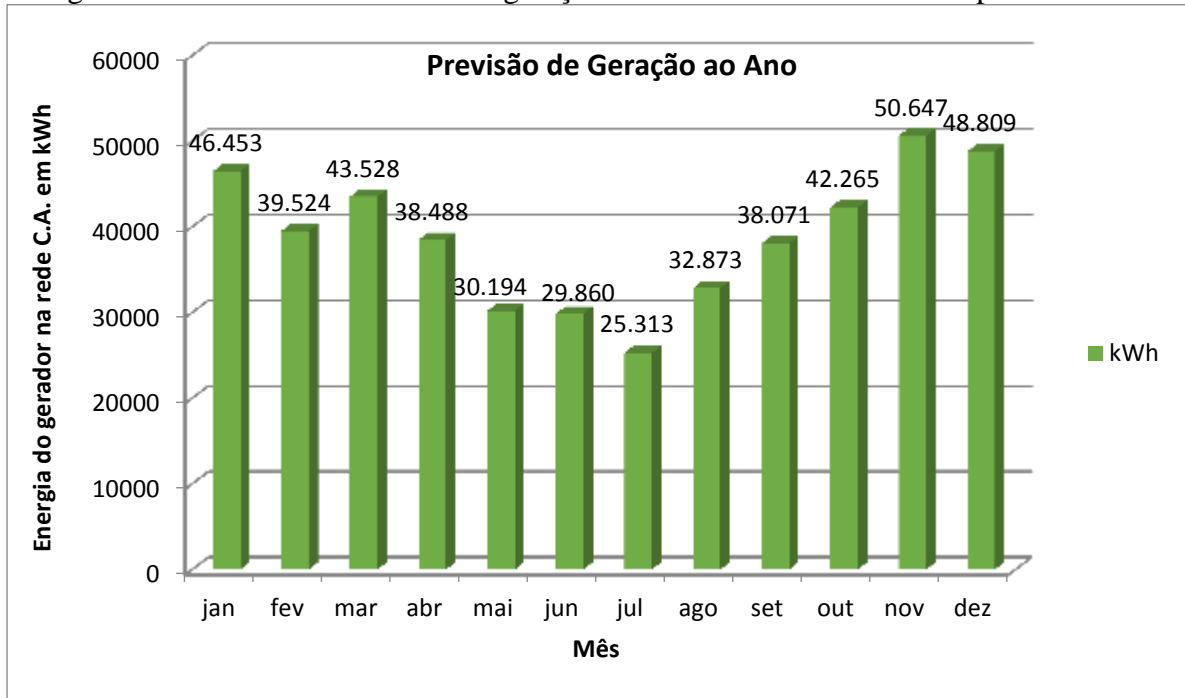
Tabela 09: Energia do gerador fotovoltaico (rede C.A.) pelo PV\*Sol e planilha do autor.

<i>Mês</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>	<i>Méd</i>
<b>MWh</b> PV*Sol	45,55	39,96	44,46	40,87	33,66	33,56	29,42	36,39	41,08	44,64	51,39	48,20	40,76
<b>MWh</b> Excel	46,45	39,52	43,53	38,49	30,19	29,86	25,31	32,87	38,07	42,26	50,65	48,81	38,84

Fonte: Elaborado pelo autor (*Software* PV\*Sol, 2017).

A energia total para o primeiro ano estimada pelo *software* PV\*Sol injetado na rede C.A. é de 468.372 kWh/ano, enquanto a estimada pelos cálculos da planilha é de 466.023 kWh/ano. O desempenho do sistema considerado pelo *software* PV\*Sol é de 82,9%, enquanto o dimensionado no projeto foi de 80%, isso explica a diferença onde o *software* estima um maior valor de kWh gerados ao longo do ano. Dentro desse percentual de desempenho já estão consideradas as perdas no sistema elétrico como: fios, inversor, diodos, sombra parcial, outros. A figura 22 ilustra a curva de geração com o dimensionamento do projeto por planilha Excel.

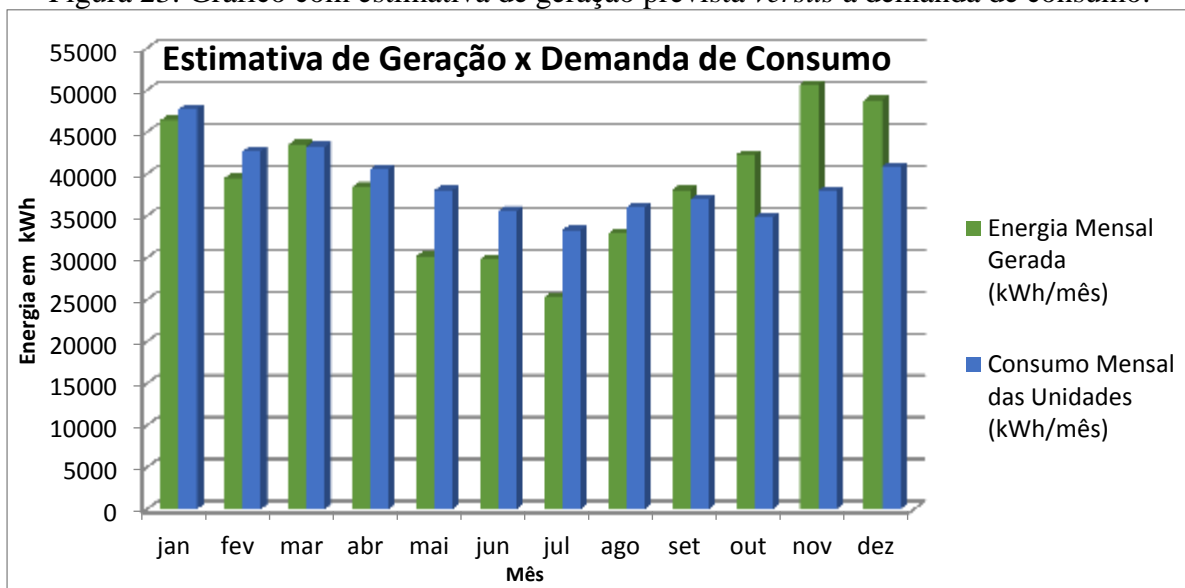
Figura 22: Gráfico de estimativa de geração anual média em kWh da cooperativa solar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A figura 23 apresenta a curva de geração anual prevista mês a mês comparada com a do consumo retirada do histórico das faturas de energia dos cooperados e somadas. Para esses valores de consumo apresentados já foram descontados os somatórios das taxas mínimas de disponibilidade de todos os cooperados que resultam em 1910 kWh/mês.

Figura 23: Gráfico com estimativa de geração prevista versus a demanda de consumo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Como definido na parte de dimensionamento, a energia gerada será dividida e estipulada em percentuais de acordo com o consumo e respectivamente a potência em kWp que cada cooperado resolveu investir dentro do conjunto total que representa a potência da cooperativa. Todos os cooperados definiram investir o equivalente ao seu consumo da fatura de energia descontado a taxa de disponibilidade. Com exceção dos dois últimos cooperados destacados que investirão em apenas 10% do que representa o seu consumo atual na unidade consumidora. Na tabela 10 é encontrado o valor médio mensal de geração destinado a cada cooperado respectivo ao percentual de consumo e investimento de cada sócio.

Tabela 10: Energia média mensal estimada e respectiva para cada cooperado.

<b>COOPERADOS</b>	<b>Média - kWh</b>	<b>Percentual</b>	<b>kWp</b>
Marcia Lorenset	154,35	0,40%	1,23
Ledir Capitaniao	231,03	0,59%	1,85
Vidraçaria Garibaldense	288,78	0,74%	2,31
Everaldo João Moretto	355,50	0,92%	2,84
Mauricio Lazaretti	374,42	0,96%	2,99
Patricia Cousseau	428,20	1,10%	3,42
Pilatti comércio de móveis - Itálínea	458,07	1,18%	3,66
Milton Ghilardi	492,92	1,27%	3,94
Alvaro Ludvig	495,91	1,28%	3,96
Sindicato Trab. Rurais Dois Lajeados	795,65	2,05%	6,36
Valsir Pavoni	1140,19	2,94%	9,11
Friza materiais elétricos hidráulicos	1203,93	3,10%	9,62
João Rosalen	1280,60	3,30%	10,24
Possamai Moveis Ltda	1308,48	3,37%	10,46
Contel Segurança Eletrônica 24Hs	1378,19	3,55%	11,02
Distribuidora Armani Ltda	1405,08	3,62%	11,23
Posto Geremias Leste Coronel Pilar	1631,12	4,20%	13,04
Estúdio rádio Garibaldi AM 1410	1801,41	4,64%	14,40
<i>Mercado Marin Guaporé</i>	1991,61	5,13%	15,92
Jandir João Pilotto	2167,86	5,58%	17,33
<i>Hospital Manoel Francisco Guaporé</i>	2370,01	6,10%	18,94
Posto abastecimento Marin Cotiporã	2565,19	6,61%	20,50
Tarciane Maria Mazuti ME - Guaporé	2740,45	7,06%	21,90
Padaria Sol Nascente	3082,01	7,94%	24,63
Comercial de Alimentos Oiggab	3578,92	9,22%	28,61
Supermercado Bes Veranópolis	5115,44	13,17%	40,89
<b>TOTAL</b>	<b>38835,31</b>	<b>100%</b>	<b>310,40</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O gráfico da figura 24 representa os dados da tabela anterior para a geração média mensal em kWh/mês, onde se pode ver a influencia de cada cooperado na geração total.

