

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA  
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

**FERNANDO ROQUE DOS SANTOS LIMA**

**IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO ALHO UTILIZANDO A GERAÇÃO  
SOLAR FOTOVOLTAICA NO ESTADO DE SANTA CATARINA**

**FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2019.**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA  
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

**FERNANDO ROQUE DOS SANTOS LIMA**

**IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO ALHO UTILIZANDO A GERAÇÃO  
SOLAR FOTOVOLTAICA NO ESTADO DE SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para a conclusão do curso superior de tecnologia em Sistemas de Energia.

Professor Orientador: Daniel Tenfen, Dr. Eng.

**FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2019.**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Lima, Fernando Roque dos Santos Lima  
**Irrigação na cultura do alho utilizando a geração solar fotovoltaica no estado de Santa Catarina / Fernando Roque dos Santos Lima Lima ; orientação de Daniel Tenfen Tenfen.** - Florianópolis, SC, 2020.  
60 p.

**Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. CST em Sistemas de Energia. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.**  
Inclui Referências.

1. Irrigação. 2. Solar. 3. Fotovoltaica. 4. Cultura.  
5. Alho. I. Tenfen, Daniel Tenfen. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.  
III. Título.

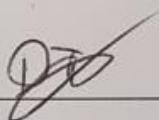
# IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO ALHO UTILIZANDO A GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NO ESTADO DE SANTA CATARINA

FERNANDO ROQUE DOS SANTOS LIMA

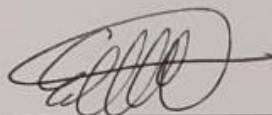
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnólogo em Tecnologia em Sistemas de Energia e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Tecnologia em Sistemas de Energia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 11 de Dezembro, 2019.

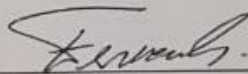
Banca Examinadora:



\_\_\_\_\_  
Daniel Tenfen, Dr. Eng.



\_\_\_\_\_  
Edison Antonio Cardoso Aranha Neto, Dr. Eng.



\_\_\_\_\_  
Rubiara Cavalcante Fernandes, Dr. Eng.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus por ter me permitido chegar até aqui, aos meus familiares que sempre torceram por mim e me motivaram para que eu não desistisse quando as dificuldades apareceram, a todos os professores que se dedicam para levar a melhor formação para seus alunos e em especial a meu professor orientador Daniel Tenfen Dr. Eng. que dedicou seu tempo com muita paciência para me mostrar o melhor a seguir, e a todos os meus amigos e colegas de curso que me ajudaram durante essa trajetória.

## RESUMO

Com as mudanças climáticas e a incerteza do clima crescendo de forma sistêmica no Brasil e no mundo, a insegurança entre os agricultores se torna cada vez maior levando ao aumento do custo para plantio. Também há um risco monetário de falir a cada colheita devido aos empréstimos, muitas vezes necessários, obtidos junto aos bancos que financiam a agricultura familiar.

A irrigação é uma forma de mitigar este risco devido as incertezas climáticas e tem se tornado a principal forma de aumento de produtividade e garantia de colheita satisfatória entre os pequenos e médios agricultores. Neste sentido, existe uma boa correlação com a energia solar fotovoltaica pois, em épocas de falta de chuvas, a geração fotovoltaica usualmente aumenta.

Além desta correlação, a energia solar fotovoltaica pode proporcionar ao agricultor a instalação de sistemas de irrigação em áreas em que a rede de energia elétrica convencional não é acessível, proporcionando o desenvolvimento da região e atração dos jovens para novas tecnologias no campo.

Este trabalho apresenta um estudo considerando a necessidade de irrigação do cultivo do alho em Santa Catarina, o método simplista de dimensionamento de sistema de sistema fotovoltaico isolado para irrigação utilizando valores médios de irradiação e, com base em um histórico de irradiação e quantidade de chuvas em base horária, uma nova abordagem ao dimensionamento destes sistemas.

**Palavras-chave:** Energia Solar Fotovoltaica, Irrigação, Sistemas Isolados.

## ABSTRACT

With climate change and climate uncertainty growing systemically in Brazil and around the world, insecurity among farmers is increasing, leading to increased costs for planting. There is also a monetary risk of bankruptcy in each harvest due to the often-required loans obtained from banks that finance family farming.

Irrigation is a way to mitigate this risk due to climate uncertainties and has become the main source of increasing productivity and ensuring a satisfactory harvest among small and medium farmers. In this sense, there is a good correlation with photovoltaic solar energy because, in times of lack of rainfall, photovoltaic generation usually increases.

In addition to this correlation, photovoltaic solar energy can provide farmers with the installation of irrigation systems in areas where the conventional power grid is not accessible, providing the region with development and attracting young people to new technologies in the field.

This paper presents a study considering the need for irrigation of garlic cultivation in Santa Catarina, the simplistic method of sizing of isolated photovoltaic system for irrigation using average irradiation values and, based on a history of irradiation and amount of rainfall in hourly basis, a new approach to sizing these systems.

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy, Irrigation, Isolated Systems.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 POPULAÇÃO URBANA RURAL .....	9
FIGURA 2 PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO.....	9
FIGURA 3 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.....	12
FIGURA 4 GERAÇÃO ELÉTRICA (GWH).....	13
FIGURA 5 FUNCIONAMENTO DA CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	15
FIGURA 6 CÉLULA MONOCRISTALINA.....	16
FIGURA 7 CÉLULA POLICRISTALINA.....	16
FIGURA 8 FILMES FINOS.....	17
FIGURA 9 FUNCIONAMENTO SISTEMA ON GRID.....	18
FIGURA 10 SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA SEM BATERIA.....	19
FIGURA 11 GRÁFICO DA ALTURA DE BOMBEAMENTO EM FUNÇÃO DA VAZÃO DIÁRIA DE ÁGUA COM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE 100W, 130W E 170W.....	20
FIGURA 12 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PORTÁTIL.....	24
FIGURA 13 ASPERSOR FIXO.....	25
FIGURA 14 SISTEMA POR ASPERSÃO PIVÔ CENTRAL.....	25
FIGURA 15 SISTEMA PRO ASPERSÃO AUTOPROPELIDO.....	26
FIGURA 16 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO.....	26
FIGURA 17 REGIÃO DE CURITIBANOS.....	27
FIGURA 18 DADOS CLIMATOLÓGICOS.....	28
FIGURA 19 CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS DA REGIÃO DE CURITIBANOS.....	28
FIGURA 20 MANANCIAS.....	28
FIGURA 21 ÁREA PLANTADA.....	29
FIGURA 22 QUANTIDADE PRODUZIDA.....	29
FIGURA 23 RENDIMENTO.....	30
FIGURA 24 METODOLOGIA UTILIZADA.....	32
FIGURA 25 ETAPAS DO DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO.....	34
FIGURA 26 PRECIPITAÇÃO.....	35
FIGURA 27 RADIAÇÃO SOLAR.....	36
FIGURA 28 ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO.....	37
FIGURA 29 ALTURA EQUIVALENTE DA BOMBA EM RAZÃO DA ALTURA H PELA MANOMÉTRICA.....	37
FIGURA 30 KIT BOMBEAMENTO SOLAR.....	39
FIGURA 31 CURVA DE PERFORMANCE.....	40
FIGURA 32 ÁGUA DA CHUVA X ÁGUA BOMBEAMENTO PV.....	41
FIGURA 33 ARMAZENAMENTO RESERVATÓRIO D'ÁGUA USANDO PV.....	41
FIGURA 34 ARMAZENAMENTO RESERVATÓRIO D'ÁGUA MAIS CHUVA.....	42
FIGURA 35 PRECIPITAÇÃO ANO 2009.....	48
FIGURA 36 RADIAÇÃO ANO 2009.....	48
FIGURA 37 PRECIPITAÇÃO ANO 2010.....	49
FIGURA 38 RADIAÇÃO ANO 2010.....	49
FIGURA 39 PRECIPITAÇÃO ANO 2011.....	50
FIGURA 40 RADIAÇÃO ANO 2011.....	50
FIGURA 41 PRECIPITAÇÃO ANO 2012.....	51
FIGURA 42 RADIAÇÃO ANO 2012.....	51
FIGURA 43 PRECIPITAÇÃO ANO 2013.....	52
FIGURA 44 RADIAÇÃO ANO 2013.....	52
FIGURA 45 PRECIPITAÇÃO ANO 2014.....	53



FIGURA 46 RADIAÇÃO ANO 2014.....	53
FIGURA 47 PRECIPITAÇÃO ANO 2018.....	54
FIGURA 48 RADIAÇÃO ANO 2018.....	54
FIGURA 49 PRECIPITAÇÃO ANO 2019.....	55
FIGURA 50 RADIAÇÃO ANO 2019.....	55
FIGURA 51 IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA [KWH/M <sup>2</sup> .DIA].....	56
FIGURA 52 IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANO HORIZONTAL PARA LOCAIS PRÓXIMOS.....	56
FIGURA 53 IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA MENSAL CURITIBANOS.....	57
FIGURA 54 IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO – CURITIBANOS.....	57

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ACAPA – Associação Catarinense dos Produtores de Alho

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FV – Fotovoltaica

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

PV - Photovoltaic

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.1	Definição do Problema .....	8
1.2	Justificativa.....	9
1.3	Objetivo Geral .....	10
1.4	Objetivo Específicos.....	10
1.5	Estrutura do Trabalho .....	10
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
2.1	Energia Renováveis .....	12
2.1	Energia Solar Térmica .....	13
2.2	Energia Solar Fotovoltaica .....	14
<b>2.2.1</b>	<b>Tipos de células Fotovoltaicas</b> .....	<b>15</b>
2.3	Sistemas Ligados à Rede (on grid) .....	17
2.4	Sistemas Autônomos ou Isolado (off grid) .....	18
2.5	Sistemas Isolados sem Baterias .....	19
<b>3</b>	<b>CICLO DO ALHO</b> .....	<b>21</b>
3.1	Necessidade de Água .....	22
3.2	Particularidades Do Manejo Da Água Na Irrigação .....	23
3.3	Tipos de irrigações.....	24
3.4	Curitibanos (local do estudo de caso) .....	27
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DESENVOLVIDA</b> .....	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTONOMO SEM BATERIAS: ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>35</b>
5.1	Estudo de Caso.....	36
5.2	Resultado e Discussões.....	42
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>44</b>
6.1	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	44
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>

## ANEXOS

<b>ANEXO A - ANEXOS</b> .....	<b>48</b>
-------------------------------	-----------

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Definição do Problema

Segundo levantamento do último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2010), Santa Catarina possui uma população de 6.248.438 pessoas, destes, 5.248.438 pessoas vivem na zona urbana e 1.000.000 de pessoas na zona rural, conforme Figura 1, com projeção de chegar a 8.000.000 de pessoas no total até 2030, conforme Figura 2.