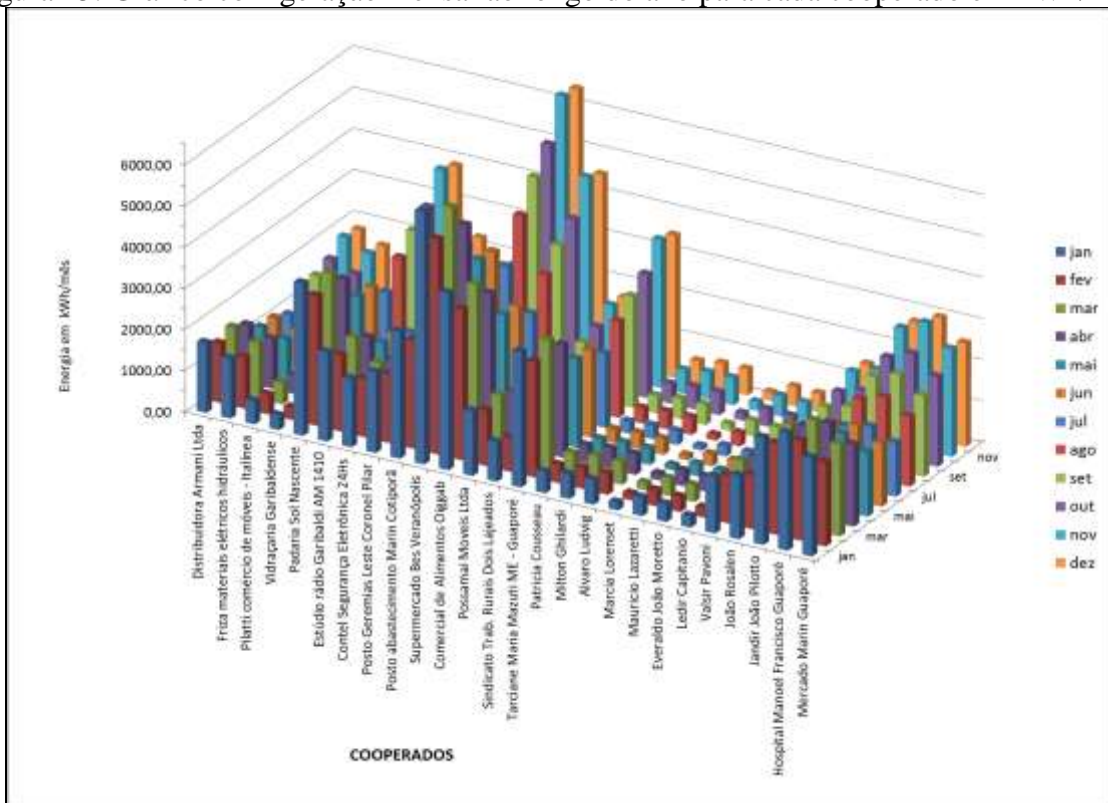
Figura 24: Gráfico com geração média mensal para cada cooperado em kWh/mês.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

No Apêndice E, é encontrada a tabela 17 com os valores de geração mensal ao longo do ano para cada cooperado que é ilustrado pelo gráfico tridimensional da figura 25:

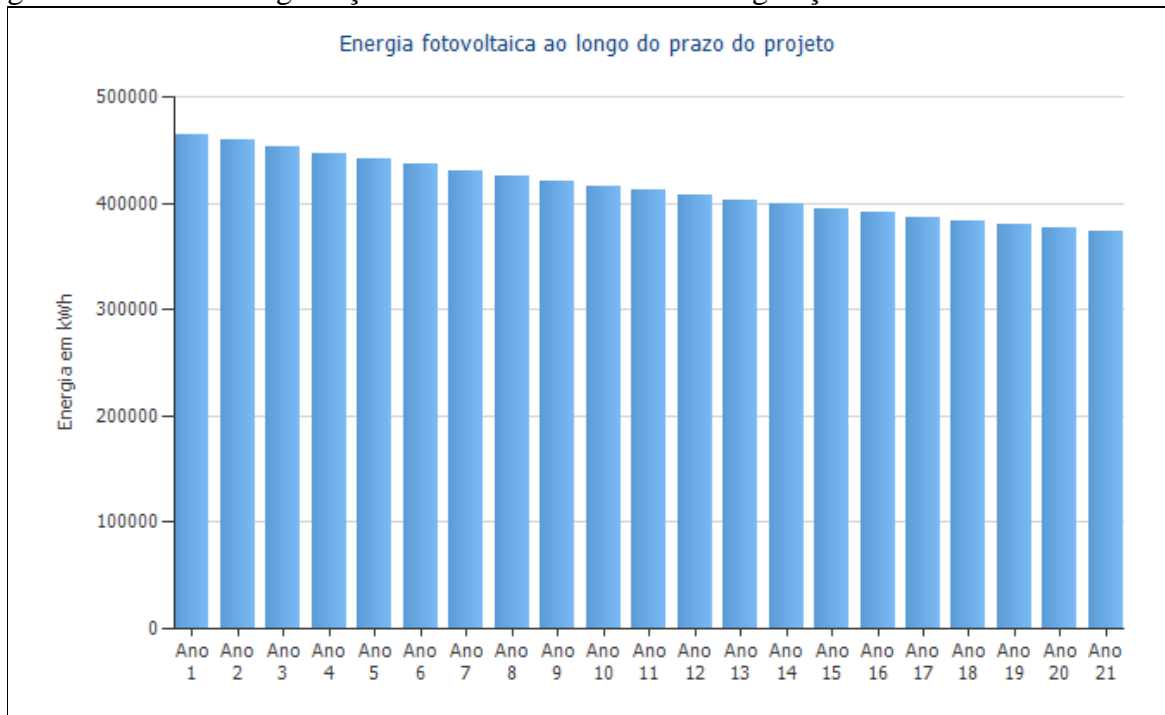
Figura 25: Gráfico com geração mensal ao longo do ano para cada cooperado em kWh/mês.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Como o esperado pelos dados do fabricante dos módulos fotovoltaicos, a eficiência de conversão fotovoltaica diminui em torno de 0,7 a 1% ao ano devido à degradação das células fotovoltaicas, entre as mais predominantes são a corrosão, delaminação e descoloração segundo Thomas (1999). Na figura 26 é demonstrada a perda de eficiência energética de geração de energia pelo sistema fotovoltaico ao longo de 21 anos através da simulação do *software* PV\*Sol. Foi considerado na simulação o pior caso, perda de 1% ao ano na produção dos módulos fotovoltaicos.

Figura 26: Curva de degradação da eficiência do sistema na geração fotovoltaica em kWh/ano.



Fonte: Elaborado pelo autor (*Software* PV\*Sol, 2017).

#### 4.5 ANÁLISES FINANCEIRAS

A análise financeira foi projetada em um cenário onde é possível verificar a viabilidade econômica da cooperativa proposta, buscando aproximar o estudo de viabilidade de uma situação mais real do ponto de vista econômico. Não foi considerado o tempo de maturação do investimento, ou seja, o tempo de construção, considerando a vida útil do sistema de 25 anos.

Para realizar a análise de retorno do investimento e *payback*, primeiramente foram pesquisados os custos de investimento, dentro das variáveis que envolvem toda a construção da cooperativa solar fotovoltaica, com o intuito de aproximar o máximo os valores dos componentes, materiais e mão-de-obra, da realidade atual. A tabela 11 apresenta todos os

custos estimados do sistema e de sua implantação, incluindo custos institucionais, onde estes foram divididos em grupos para uma análise mais abrangente.

Tabela 11: Custos totais estimados e separados para implantação da cooperativa solar.

Grupo	Componente	Valor unit.	Valor total
<b>Kit Gerador Fotovoltaico</b>	Módulos fotovoltaicos <i>Canadian</i> CS6P-320P	R\$ 590,00	R\$ 572.300,00
	Inversores fotovoltaicos <i>Fronius</i> Eco 27.0-3	R\$ 15.400,00	R\$ 169.400,00
	Quadros de Proteção (apenas seccionadora CC)	R\$ 272,27	R\$ 3.000,00
	Estruturas de Alumínio de Solo	R\$ 87,63	R\$ 85.000,00
	Cabos C.C. c/ proteção UV	*	R\$ 12.250,00
	Cabo Terra c/ proteção UV	*	R\$ 5.000,00
	Terminais de aterramento	R\$ 1,00	R\$ 1.000,00
	Terminais MC4	R\$ 22,73	R\$ 2.500,00
	Transporte do sistema	*	R\$ 45.000,00
	<i>Mão de obra instalação fotovoltaica</i>	*	R\$ 80.000,00
<b>Total do Grupo</b>			<b>R\$ 975.450,00</b>
<b>Rede C.A.</b>	Quadros de Proteção + componentes C.A.	R\$ 363,64	R\$ 4.000,00
	Fiação C.A. (10mm <sup>2</sup> / 1kV - 35mm <sup>2</sup> / 15kV)	*	R\$ 10.000,00
	Transformador 300kVA c/transporte	R\$ 16.000,00	R\$ 16.000,00
	Religador	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
	Chave seccionadora c/lacre - DSV	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
	Medidor Bidirecional	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
	Sistema de comunicação (Medição)	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
	DPS's Classe I	R\$ 150,00	R\$ 600,00
	Barras de aterramento (incluso do SPDA)	R\$ 20,00	R\$ 400,00
	Cabo nu 35mm <sup>2</sup> p/ malha de aterramento e SPDA	*	R\$ 8.000,00
	Postes de concreto padrão do ramal de entrada	R\$ 1.000,00	R\$ 5.000,00
	Eletrodutos e caixas de passagens	R\$ 25,00	R\$ 1.000,00
	Componentes do SPDA	*	R\$ 5.000,00
OUTROS (Conectores, Isoladores, Terminais...)	*	R\$ 30.000,00	
<i>Mão de obra instalação elétrica</i>	*	R\$ 40.000,00	
<b>Total do Grupo</b>			<b>R\$ 134.500,00</b>
<b>Obra Civil</b>	Materiais para casa de subestação e geração	*	R\$ 25.000,00
	Materiais para muros e sapatas das estruturas	*	R\$ 50.000,00
	Cerca de arame com poste de concreto	R\$ 33,33	R\$ 18.000,00
	Adequação do solo (Terraplanagem - brita)	*	R\$ 30.000,00
	Câmeras de monitoramento	R\$ 800,00	R\$ 4.000,00
	Instalação da rede internet (roteador, antena...)	*	R\$ 850,00
	Alarme com sensor de barreira a laser	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
	Extintores e placas de sinalização	R\$ 300,00	R\$ 1.000,00
<i>Mão de obra parte Obra Civil</i>	*	R\$ 85.000,00	
<b>Total do Grupo</b>			<b>R\$ 215.350,00</b>
<b>Institucional</b>	Projeto de Engenharia (Elétrico + SPDA + Estrutural)	*	R\$ 20.000,00
	Custos institucionais de abertura da cooperativa	*	R\$ 10.000,00
	Contrato entre cooperados e cooperativa	*	R\$ 8.000,00
	Despesas de escritório, meio ambiente e public.	*	R\$ 10.000,00
<b>Total do Grupo</b>			<b>R\$ 48.000,00</b>
<b>TOTAL do Sistema e da Cooperativa Solar Fotovoltaica Implantada</b>			<b>R\$ 1.373.300,00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Através da tabela 11 foram estimados os custos envolvidos com o projeto além dos principais componentes como módulos fotovoltaicos e inversores. A consulta de valores para o kit gerador fotovoltaico foi realizado com dois distribuidores de grande porte no Brasil. A EBES – Empresa Brasileira de Energia Solar localizada em Campinas / SP e a Aldo Componentes Eletrônicos, localizada em Maringá / PR, distribuidor autorizado da *Canadian Solar Inc.* Os custos para os grupos de implantação da Rede C.A., transformadores, materiais de obra civil e outros foram estimados através de consulta a fabricantes, revendedores e profissionais das áreas afins, todos localizados na região da serra nordeste do RS.