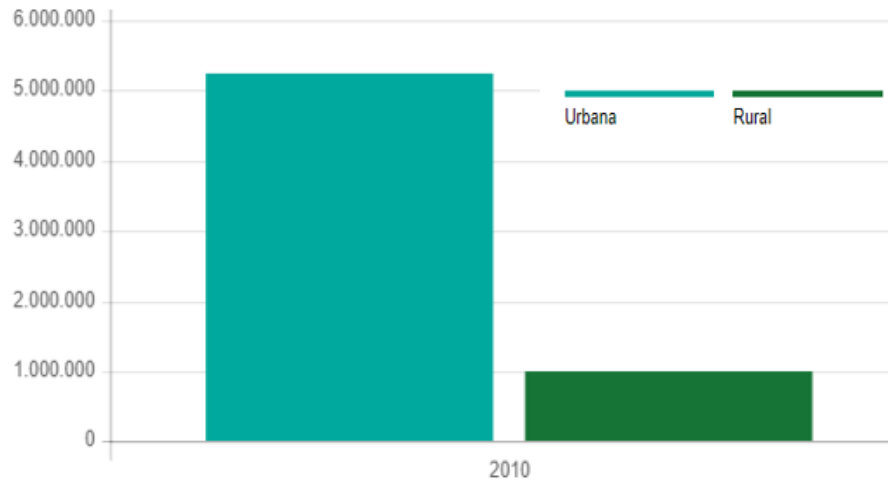
Santa Catarina ocupa 1,12% do território nacional, e é um dos estados mais importantes na produção agropecuária brasileira, ocupando a 8ª posição no ranking nacional considerando o valor bruto de produção. Na agricultura familiar destaca-se a produção de alho, milho, arroz, maçã, banana, cebola, feijão, tomate. (EPAGRI, 2017).

Com o crescimento da população urbana no Brasil nos últimos anos, a maior exportação dos produtos agrícolas e a menor produção de alimentos em períodos de pouca chuva torna os alimentos mais caros e menos acessíveis as famílias de baixa renda.

A produção constante de alimentos para o consumo humano depende das condições climáticas da região, contudo, alguns desses problemas podem ser contornados, por exemplo, com a implementação de sistemas de irrigação capazes de manter a produtividade e a sobrevivência da plantação, com fornecimento controlado de água para as plantas em quantidade suficiente e no momento certo, assim como neste presente trabalho será avaliada a cultura do alho.

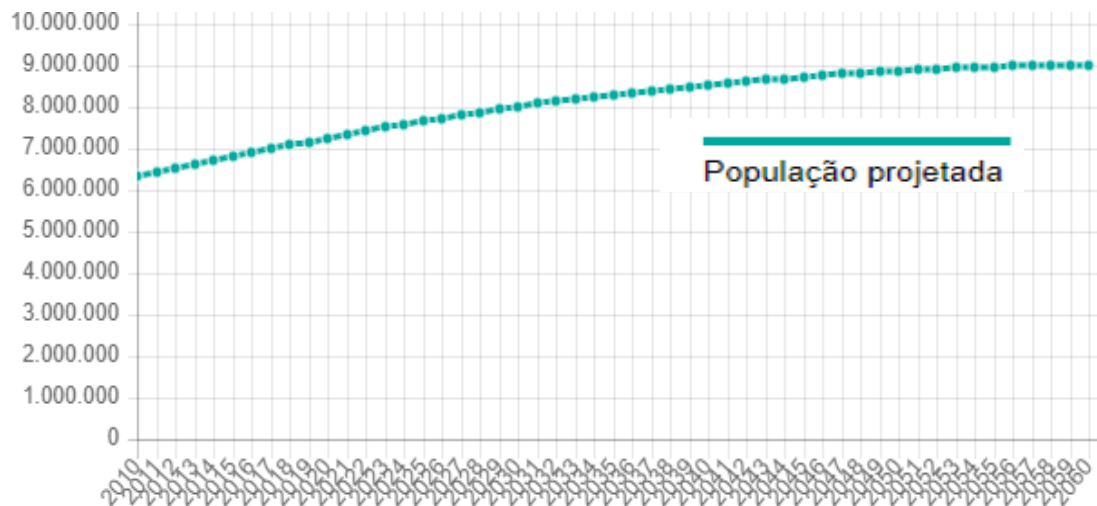
A incorporação de novas tecnologias no meio rural reduz a demanda por mão de obra no campo e desperta o interesse dos jovens para que lá permaneçam e possam renovar o quadro de agricultores que está cada vez mais envelhecendo refletindo na baixa produção da agricultura familiar.

Figura 1: População urbana, rural.



Fonte: IBGE (2010)

Figura 2: População projetada



Fonte: IBGE (2010)

## 1.2 Justificativa

Ao constatar a dificuldade de se ter uma produção constante de alimentos devido à falta de regularidade das chuvas na zona rural de Santa Catarina, foi proposto uma técnica de irrigação utilizando a geração solar fotovoltaica *offgrid*, acoplados diretamente a bombas de água no qual placas solares captam os raios solares e convertem energia solar em energia elétrica transmitida diretamente para as bombas, podendo ser instalado em lugares remotos.

De acordo com último censo do IBGE (2010), 4555 residências não tinham acesso à energia elétrica em Santa Catarina, devido ao isolamento e/ou baixas condições de renda, quadro que pode ser diminuído através de programas de instalação de módulos fotovoltaicos para a eletrificação e/ou irrigação rural afim de desenvolver áreas mais isoladas.

O Brasil tem grande potencial de irradiação solar comparado com outros países de primeiro mundo, portanto existem condições ambientais bastante favoráveis ao melhor aproveitamento da energia solar, em especial para sistemas de irrigação utilizando placas solares fotovoltaicas ( CRESESB, 2006).

### **1.3 Objetivo Geral**

Apresentar uma metodologia de dimensionamento de sistema solar fotovoltaico isolados para irrigação na cultura do alho em Santa Catarina, buscando demonstrar os benefícios sócios-econômicos da implantação dessa tecnologia.

### **1.4 Objetivo Específicos**

Destacam-se os seguintes objetivos específicos

- a) Realizar o levantamento do estado da arte referente da irrigação na cultura do alho e à geração fotovoltaica, mais especificamente a offgrid utilizada para bombeamento;
- b) Desenvolver uma metodologia para analisar o dimensionamento e o desempenho custo/benefício do sistema de irrigação autônomo para as necessidades dos produtores rurais.

### **1.5 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos:

No primeiro capítulo foram abordados temas relevantes para sustentação do desenvolvimento desse trabalho, apresentado características do estado de Santa

Catarina referentes a agricultura familiar e o que motivou a abordagem do tema irrigação utilizando energia solar fotovoltaica afim de estimular os produtores catarinenses a implantar esse projeto em suas propriedades.

No segundo capítulo o objetivo foi apresentar ao leitor as tecnologias existentes referentes a irrigação solar fotovoltaica bem como uma análise detalhada da implantação de um sistema de irrigação utilizando energia solar fotovoltaica na cultura do alho. Para isso, procurou-se conhecer o ciclo do alho do plantio até a colheita e o retorno financeiro adquirido com o aumento da produção no mercado nacional, como mostrado no fluxograma da descrição da metodologia utilizada.

No terceiro capítulo foi abordado a metodologia para o dimensionamento do sistema. Já no quarto capítulo são apresentados e os custos e benefícios que uma instalação do sistema solar fotovoltaico pode trazer para a comunidade, com um estudo de caso, como geração de empregos e desenvolvimento tecnológico. Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

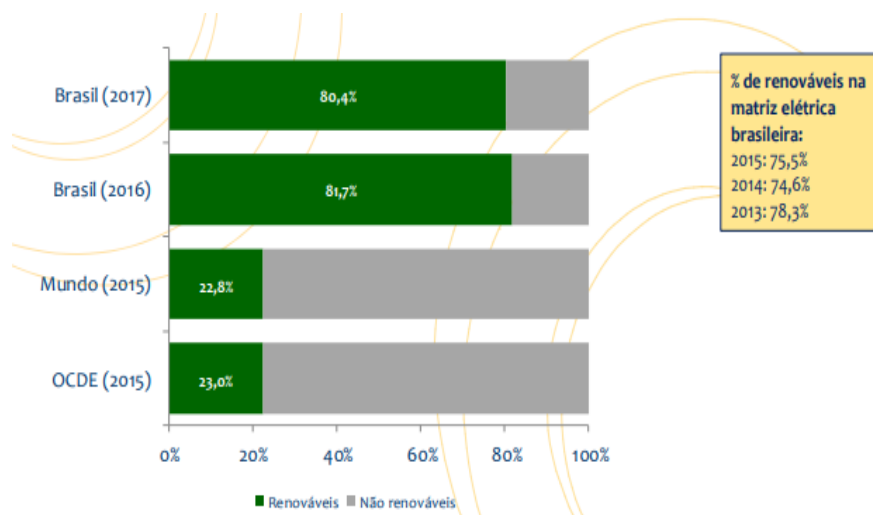
### 2.1 Energia Renováveis

O sol é a principal fonte de energia do nosso planeta. Praticamente todas as formas de energia dependem ou diretamente ou indiretamente do sol (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), 80,4% de toda a matriz elétrica brasileira conforme Figura 3, corresponde a geração elétrica por meio de fontes renováveis, com destaque para o crescimento das energias renováveis alternativas a geração hidrelétrica como solar, eólica e biomassa, conforme a Figura 4.

Por meio de incentivos através de programas como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e a regulação da micro e minigeração de energia elétrica através da RN 482/2012, o governo federal visa incentivar a produção de energia elétrica por meio de fontes renováveis.