Com base no valor final de R\$ 1.373.300,00, o valor do Wp fixou em R\$/Wp 4,42. Como determinado anteriormente o valor dos custos do kit gerador, obras civis (muro, terreno e unidade de geração), será repassado proporcionalmente a cada cooperado através da porcentagem de consumo/geração em que cada cooperado representa para a cooperativa, com exceção dos custos em comum como os institucionais, construção da rede C.A., subestação e outros (câmeras, alarme, etc), que serão divididos igualmente entre os 26 cooperados. A tabela 12 apresenta mais detalhada essa analogia de divisão:

Tabela 12: Grupo dos custos em comum rateados pelos 26 cooperados.

<b>Componente</b>	<b>Valor unit.</b>	<b>Valor total</b>
Projeto de Engenharia (Elétrico + SPDA)	*	R\$ 20.000,00
Custos institucionais de abertura da cooperativa	*	R\$ 10.000,00
Contrato entre cooperados e cooperativa	*	R\$ 8.000,00
Despesas de escritório, meio ambiente e public.	*	R\$ 10.000,00
Câmeras de monitoramento	R\$ 800,00	R\$ 4.000,00
Instalação da rede internet ( roteador, antena...)	*	R\$ 850,00
Alarme com sensor de barreira a laser	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Extintores e placas de sinalização	R\$ 300,00	R\$ 1.000,00
Postes de concreto padrão do ramal de entrada	R\$ 1.000,00	R\$ 5.000,00
Transformador 300kVA c/transporte	R\$ 16.000,00	R\$ 16.000,00
Religador	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Chave seccionadora c/lacre - DSV	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Medição Indireta Bidirecional	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Sistema de comunicação (Medição)	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
DPS's Classe I	R\$ 150,00	R\$ 600,00
<b>Total dos custos divididos em comum pelos 26 cooperados</b>		<b>R\$ 91.450,00</b>
<b>Custo em comum dividido para cada cooperado</b>		<b>R\$ 3.517,31</b>
<b>Total dos custos divididos proporcional ao capital dos sócios</b>		<b>R\$ 1.281.850,00</b>
<b>TOTAL do Sistema</b>		<b>R\$ 1.373.300,00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Através das tabelas de custos para implantação do sistema, foram divididos os valores de investimento para os cooperados onde cada cooperado tem um valor de investimento inicial igual a R\$ 3.517,31 mais o seu percentual respectivo de investimento vezes o valor total dos custos proporcionais que ficou em R\$ 1.281.850,00. Esta divisão aparece demonstrada através da tabela 13, onde é possível verificar o tamanho do sistema respectivo em kWp para cada cooperado, assim como o investimento total e em R\$/Wp.

Tabela 13: Investimento, valor do Wp, potência de pico e retorno respectivo de cada cooperado.

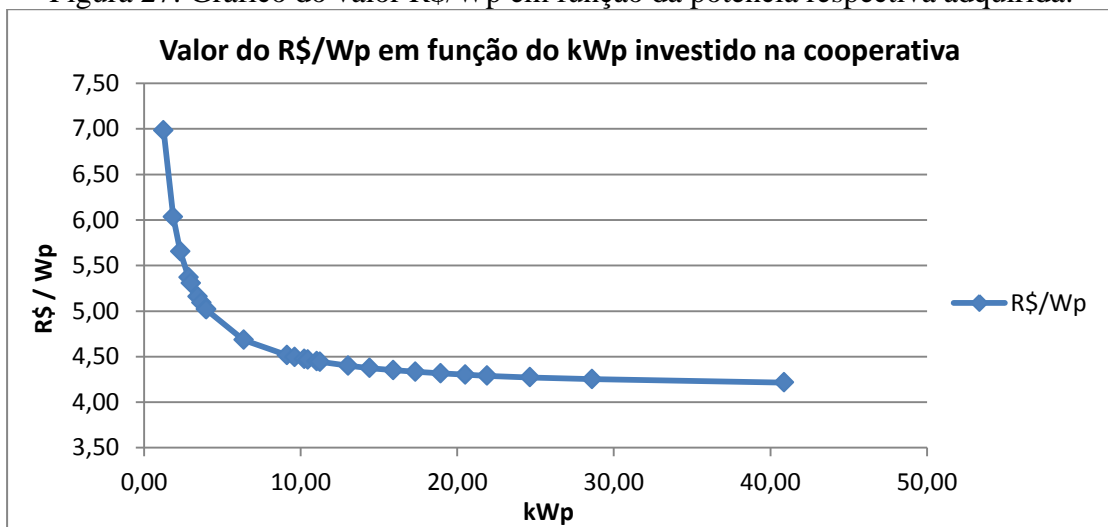
<b>COOPERADO</b>	<b>Percentual</b>	<b>kWp</b>	<b>Investimento</b>	<b>R\$/Wp</b>	<b>Retorno (anos)</b>
Marcia Lorensen	0,40%	1,23	R\$ 8.611,97	<b>6,98</b>	10,26
Ledir Capitania	0,59%	1,85	R\$ 11.142,87	<b>6,03</b>	8,87
Vidraçaria Garibaldense	0,74%	2,31	R\$ 13.049,26	<b>5,65</b>	8,31
Everaldo João Moretto	0,92%	2,84	R\$ 15.251,47	<b>5,37</b>	7,89
Mauricio Lazaretti	0,96%	2,99	R\$ 15.875,97	<b>5,30</b>	7,79
Patricia Cousseau	1,10%	3,42	R\$ 17.650,89	<b>5,16</b>	7,58
Pilatti comércio de móveis - Itálínea	1,18%	3,66	R\$ 18.636,95	<b>5,09</b>	7,48
Milton Ghilardi	1,27%	3,94	R\$ 19.787,36	<b>5,02</b>	7,38
Alvaro Ludvig	1,28%	3,96	R\$ 19.885,97	<b>5,02</b>	7,37
Sindicato Trab. Rurais Dois Lajeados	2,05%	6,36	R\$ 29.779,47	<b>4,68</b>	6,88
Valsir Pavoni	2,94%	9,11	R\$ 41.152,07	<b>4,52</b>	6,63
Friza materiais elétricos hidráulicos	3,10%	9,62	R\$ 43.255,68	<b>4,50</b>	6,60
João Rosalen	3,30%	10,24	R\$ 45.786,57	<b>4,47</b>	6,57
Possamai Moveis Ltda	3,37%	10,46	R\$ 46.706,90	<b>4,47</b>	6,56
Contel Segurança Eletrônica 24Hs	3,55%	11,02	R\$ 49.007,72	<b>4,45</b>	6,54
Distribuidora Armani Ltda	3,62%	11,23	R\$ 49.895,17	<b>4,44</b>	6,53
Posto Geremias Leste Coronel Pilar	4,20%	13,04	R\$ 57.356,39	<b>4,40</b>	6,46
Estúdio rádio Garibaldi AM 1410	4,64%	14,40	R\$ 62.976,95	<b>4,37</b>	6,43
<i>Mercado Marin Guaporé</i>	5,13%	15,92	R\$ 69.254,89	<b>4,35</b>	6,39
Jandir João Pilotto	5,58%	17,33	R\$ 75.072,67	<b>4,33</b>	6,37
<i>Hospital Manoel Francisco Guaporé</i>	6,10%	18,94	R\$ 81.745,03	<b>4,32</b>	6,34
Posto abastecimento Marin Cotiporã	6,61%	20,50	R\$ 88.187,31	<b>4,30</b>	6,32
Tarciane Maria Mazuti ME - Guaporé	7,06%	21,90	R\$ 93.972,22	<b>4,29</b>	6,30
Padaria Sol Nascente	7,94%	24,63	R\$ 105.246,22	<b>4,27</b>	6,28
Comercial de Alimentos Oiggab	9,22%	28,61	R\$ 121.647,74	<b>4,25</b>	6,25
Supermercado Bes Veranópolis	13,17%	40,89	R\$ 172.364,29	<b>4,22</b>	6,19
<b>Média do sistema para a cooperativa</b>		<b>11,94</b>	<b>R\$ 52.819,23</b>	<b>4,78</b>	<b>6,50</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>310,40</b>	<b>R\$ 1.373.300,00</b>	<b>4,42</b>	<b>6,50</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



No gráfico da figura 27 é possível verificar a curva de investimento em R\$/Wp em função da aquisição em kWp em que os cooperados estão inseridos, cada um com seu respectivo consumo/geração. É possível analisar que o sistema com investimento mais elevado em torno de R\$ 7,00 ao Wp ficou com o menor sistema, ou melhor, o menor percentual de geração. Se observa que para o cooperado de geração com respectiva potência de pico entre 11 a 13 kWp, o preço investido é similar ao preço total de R\$ 4,42 ao Wp que foi o de implantação da cooperativa, isso representa um valor em torno de R\$ 53.000,00. Com potencias acima dessas, o valor investido respectivo de cada sócio se torna inferior ao médio de aquisição geral.

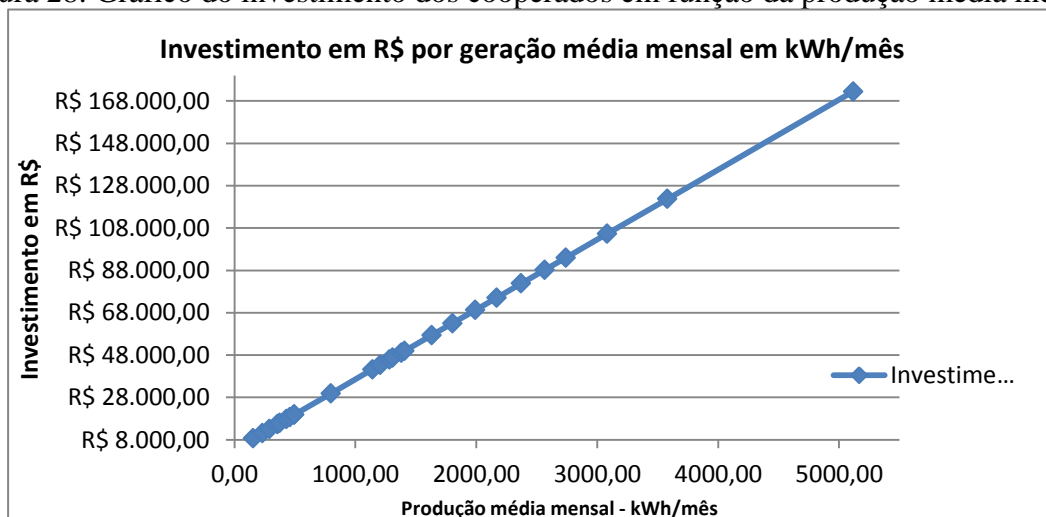
Figura 27: Gráfico do valor R\$/Wp em função da potência respectiva adquirida.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

No gráfico da figura 28 é apresentada a curva de investimento dos cooperados em função da geração média mensal em kWh/mês.

Figura 28: Gráfico do investimento dos cooperados em função da produção média mensal.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Em uma escala que é considerada até o maior investidor, é possível analisar que a curva é praticamente linear, investimento por produção média mensal.

#### 4.5.1 Retorno do Investimento (*Payback*)

A análise pelo método de retorno do investimento pelo critério do cálculo de *payback* simples e descontado foi realizada através do *software* PV\*Sol. O *software* tem opções ajustáveis onde os valores apresentados nas tabelas 14 e 15 consideram a degradação de 1% ao ano do sistema, a taxa de desconto de 1% ao ano do capital, a taxa de consumo interna da própria unidade consumidora estimada em 100 kWh/mês, custos operacionais para a cooperativa estimado em R\$ 7200,00 ao ano, esses dois últimos itens agregando inflação de 5% ao ano como um acréscimo nos custos da análise.

Foi considerado o preço do kWh com impostos, nesse caso em específico, porque a maioria dos cooperados são unidades consumidoras do Grupo B2 Comercial, logo, foi utilizado o valor médio atual de R\$ 0,66 ao kWh como aparece na tabela 14, encontrado na maioria das faturas de energia elétrica dos cooperados. Esse será o valor que a futura geração irá compensar do consumo do cooperado.

Tabela 14: Análise financeira estimada para 20 anos da planta fotovoltaica unificada.

<b>Dados do sistema</b>	
Injeção na rede no primeiro ano	464.735 kWh/ano
Potência do gerador fotovoltaico	310,4 kWp
Prazo desta análise para o projeto	20 anos
<b>Parâmetros econômicos</b>	
Taxa interna de retorno	14,47 %
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 2.441.194,45
Prazo de amortização	6,5 anos
Custos de geração de energia	0,18 R\$/kWh
<b>Vista geral de pagamentos</b>	
Investimento específico	4,42 R\$/Wp
Custos de investimento	R\$ 1.373.300,00
Custos anuais	8.400,00 R\$/ano
<b>Remuneração e economia</b>	
Remuneração total no primeiro ano	306.736,94 R\$/ano
Preço da eletricidade	0,66 R\$/kWh
Remuneração da eletricidade	306.736,94 R\$/ano

Fonte: Elaborado pelo autor (*Software* PV\*Sol, 2017).

Para a análise foi considerado uma taxa 30% de imposto sobre a energia injetada referente ao ICMS que não fica isento mesmo sendo no RS por se tratar de unidades consumidoras com titularidades diferentes, conforme determinado pela CPFL Energia. A taxa interna de retorno do projeto ficou em 14,47%. O quadro 01 apresenta a análise com o fluxo de caixa total da cooperativa, onde correspondem ao montante analisado para os 26 cooperados.

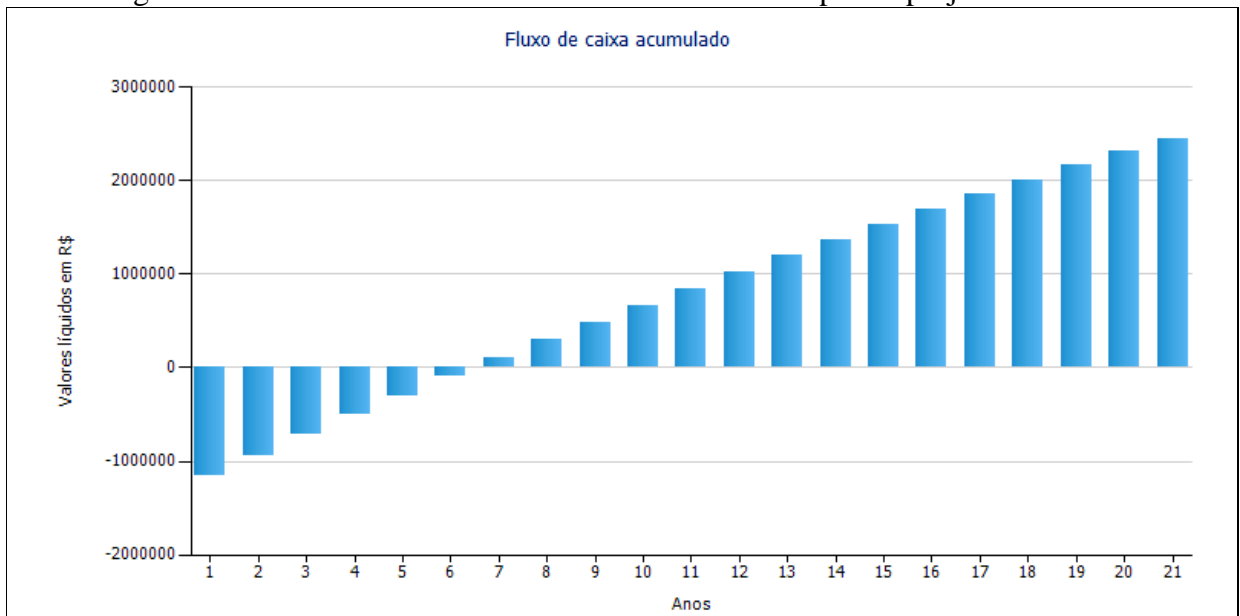
Quadro 01: Fluxo de caixa unificado para o projeto em 20 anos.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Investimentos	-R\$ 1.373.300,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custos operacionais	-R\$ 7.128,71	-R\$ 7.340,46	-R\$ 7.558,49	-R\$ 7.783,00	-R\$ 8.014,18
Custos de consumo	-R\$ 1.188,12	-R\$ 1.235,17	-R\$ 1.284,09	-R\$ 1.334,95	-R\$ 1.387,81
Amortização	-R\$ 67.985,15	-R\$ 67.312,03	-R\$ 66.645,57	-R\$ 65.985,72	-R\$ 65.332,39
Tarifa de injeção	R\$ 287.290,72	R\$ 296.712,20	R\$ 289.961,44	R\$ 283.438,25	R\$ 277.133,61
Total antes de impostos	R\$ 210.988,74	R\$ 220.824,54	R\$ 214.473,29	R\$ 208.334,59	R\$ 202.399,22
Restituição de impostos	-R\$ 63.296,62	-R\$ 66.247,36	-R\$ 64.341,99	-R\$ 62.500,38	-R\$ 60.719,77
Total após impostos	R\$ 147.692,12	R\$ 154.577,18	R\$ 150.131,30	R\$ 145.834,21	R\$ 141.679,46
Fluxo de caixa anual	-R\$ 1.157.622,74	R\$ 221.889,21	R\$ 216.776,87	R\$ 211.819,93	R\$ 207.011,85
Fluxo de caixa acumulado	-R\$ 1.157.622,74	-R\$ 935.733,53	-R\$ 718.956,66	-R\$ 507.136,73	-R\$ 300.124,88
	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Investimentos	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custos operacionais	-R\$ 8.252,22	-R\$ 8.497,34	-R\$ 8.749,73	-R\$ 9.009,63	-R\$ 9.277,24
Custos de consumo	-R\$ 1.442,78	-R\$ 1.499,92	-R\$ 1.559,32	-R\$ 1.621,08	-R\$ 1.685,28
Amortização	-R\$ 64.685,54	-R\$ 64.045,09	-R\$ 63.410,98	-R\$ 62.783,14	-R\$ 62.161,53
Tarifa de injeção	R\$ 271.038,85	R\$ 265.145,68	R\$ 259.446,16	R\$ 253.932,67	R\$ 248.597,89
Total antes de impostos	R\$ 196.658,31	R\$ 191.103,34	R\$ 185.726,13	R\$ 180.518,82	R\$ 175.473,84
Restituição de impostos	-R\$ 58.997,49	-R\$ 57.331,00	-R\$ 55.717,84	-R\$ 54.155,65	-R\$ 52.642,15
Total após impostos	R\$ 137.660,82	R\$ 133.772,34	R\$ 130.008,29	R\$ 126.363,17	R\$ 122.831,69
Fluxo de caixa anual	R\$ 202.346,35	R\$ 197.817,43	R\$ 193.419,27	R\$ 189.146,32	R\$ 184.993,22
Fluxo de caixa acumulado	-R\$ 97.778,53	R\$ 100.038,90	R\$ 293.458,17	R\$ 482.604,49	R\$ 667.597,70
	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15
Investimentos	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custos operacionais	-R\$ 9.552,80	-R\$ 9.836,55	-R\$ 10.128,72	-R\$ 10.429,58	-R\$ 10.739,37
Custos de consumo	-R\$ 1.752,02	-R\$ 1.821,41	-R\$ 1.893,54	-R\$ 1.968,53	-R\$ 2.046,50
Amortização	-R\$ 61.546,07	-R\$ 60.936,70	-R\$ 60.333,37	-R\$ 59.736,01	-R\$ 59.144,56
Tarifa de injeção	R\$ 243.434,83	R\$ 238.436,77	R\$ 233.597,28	R\$ 228.910,20	R\$ 224.369,60
Total antes de impostos	R\$ 170.583,94	R\$ 165.842,11	R\$ 161.241,65	R\$ 156.776,08	R\$ 152.439,18
Restituição de impostos	-R\$ 51.175,18	-R\$ 49.752,63	-R\$ 48.372,49	-R\$ 47.032,82	-R\$ 45.731,75
Total após impostos	R\$ 119.408,76	R\$ 116.089,48	R\$ 112.869,15	R\$ 109.743,26	R\$ 106.707,42
Fluxo de caixa anual	R\$ 180.954,82	R\$ 177.026,18	R\$ 173.202,52	R\$ 169.479,26	R\$ 165.851,99
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 848.552,53	R\$ 1.025.578,71	R\$ 1.198.781,23	R\$ 1.368.260,49	R\$ 1.534.112,48
	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
Investimentos	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custos operacionais	-R\$ 11.058,36	-R\$ 11.386,82	-R\$ 11.725,05	-R\$ 12.073,31	-R\$ 12.431,93
Custos de consumo	-R\$ 2.127,54	-R\$ 2.211,80	-R\$ 2.299,40	-R\$ 2.390,47	-R\$ 2.485,14
Amortização	-R\$ 58.558,97	-R\$ 57.979,18	-R\$ 57.405,13	-R\$ 56.836,76	-R\$ 56.274,02
Tarifa de injeção	R\$ 219.969,82	R\$ 215.705,43	R\$ 211.571,21	R\$ 207.562,17	R\$ 203.673,51
Total antes de impostos	R\$ 148.224,95	R\$ 144.127,62	R\$ 140.141,64	R\$ 136.261,63	R\$ 132.482,43
Restituição de impostos	-R\$ 44.467,49	-R\$ 43.238,29	-R\$ 42.042,49	-R\$ 40.878,49	-R\$ 39.744,73
Total após impostos	R\$ 103.757,47	R\$ 100.889,34	R\$ 98.099,15	R\$ 95.383,14	R\$ 92.737,70
Fluxo de caixa anual	R\$ 162.316,44	R\$ 158.868,52	R\$ 155.504,28	R\$ 152.219,90	R\$ 149.011,72
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 1.696.428,92	R\$ 1.855.297,43	R\$ 2.010.801,71	R\$ 2.163.021,61	R\$ 2.312.033,33