**Figura 3: Matriz elétrica brasileira**



Fonte: EPE (2017)



**Figura 4: Geração elétrica (GWh)**

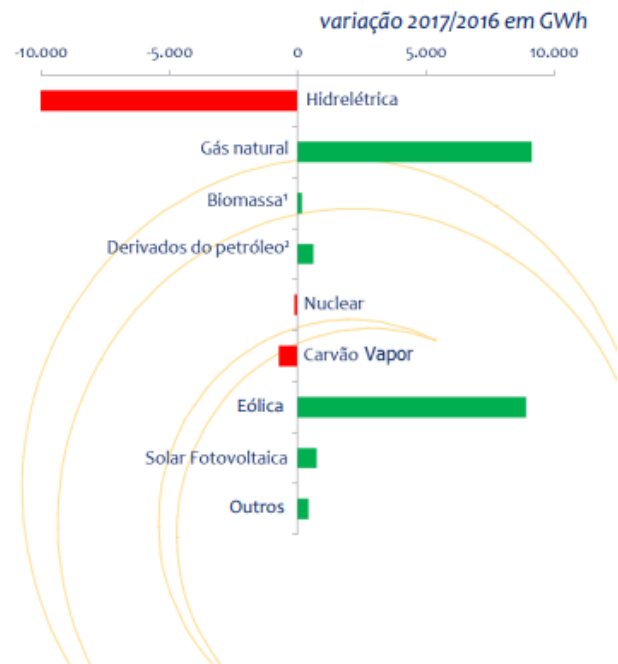
Fonte	2016	2017	$\Delta$ 17/16
Hidrelétrica	380.911	370.906	-2,6%
Gás Natural	56.485	65.593	16,1%
Biomassa <sup>1</sup>	49.236	49.385	0,3%
Derivados do Petróleo <sup>2</sup>	12.103	12.733	5,2%
Nuclear	15.864	15.739	-0,8%
Carvão Vapor	17.001	16.257	-4,4%
Eólica	33.489	42.373	26,5%
Solar Fotovoltaica	85	832	875,6%
Outras <sup>4</sup>	13.723	14.144	3,1%
<b>Geração Total</b>	<b>578.898</b>	<b>587.962</b>	<b>1,6%</b>

<sup>1</sup> Inclui geração distribuída

<sup>2</sup> Inclui lenha, bagaço de cana e lixívia

<sup>3</sup> Inclui óleo diesel e óleo combustível

<sup>4</sup> Inclui outras fontes primárias, gás de coque e outras secundárias



Fonte: EPE (2017)

## 2.1 Energia Solar Térmica

A energia proveniente do sol pode ser aproveitada tanto na forma de calor como para gerar eletricidade. Nos sistemas de aquecimento solar o calor é captado por coletores solares instalados nos telhados de prédios ou residências para aquecer a água.

O objetivo desses sistemas é realizar aquecimento de água utilizando diretamente o calor do sol, de forma simples, limpa e eficiente, poupando outros recursos energéticos como o gás natural, o carvão e a energia elétrica.

Outros sistemas de geração de energia elétrica são gerados através de usina solar térmica, pelo qual, grandes parques solares convertem a energia do sol em energia elétrica para ser vendida para rede, se diferenciam dos sistemas fotovoltaicos instalados em casas e indústrias por usualmente serem viáveis na produção de energia em larga escala e não para o autoconsumo como é o caso destes sistemas fotovoltaicos distribuídos.

## 2.2 Energia Solar Fotovoltaica

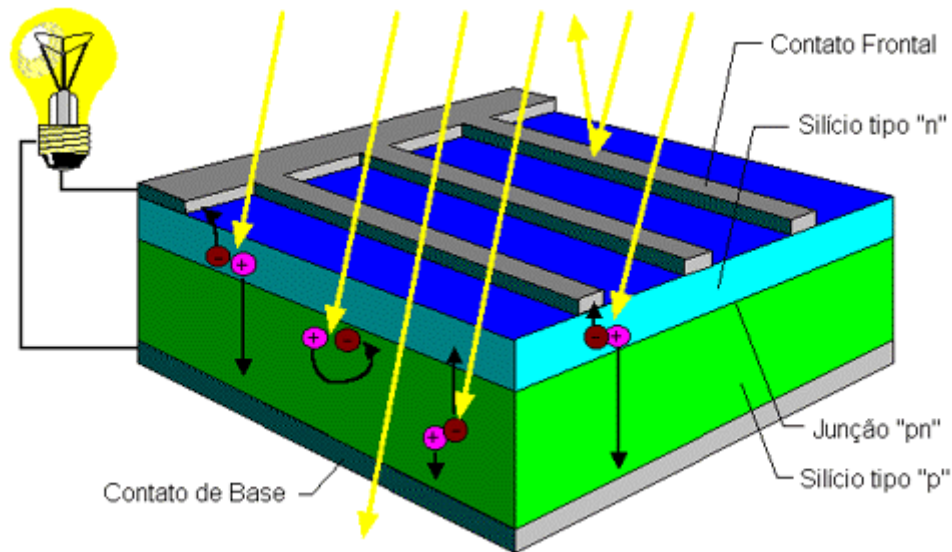
É a energia obtida através da conversão direta da luz solar em eletricidade por meio das células fotovoltaicas, denominado efeito fotovoltaico, pelo qual surge uma diferença de potencial nos extremos de um material semicondutor, usualmente de silício dopados do tipo P e N, produzida pela absorção da luz, como relatado por Edmond Becquerel em 1839, (CRESESB; CEPEL, 2006).

Existem células de múltiplas junções, que possuem um maior número de camadas, entretanto seu funcionamento é idêntico ao das células de duas camadas. As células de múltiplas junções produzem mais energia, porém são mais caras e não são tão utilizadas como as de apenas duas camadas (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Quando duas camadas de materiais P e N são colocadas em contato, formando o que se chama junção semicondutora, os elétrons da camada N migram para a camada P e ocupam os espaços vazios das lacunas, essa mudança faz com que origine um campo elétrico e cria uma barreira de potencial entre as duas camadas. Com a incidência de luz solar conforme Figura 5, sobre os elétrons da camada N da célula fotovoltaica, fazendo com que eles tenham energia suficiente para romper a barreira de potencial e movimentar-se da camada N para a camada P gerando corrente elétrica.