Fonte: Elaborado pelo autor (Software PV\*Sol, 2017).

As taxas de degradação e aumento de preço foram aplicadas mensalmente sobre todo o prazo do projeto, começando logo no primeiro ano. O tempo de retorno do investimento descontado é de 6,5 anos ilustrado na figura 29. A partir do 7º ano, o fluxo de caixa acumulado começa a ser positivo. O VPL no décimo ano apresenta um valor de R\$ 667.597,70 e no vigésimo ano apresenta um valor estimado em torno de R\$ 2.312.033,33. Esta análise do projeto como um todo não corresponde diretamente a um cooperado individualmente, visto que cada cooperado tem um tempo de retorno de capital variável conforme a demanda de geração e investimento inicial.

Figura 29: Gráfico com fluxo de caixa acumulado total para o projeto unificado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Se realizado os cálculos financeiros da cooperativa para um fluxo de caixa com isenção total de ICMS na energia injetada, na mesma modalidade de micro e minigeração distribuída em unidade consumidora ou auto consumo remoto, o retorno financeiro do capital investido contando todos os outros descontos encurtaria para 4,9 anos.

A tabela 13 apresentou em sua última coluna, o tempo de retorno do investimento para cada cooperado individualmente. Para essa estimativa foi analisado o fluxo de caixa ano a ano e contabilizado com o percentual respectivo de cada cooperado, assim, através dos montantes respectivos do percentual de energia de cada cooperado foi possível estimar o tempo de retorno do capital investido para cada cooperado separadamente.

## 5. CONCLUSÃO

A partir da metodologia apresentada, foi possível atingir os objetivos deste trabalho, bem como definir dados e viabilidade para implantação da cooperativa de geração fotovoltaica. O dimensionamento técnico da cooperativa apresentada é suficiente para nortear futuros projetistas desse segmento, sendo assim, podendo o projeto proposto ser colocado em prática no futuro com suas devidas atribuições.

O tempo de retorno do investimento de 6,5 para essa modalidade ficou dentro do *payback* que se encontra na atualidade para sistemas de microgeração fotovoltaica instaladas de forma individual ou na modalidade auto consumo remoto.

O investimento de cooperados que se enquadram com sistemas acima de 10 kWp, esta relativamente abaixo do investimento praticado no mercado na atualidade presente deste trabalho, isso de forma individual, ou seja, onde o consumidor investe em um único sistema para uma unidade consumidora.

Os valores obtidos para o tempo de retorno do investimento e o valor do Wp se mostraram compatíveis com os preços praticados no mercado. Esses resultados podem guiar investidores e consumidores sobre as possibilidades atuais de inserção de cooperativas de energia solar fotovoltaica de micro e minigeração distribuída.

Com essa proposição de trabalho espera-se ter em mãos um documento com estudo direcionado a essa aplicação, podendo reunir cooperados do perfil especificado.

Apresentamos algumas possíveis sugestões e recomendações para trabalhos futuros que possam a vir:

Estudar a eficiência do sistema de geração compartilhada de energia fotovoltaica com mais de uma alternativa de tecnologia das células fotovoltaicas.

Analisar a eficiência de geração através de cooperativa solar com o uso de seguidores de um ou dois eixos estudando as sua viabilidade econômica para essa modalidade de geração.

Estudar com mais detalhes a variabilidade dos preços e tarifas para cada cooperado para uma análise mais aprofundada de retorno do capital investido de cada cooperado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Almeida, M.** Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. São Paulo: Dissertação de Mestrado, 2012.

**Almeida, Pedro Machado de. 2011.** Condicionamento da Energia Solar Fotovoltaica para Sistemas Interligados à Rede Elétrica. *Universidade Federal de Juiz de Fora*. [Online] 2011. [Citado em: 08 de abril de 2017.] <http://www.ufjf.br/labsolar/2011/05/26/condicionamento/>.

**Anuário Coober, 2017.** Cooperativa Brasileira de Energia Renovável. Editor Jorginho Quadros consultoria.

**Aneel. Online.** Resolução Normativa 482/2012. *Aneel*. Online. [Citado em: 27 de março de 2017.] [www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/FAQ\\_GD\\_Atualizado.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/FAQ_GD_Atualizado.pdf).

**Aneel. Online.** Resolução Normativa 687/2015. *Aneel*. Online. [Citado em: 01 de abril de 2017.] <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>

**COOPER, 2016.** Cooperativa Brasileira de Energia Renovável. Website: Disponível em: [www.coober.com.br](http://www.coober.com.br); Acesso em 05 de abril de 2017.

**COOPER, 2017. Anuário.** Website: Disponível em: <http://www.youblisher.com/p/1810906-COOPER-Anuario/>

**CPFL, Energia.** Website: Disponível em: <https://servicosonline.cpfl.com.br/microgeracao.aspx>. Acesso em 15/04/2017.

**CREA-RS, 2017.** Conselho em Revista. #119 ANO XIII – Março/Abril 2017. ISSN: 2175-103X. Revista do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul.

**CRELUZ, 2016.** Cooperativa Boa Vista de energia solar fotovoltaica no estado do Rio Grande do Sul. Website: Disponível em: <http://www.creluz.com.br/noticia/grupo-creluz-inaugura-a-primeira-usina-solar-do-estado>; Acesso em 21 de abril de 2017.

**Freitas Faricelli, Christian de. 2008.** SEGUIDOR SOLAR PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. *Poli/USP*. 2008.

**Jardim, C. D. S.** A Inserção da Geração Solar Fotovoltaica em Alimentadores Urbanos Enfocando a Redução do Pico de Demanda Diurno. Tese de Doutorado - PPGEC, UFSC, Florianópolis, 2007.

**LABSOL. 2015.** Ensaio de módulo fotovoltaico Canadian Solar CS6X-320P. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Relatório Técnico LABSOL UFRGS 117/2015.

**La Huerta Solar Jeresa S. Coop.** Cooperativa de Energia Renovável. La Torrecilla, Espanha [Online]: <http://www.lajeresa.com>

**MANUAL DE REGISTRO DE COOPERATIVA.** Secretaria de Micro e Pequena Empresa. Instrução Normativa de DREI nº 26, de 10 de setembro de 2014. Brasília, Distrito Federal.

**NT-Solar.** Núcleo de Tecnologia em Energia Solar. PUCRS. [Online]

**Peraza, Danielle Goulart. 2013.** Estudo de Viabilidade da Instalação de Usinas Solares Fotovoltaicas no Estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

**Pereira, Enio, et al. 2006.** Atlas Brasileiro de Energia Solar. ISBN: 85-17-00030-7 ISBN: 978-85-17-00030-0. São José dos Campos, 1ª Edição, INPE, 2006.

**Pinho, João Tavares e Galdino, Marco Antonio. 2014.** *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro : CEPEL - CRESESB, 2014.

**PVSOL, software. [Online].** [Citado em 03 de abril de 2017.] <http://www.valentin-software.com/produkte/photovoltaik/57/pvsol-premium>.

**Rampinelli, G. 2010.** Estudo de Características Elétricas e Térmicas de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. Porto Alegre: Tese de Doutorado.

**Santos, Ísis Portolan. 2014.** Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) para arquitetos e engenheiros civis. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

**SOM Energia.** A Cooperativa de Energia Verde. Catalunha, Espanha, 2011. [Online]: <https://www.somenergia.coop/> [Citado em 13 de abril de 2017.]

**SWERA.** Solar and Wind Energy Resource Assessment Programme. UNEP. [https://maps.nrel.gov/swera/?visible=swera\\_dni\\_nasa](https://maps.nrel.gov/swera/?visible=swera_dni_nasa) - Acesso em 22/05/2017.

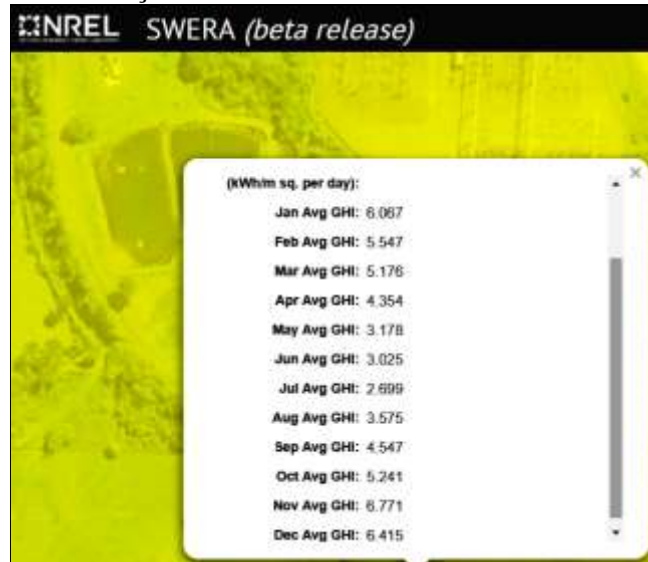
**THOMAS, R. 1999.** Photovoltaic in buildings: a design guide. ETSU. Londres.