Uma célula fotovoltaica sozinha produz pouca energia e apresenta uma tensão elétrica muito baixa, mas várias células podem ser ligadas em série para fornecer uma grande quantidade de energia elétrica e uma tensão mais elevada (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

**Figura 5: Funcionamento da Célula Fotovoltaica**



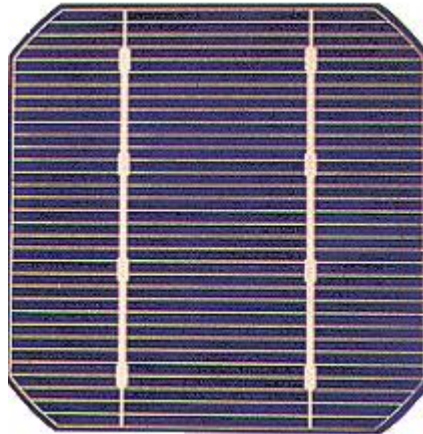
Fonte: Cresesb, Cepel. (2006)

### 2.2.1 Tipos de células Fotovoltaicas

Os módulos fotovoltaicos mais encontrados no mercado são produzidos a partir de células monocristalina, policristalina e a do filme fino obtidas através de lingote de silício. O silício utilizado na fabricação de células fotovoltaicas é extraído do minério de quartzo, que no Brasil encontra-se em abundância, mas a purificação desse minério é feita no exterior, assim como a fabricação das células, o que pode levar a redução dos preços das células fotovoltaicas é o Brasil passar a produzi-las. A seguir serão apresentadas algumas características dessas diferentes tecnologias para a fabricação das células fotovoltaicas (CRESEB, 2014):

- **Silício monocristalino:** A célula de silício monocristalina é obtida com a extração do cristal de dióxido de silício, obtido a altas temperaturas, purificado e solidificado com o maior grau de pureza possível, atingindo 98% a 99% de pureza, o que torna a célula monocristalina, conforme Figura 6, eficiente na geração de energia elétrica a partir da luz solar, podendo chegar de 15% a 18% de eficiência, um empecilho ainda é seu custo de produção devido as altas temperaturas ( CRESEB, 2014).

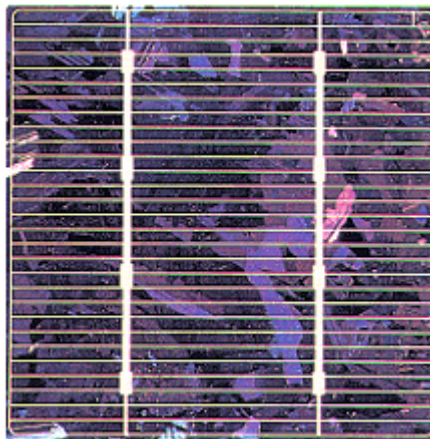
**Figura 6: Célula monocristalina**



Fonte: Cresesb, (2014)

- **Silício Policristalino:** O silício policristalino é fabricado por um processo semelhante ao das células monocristalinas, porém com material menos puro, o que implica na menor eficiência da célula, variando em torno de 13% e 15%, entretanto seu custo de fabricação é menor do que a das células monocristalinas e isso compensa a redução de eficiência, a Figura 7 apresenta a célula policristalina que possui coloração diferente da monocristalina devido a dopagem e ao tipo de silício empregado em sua fabricação ( CRESESB, 2014).

**Figura 7: Célula policristalina**



Fonte: Cresesb, (2014)

- **Filmes finos:** As células de filmes finos, conforme ilustração da Figura 8, são obtidas a partir de uma tecnologia mais recente que surgiu após as tecnologias cristalinas já estarem bem desenvolvidas, diferentemente das células monocristalinas e policristalinas, que são produzidas a partir de fatias de lingotes de silício, os dispositivos de filmes finos são fabricados através

da deposição de finas camadas de materiais (silício e outros) sobre uma base que pode ser rígida ou flexível (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Os dispositivos de filmes finos têm baixa eficiência e necessitam de maior área para produzir a mesma energia que produzem as tecnologias cristalinas, porém, os filmes finos consomem menos energia em sua fabricação, o que torna a produção em larga escala mais barata.

Uma vantagem comum dos filmes finos é o melhor aproveitamento da luz solar para baixos níveis de radiação e para radiações do tipo difusa, portanto os módulos de filmes finos conforme Figura 8 são mais adequados para locais com temperaturas mais elevadas.

**Figura 8: Filmes finos**



Fonte: Portal Solar (2019)

### **2.3 Sistemas Ligados à Rede (*ON GRID*)**

Sistemas *on grid* são aqueles que dispensam o uso de baterias, pois toda potência gerada é consumida pelas cargas ou injetada na rede elétrica, conforme a Figura 9. Quando a geração é maior que o consumo o sistema *on grid* injeta a sobra de energia na rede, e retira dele quando a geração é menor que o consumo próprio.