**UFRGS, Laboratório de Energia Solar da. LABSOL.** [Online] [www.solar.ufrgs.br](http://www.solar.ufrgs.br). - Software: RADIASOL.

**Zilles, Roberto, et al. 2012.** Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede Elétrica. São Paulo : Oficina de Textos, 2012. ISBN: 978-85-7975-052-6.

**ANEXO A** – Dados utilizados para irradiação solar horizontal no local da cooperativa no exato ponto central das coordenadas da futura instalação na cidade de Garibaldi / RS.

Figura 30: Dados de irradiação solar média diária em kWh/m<sup>2</sup>.dia do site do SWERA.



Fonte: Base de dados do SWERA, (2017).

**ANEXO B** – Dados de máxima irradiação média diária da tabela BIPV para latitude do local e ajuste na inclinação ideal para os módulos. Para Garibaldi ficou a mesma de Porto Alegre (RS).

Tabela 15: Definição da inclinação com máxima média diária de irradiação com *software* Radiansol.

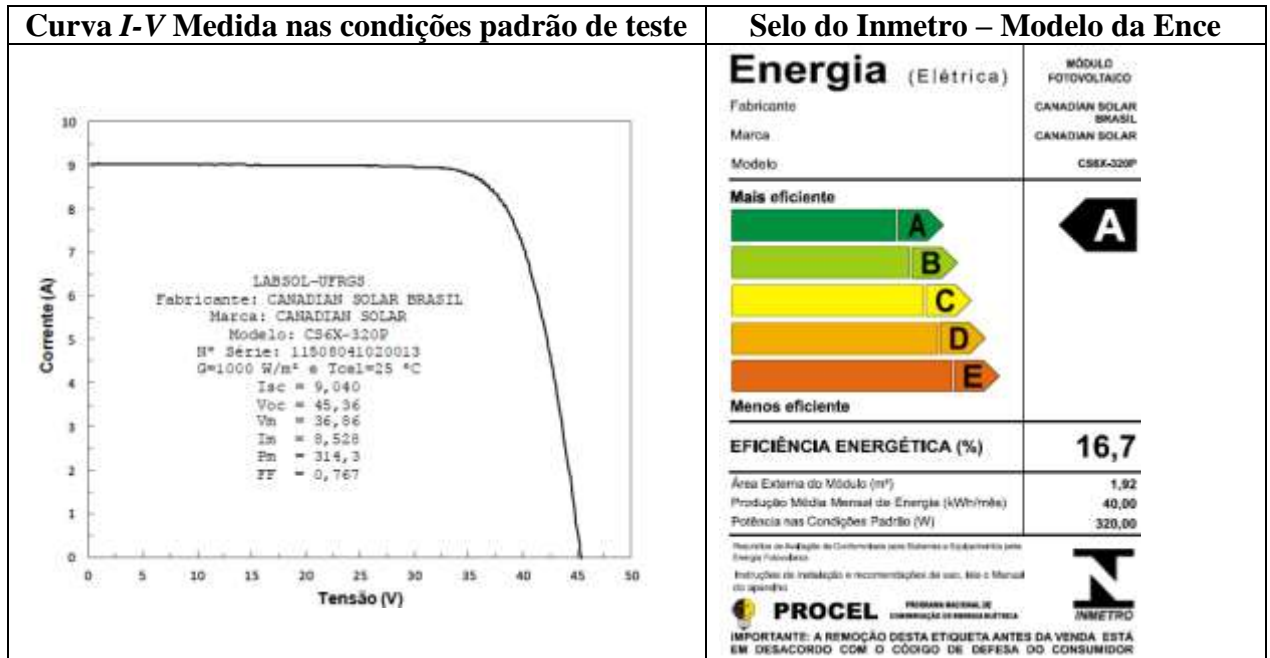
Capital	Latitude	Inclinação	Máxima média diária de irradiação (kWh/m <sup>2</sup> dia)
Boa Vista (RR)	0º	3º	5.3
Macapá (AP)	0º	7º	5.4
Belém (PA)	1º	8º	5.4
São Luís (MA)	2º	7º	5.6
Manaus (AM)	3º	9º	5.1
Fortaleza (CE)	4º	8º	5.7
Teresina (PI)	5º	9º	5.8
Natal (RN)	6º	8º	5.5
João Pessoa (PB)	7º	9º	5.4
Recife (PE)	8º	10º	5.2
Maceió (AL)	9º	10º	5.3
Porto Velho (RO)	9º	13º	5.2
Palmas (TO)	10º	15º	5.6
Rio Branco (AC)	10º	14º	5.3
Aracaju (SE)	11º	11º	5.5
Salvador (BA)	13º	16º	5.5
Cuiabá (MT)	15º	19º	5.6
Brasília (DF)	16º	20º	5.7
Goiânia (GO)	16º	16º	5.9
Belo Horizonte (MG)	20º	19º	5.7
Campo Grande (MS)	20º	17º	5.8
Vitória (ES)	20º	15º	5.0
Rio de Janeiro (RJ)	22º	17º	5.1
São Paulo (SP)	23º	17º	5.1
Curitiba (PR)	25º	18º	4.9
Florianópolis (SC)	27º	19º	4.8
Porto Alegre (RS)	29º	20º	5.1

Fonte: Santos, (UFMS, 2014).



**ANEXO C** – Curva de caracterização do módulo fotovoltaico utilizado no projeto da cooperativa com corrente nominal e de curto-circuito, tensão nominal e de circuito aberto.

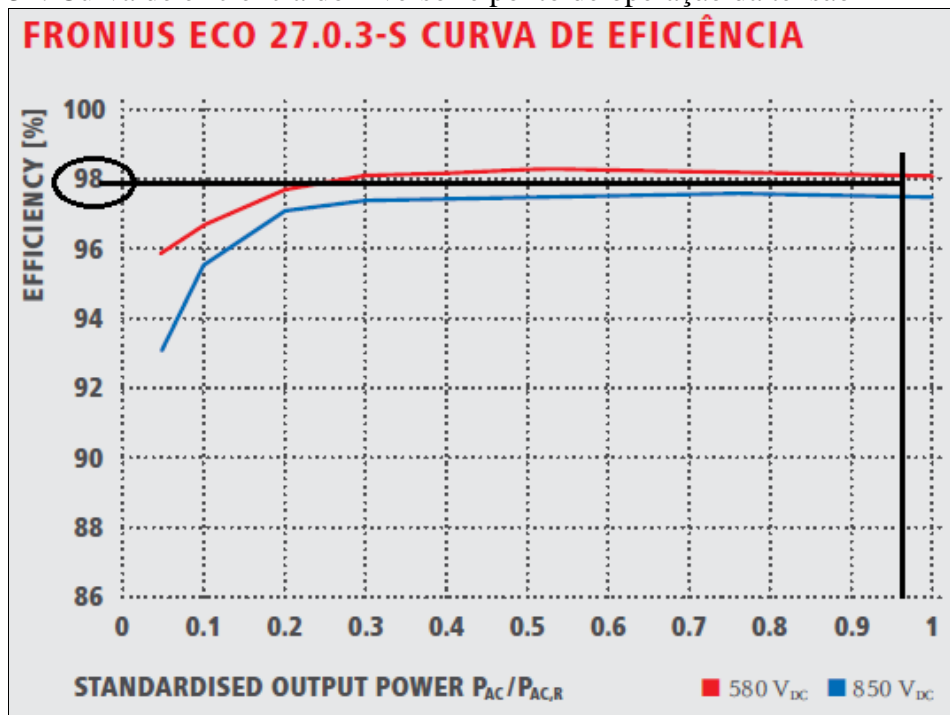
Figura 31: Relatório técnico da LABSOL – UFRGS 117/2015. Avaliação do módulo fotovoltaico *Canadian Solar CS6X-320P*.



Fonte: LABSOL – UFRGS (2015).

**ANEXO D** – Curva de eficiência dos MPPTs do inversor Fronius 27.0-3 pelo dimensionamento do (FDI); para o Fator de 0,957 a eficiência ficou em torno dos 98%.

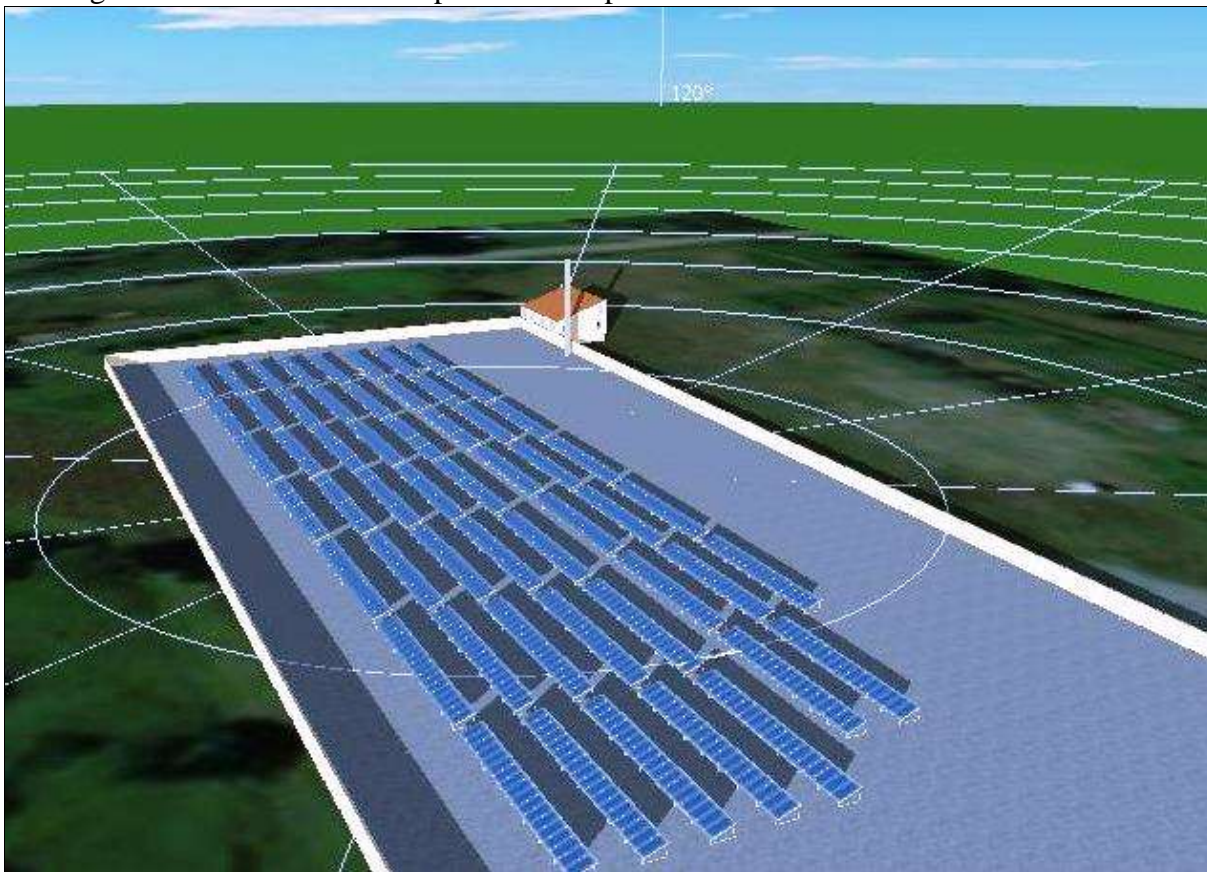
Figura 32: Curva de eficiência do inversor e ponto de operação da tensão MPPT do FDI.