O sistema de compensação de energia elétrica segue a normativa ANEEL RN 482/2012, e é normatizado que os montantes de energia gerados que não são consumidos pelo consumidor geram crédito para serem abatidos quando o sistema não está gerando energia e consome da rede. Esta medição é feita através do medidor

bidirecional que mede a entrada e a saída de energia. Para instalação do sistema conectado é necessário autorização da distribuidora ( Solar Brasil, 2019)

**Figura 9: Funcionamento sistema on grid**



Fonte: Fatec-bt (2019)

## 2.4 Sistemas Autônomos ou Isolado (*OFF GRID*)

São sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Enquanto o segundo, além de ser frequentemente utilizado em bombeamento de água, apresenta maior viabilidade econômica, já que não utiliza instrumentos para o armazenamento de energia (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

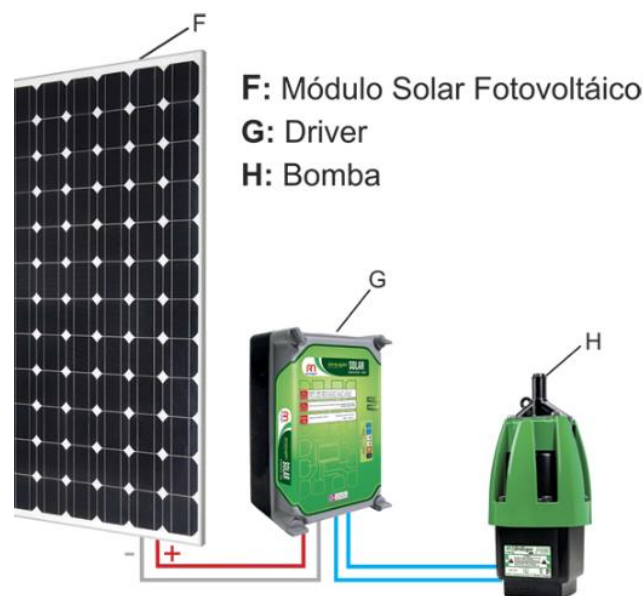
## 2.5 Sistemas Isolados sem Baterias

Esse tipo de sistema é utilizado para alguns tipos de aplicações que dispensam a presença de baterias, podendo usar diretamente a energia produzida pelo módulo fotovoltaico. Este é o caso de sistemas de bombeamento de água que utilizam motores de corrente contínua e podem ser conectados diretamente ao módulo conforme a Figura 10.

A principal vantagem desse tipo de sistema é o baixo custo e o aumento da confiabilidade do sistema, reduzindo a necessidade de manutenção, entretanto sofre com a intermitência da radiação solar. Devido a intermitência de irradiação solar recomenda-se um reservatório para acumular água enquanto o sistema estiver gerando energia, para suprir os dias com menos irradiação solar.

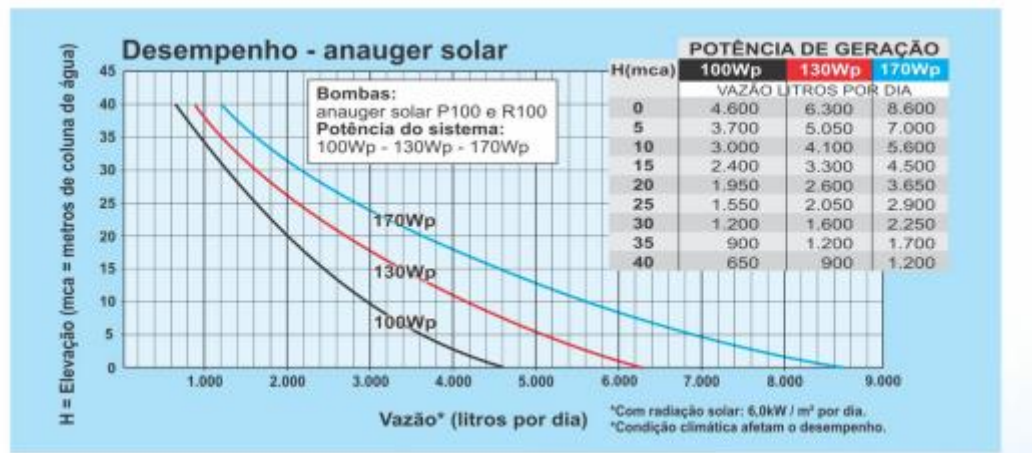
A Figura 11 mostra o gráfico de desempenho das bombas submersas P100 e R100 da Anauger com diferentes potências de módulos fotovoltaicos. Nota-se que a vazão da água bombeada depende da altura do bombeamento e da potência de pico do conjunto fotovoltaico empregado. O gráfico mostra o desempenho das bombas para a insolação de 6000 Wh/m<sup>2</sup> diária.

**Figura 10: Sistema fotovoltaico de bombeamento de água sem bateria**



Fonte: Anauger (2018)

Figura 11: Gráfico da altura de bombeamento em função da vazão diária de água com módulos fotovoltaicos de 100W, 130W e 170W.



Fonte: Neosolar (2018)



### 3 Ciclo do Alho

O plantio de alho no Brasil é composto de duas categorias de produtores, cultivares de alho nobre roxo que apresenta alto valor de mercado e alho comum que o valor de venda é mais baixo que o alho roxo (EMBRAPA, 2019).

O cultivo de alho nobre roxo é originário do sul do Brasil, exigem mais de 13 horas de luz solar (dias mais longos) e temperaturas mais baixas para formação dos bulbos. Seu cultivo é mais longo, podendo chegar a 180 dias para se ter a colheita (EMBRAPA, 2019).