Fonte: Adaptado de *Fronius* (2017).

**APÊNDICE A** – Imagem com todas as fileiras da cooperativa e a dimensão de suas ocupações com muros e a unidade de geração e conversão localizada atrás.

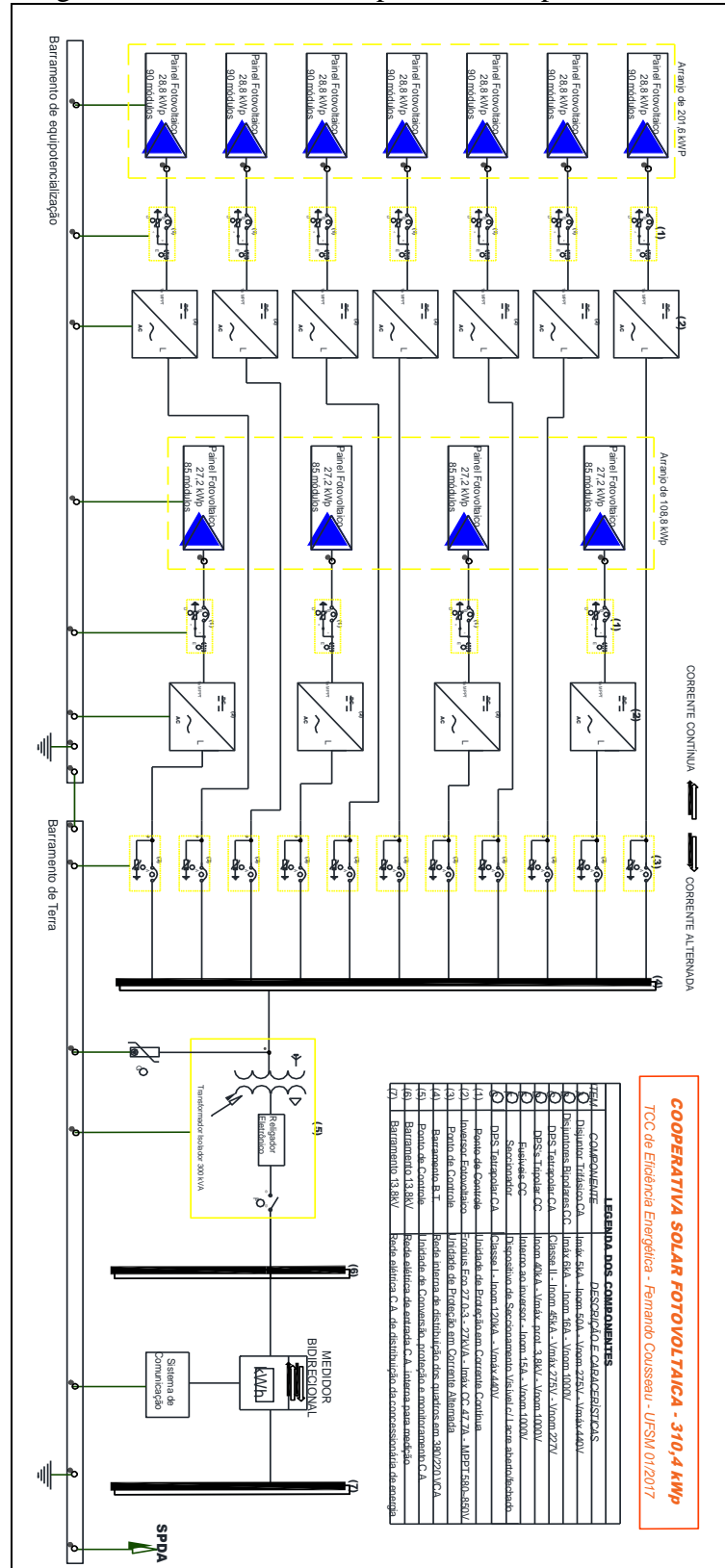
Figura 33: Vista noroeste da planta da cooperativa solar com a unidade de conversão.



Fonte: Elaborado pelo autor (*Software PV\*Sol*, 2017).

**APÊNDICE B** – Diagrama com toda a conexão elétrica principal do sistema de corrente contínua, caixas de proteções e os componentes que fazem parte; conexão com o barramento de baixa e média tensão CA e suas proteções obrigatórias; equipotencialização do aterramento.

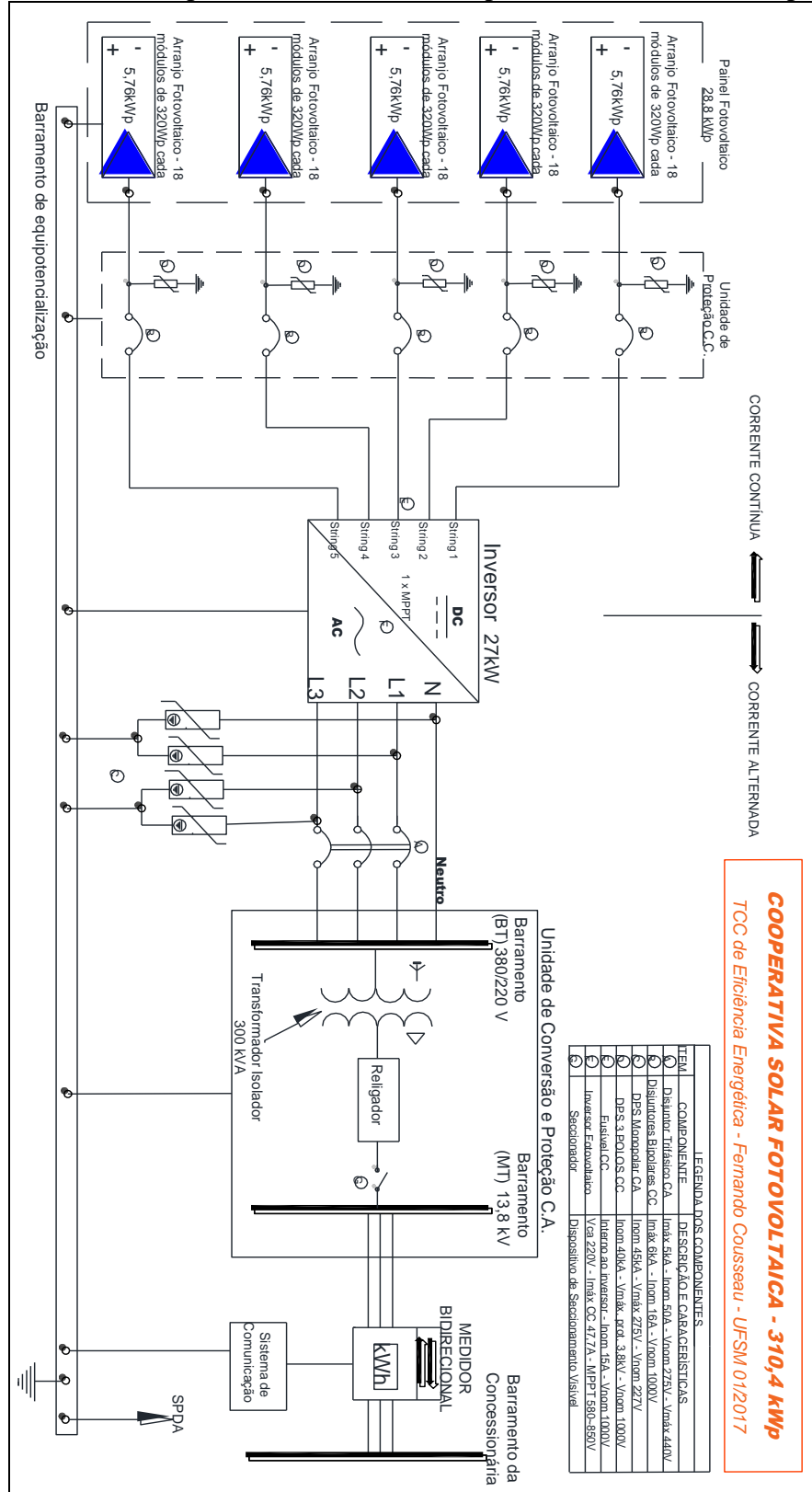
Figura 34: Diagrama elétrico unifilar da planta da cooperativa solar fotovoltaica.



Fonte: Elaborado pelo autor (Software Auto Cad, 2017).

**APÊNDICE C** – Diagrama com toda a conexão elétrica CC e CA principal para um inversor que pode ser replicado para os outros 11. Conexão dos barramentos de baixa e média tensão da Minigeração com o barramento de média tensão da Subestação da concessionária de energia.

Figura 35: Unifilar da planta fotovoltaica com apenas um inversor e suas proteções.



Fonte: Elaborado pelo autor (Software Auto Cad, 2017).

**APÊNDICE D** – Consumo individual para cada sócio ao longo do histórico dos últimos 12 meses das faturas de energia elétrica até o momento presente deste trabalho com a média anual.

Tabela 16: Consumo mensal em kWh/mês respectiva para cada cooperado.

COOPERADO	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
<i>Distribuidora Armani Ltda</i>	1882	1890	2008	1773	1618	1105	1062	1140	1329	1236	1446	1639	1511
<i>Friza materiais elétricos hidráulicos</i>	1271	1326	1620	1349	1745	1435	1444	1339	962	909	962	1151	1293
<i>Pilati comércio de móveis - Itolínea</i>	564	483	528	415	482	519	475	523	467	426	421	578	490
<i>Vidraçaria Garbaldense</i>	325	407	408	364	392	405	381	453	429	363	371	381	390
<i>Podaria Sol Nascente</i>	4505	3089	4675	4283	4271	3797	3533	3800	3664	3994	3300	3365	3856
<i>Estúdio rádio Garbaldi AM 1410</i>	2002	2312	2213	1560	1897	1560	1842	1671	1519	2169	2064	2104	1909
<i>Contel Segurança Eletrônica 24hs</i>	1534	1572	1454	1429	1600	1415	1651	1399	1347	1435	1396	1572	1484
<i>Posto Geremias Leste Coronel Pilar</i>	1720	1885	2070	1768	1969	1589	1614	1561	1473	1601	1531	1674	1705
<i>Posto abastecimento Marin Capiporã</i>	3426	2719	2904	3505	2292	2353	2373	2579	2578	2510	2380	2088	2642
<i>Supermercado Bes Veranópolis</i>	7595	6250	3574	4068	3096	2618	2237	4452	6085	4267	5489	7112	4737
<i>Comercial de Alimentos Oliggab</i>	4022	3558	4309	3838	3540	3548	2837	3330	3712	3362	3885	3933	3656
<i>Possamai Moveis Ltda</i>	1392	1474	1599	1218	1406	1553	1827	1539	1209	1073	1166	1413	1406
<i>Sindicato Trab. Rurais Dois Lajeodos</i>	853	809	936	902	833	779	708	746	742	766	932	947	829
<i>Tarciane Maria Mazuti ME - Guaporé</i>	4608	4120	4011	3396	2630	1170	1295	1275	1652	2733	3278	3555	2810
<i>Patricia Cousseou</i>	437	550	681	555	558	446	581	549	480	530	520	473	530
<i>Milton Ghilardi</i>	813	546	555	534	421	548	517	534	526	432	430	450	526
<i>Alvora Ludwig</i>	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
<i>Marcia Lorensen</i>	169	152	169	204	157	244	219	202	130	211	177	186	185
<i>Mauricio Lazaretti</i>	505	450	352	412	413	412	416	425	405	388	400	398	415
<i>Everaldo João Moretto</i>	467	462	359	429	503	770	493	466	423	402	329	375	457
<i>Ledir Capitiano</i>	248	245	254	249	264	331	272	283	230	255	266	252	262
<i>Valsir Pavoni</i>	1652	946	1380	1314	1317	913	1021	1064	905	1087	1094	1308	1167
<i>João Rosalen</i>	1501	1448	1568	1284	1452	1573	1420	1466	1474	345	1365	1511	1367
<i>Jandir João Pilotto</i>	2085	2259	2283	2086	2260	3030	2360	2169	2516	2250	2137	1386	2235
<i>Hospital Manoel Francisco Guaporé</i>	2520	2469	2341	2461	2610	3163	2433	2514	2228	1350	1815	1920	2319
<i>Mercado Marin Guaporé</i>	2950	2600	2350	2500	1650	1650	1600	1850	1800	2050	2150	2400	2129
<b>TOTAL em kWh</b>	<b>49646</b>	<b>44621</b>	<b>45201</b>	<b>42496</b>	<b>39977</b>	<b>37526</b>	<b>35211</b>	<b>37929</b>	<b>38885</b>	<b>36744</b>	<b>39904</b>	<b>42771</b>	<b>40909</b>
<b>Total descontado taxa disponibilidade</b>	<b>47736</b>	<b>42711</b>	<b>43291</b>	<b>40586</b>	<b>38067</b>	<b>35616</b>	<b>33301</b>	<b>36019</b>	<b>36975</b>	<b>34834</b>	<b>37994</b>	<b>40861</b>	<b>38999</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

**APÊNDICE E** – Energia estimada mês a mês para cada sócio no primeiro ano de implantação da cooperativa com a média anual, o tamanho do sistema em kWp de cada cooperado e seu respectivo percentual de geração dentro da cooperativa.

Tabela 17: Energia mensal gerada em kWh/mês estimada e respectiva para cada cooperado.

COOPERADO	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Percentual	Média	kWp
Marcela Lorencet	184,63	157,09	173,00	152,97	120,00	118,68	100,61	130,65	151,21	167,98	201,29	193,99	0,40%	154,35	1,23
Leidr Capitano	276,34	235,12	258,94	228,96	179,62	177,64	150,58	195,56	226,48	251,43	301,29	290,36	0,59%	231,03	1,85
Vidaçanga Garibaldiense	345,43	293,90	323,68	286,20	224,52	222,05	188,23	244,45	283,10	314,29	376,61	362,95	0,74%	288,78	2,31
Everardo João Moretto	425,24	361,81	398,46	352,32	276,40	273,35	231,72	300,92	348,50	386,90	463,62	446,80	0,92%	355,50	2,84
Manrico Lazaretti	447,87	381,06	419,66	371,07	291,11	287,89	244,05	316,94	367,05	407,49	488,30	470,58	0,96%	374,42	2,99
Patrícia Coussseau	512,19	435,79	479,93	424,36	332,91	329,24	279,10	362,45	419,76	466,01	538,43	538,16	1,10%	428,20	3,42
Platini comércio de móveis - Itaipava	547,92	466,19	513,42	453,97	356,14	352,21	298,57	387,74	449,05	498,52	597,39	575,71	1,18%	458,07	3,66
Milton Ghilardi	589,61	501,66	552,48	488,51	383,24	379,01	321,29	417,24	483,22	536,46	642,84	619,51	1,27%	492,92	3,94
Alvaro Ludvig	593,19	504,70	555,83	491,47	385,56	381,31	323,23	419,77	486,15	539,71	646,73	623,27	1,28%	495,91	3,96
Sindicato Trab. Rurais Dois Laj.	951,72	809,75	891,78	788,53	618,60	611,77	518,60	673,49	779,98	865,91	1037,63	999,98	2,05%	795,65	6,36
Valor Parvum	1363,85	1160,41	1277,96	1129,99	886,48	876,70	743,18	965,14	1117,74	1240,89	1486,97	1433,02	2,94%	1140,19	9,11
Finza manutenç eletricos Indutubicos	1440,08	1225,27	1349,39	1193,15	936,03	925,70	784,72	1019,08	1180,22	1310,25	1570,08	1513,11	3,10%	1203,93	9,62
João Rosalen	1531,80	1303,31	1435,33	1269,14	995,65	984,66	834,70	1083,99	1253,39	1393,70	1670,08	1609,48	3,30%	1280,60	10,24
Posamai Moreis Ltda	1565,15	1331,69	1466,59	1296,78	1017,32	1006,09	852,87	1107,59	1282,72	1424,05	1706,44	1644,53	3,37%	1308,48	10,46
Comel Segurança Eletrônica 24Hs	1646,53	1402,63	1544,71	1365,86	1071,52	1059,69	898,31	1166,59	1351,05	1499,91	1797,35	1732,13	3,55%	1378,19	11,02
Distribuidora Annama Ltda	1680,69	1429,99	1574,85	1392,51	1092,42	1080,36	915,83	1189,35	1377,41	1529,17	1832,42	1765,93	3,62%	1405,08	11,23
Posto Gereramus Leite Coronel Pilar	1951,08	1660,05	1828,21	1616,53	1268,17	1254,17	1063,17	1380,70	1599,01	1775,18	2127,21	2050,03	4,20%	1631,12	13,04
Estádio rádio Garibaldi AM 1410	2154,77	1833,35	2019,07	1785,29	1400,56	1385,10	1174,16	1524,83	1765,94	1960,50	2349,28	2264,04	4,64%	1801,41	14,40
Mercado Martin Guaporé	2382,27	2026,92	2232,25	1973,79	1548,44	1531,35	1298,13	1685,83	1952,39	2167,50	2597,33	2503,08	5,13%	1991,61	15,92
Jandir João Plotto	2593,10	2206,30	2429,80	2148,47	1685,47	1666,87	1413,01	1835,03	2125,18	2359,32	2827,19	2724,61	5,58%	2167,86	17,33
Hospital Mamoeir Francisco Guaporé	2834,90	2412,03	2656,37	2348,81	1842,64	1822,30	1544,77	2006,14	2323,34	2579,32	3090,82	2978,67	6,10%	2370,01	18,94
Posto abastecimento Maru Cotipora	3068,37	2610,67	2875,13	2542,24	1994,39	1972,37	1671,99	2171,35	2514,68	2791,74	3345,36	3223,97	6,61%	2565,19	20,50
Tarciane Mazuti ME - Guaporé	3278,01	2789,04	3071,57	2715,93	2130,65	2107,13	1786,23	2319,70	2686,49	2982,48	3573,92	3444,24	7,06%	2740,45	21,90
Padaria Sol Nascente	3686,57	3136,66	3454,40	3054,43	2396,21	2369,76	2008,85	2608,82	3021,32	3334,20	4019,37	3873,52	7,94%	3082,01	24,63
Comercial de Alimentos Olegab	4280,94	3642,37	4011,34	3546,89	2782,54	2751,83	2332,74	3029,44	3508,44	3894,99	4667,40	4498,04	9,22%	3578,92	28,61
Supermercado Bes. Veranópolis	6118,87	5206,14	5733,52	5069,67	3977,16	3933,26	3334,24	4330,06	5014,71	5567,22	6671,24	6429,17	13,17%	5115,44	40,89
<b>TOTAL em kWh</b>	<b>64453,12</b>	<b>39523,92</b>	<b>43527,67</b>	<b>38487,84</b>	<b>30193,76</b>	<b>29860,49</b>	<b>25312,87</b>	<b>32872,86</b>	<b>38070,63</b>	<b>42265,10</b>	<b>50646,60</b>	<b>48808,88</b>	<b>100,00%</b>	<b>38835,31</b>	<b>310,40</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).