As mudas de alho cultivadas com melhores características comerciais são Ito, Caçador, Quitéria, Jonas e Chonan. A cultivar San Valentim, por ser resistente a praga e doenças, tem sido bastante plantada na região sul (EMBRAPA, 2019).

O período mais adequado para o plantio da cultura do alho está relacionado com a procedência das mudas, a altitude e a latitude da região onde se vai plantar. Temperaturas relativamente baixas, seguidos por fotoperíodos crescentes favorecem o crescimento da planta e estimulam sua bulbificação. Já próximo a colheita, temperaturas mais altas favorecem a maturação dos bulbos. Na região sul é recomendado que se plante entre os meses de maio e julho (EMBRAPA, 2019).

A cultura do alho é bastante sensível quanto a falta de água, porém o excesso é tão prejudicial quanto à falta. Desta forma, o sistema de irrigação a ser implantado é um fator determinante para se ter uma boa produção e uma boa conservação dos bulbos após a colheita (EMBRAPA, 2019).

No estágio inicial da cultura podendo variar de 15 a 30 dias as irrigações devem ser leves e contidas. Já durante o período de crescimento vegetativo deve-se aumentar gradativamente a irrigação até o período de crescimento dos bulbos. Durante o período de maturação dos bulbos recomenda-se a diminuição em cerca de 25% a 30% na irrigação e, é recomendável, suspender a irrigação de 5 a 20 dias antes da colheita dependendo do solo (EMBRAPA, 2019).

Em Santa Catarina, principal produtor nacional, a cultura do alho predomina principalmente na região do Planalto Serrano e, particularmente, nas microrregiões de Curitiba e Joaçaba. Em média a exploração em Santa Catarina é de 2 hectares por produtor, as propriedades com mais automação e maquinário variam entre 5 e 10

hectares de alho/ano, e sua produção varia entre 5 e 8 t/ha de alho curado para o mercado. Já os pequenos agricultores variam sua produção entre 2 e 4 t/ha (EPAGRI, 1996).

Santa Catarina teve participação de aproximadamente 22% na produção nacional de alho, alcançando 2.500 ha plantadas, o incremento de produção do alho se deve principalmente ao crescente aumento da produtividade, que passou de 8,1 t/ha em 2003 para 10,6 t/ha em 2012, o preço médio na saca contendo 10 kg girou em torno de R\$ 51,91 (CONAB, 2019) lembrando que a safra em Santa Catarina é colhida entre os meses de novembro e Dezembro, e comercializado entre os meses de janeiro à maio (EPAGRI, 2019).

Plantio com áreas mais tecnificadas podem chegar a 20 t/ha dependendo do tipo de irrigação implementado e o tipo de alho a cultivar (EMBRAPA, 2019).

### 3.1 Necessidade de Água

A necessidade total de água na cultura do alho varia de 400 mm a 850 mm (1 mm de água equivale a 1 litro de água por metro quadrado) dependendo das condições climáticas da região, de modo geral são necessários de 300 L a 1000 L de água para produzir 1kg de alho. Santa Catarina teve uma produção média de 10,1 t/ha em 2012 (EMBRAPA, 2019). A seguir, apresenta-se a necessidade de água por período.

- **Estágio inicial:** Vai do plantio dos bulbilhos até o estabelecimento das plantas (15 a 30 dias). As regas devem ser leves e frequentes;
- **Estágio vegetativo (crescimento de plantas):** Estende-se até o início diferenciação dos bulbilhos (40 a 55 dias). Regas mais longas e com menos frequência mantendo o solo úmido e não encharcado;
- **Estágio de crescimento dos bulbos:** Vai até o amarelecimento das folhas (35 a 60 dias). Lavouras irrigadas somente se houver déficit hídrico por falta de chuva;
- **Estágio de maturação:** Nesse estágio (20 a 35 dias). Suspender a irrigação pois o clima seco favorece a produção de bulbos de melhor qualidade.

### 3.2 Particularidades do Manejo da Água na Irrigação

Existe diversos métodos para determinar quando e quanto irrigar a cultura do alho durante todo o ciclo de desenvolvimento das plantas.

- **Manejo de água por ocasião do plantio:** O plantio do alho pode ser realizado sem a necessidade de irrigação antes, desde que o solo esteja úmido.  
Após o plantio é necessário realizar uma irrigação para que o solo entre em contato com os bulbilhos, eliminando bolsões de ar e o risco de desidratação dos bulbilhos.  
A quantidade de água necessária depende do tipo de solo e da região, se necessário deve-se consultar um engenheiro agrônomo ( MAROUELLI et all, 2014).  
Segundo Everson Tagliari presidente da ACAPA (Associação Catarinense dos Produtores de Alho) através de contato por telefonema, a irrigação deve ocorrer de forma a manter o solo úmido em uma média mensal de 100 mm de água por área.
- **Manejo de água para reduzir superbrotamento:** O superbrotamento é uma anomalia genético-fisiológica caracterizada pelo desenvolvimento anormal dos bulbilhos, causando prejuízo na produtividade e qualidade do produto.  
Nesse período é necessário que se suspenda a irrigação afim de manter o solo úmido submetendo a planta ao déficit hídrico moderado ( MAROUELLI et all, 2014).
- **Manejo de água em solo com cobertura morta (mulch):** A realização da cobertura do solo por palha é indicado para regiões muito quentes afim de reduzir a temperatura do solo e diminuir a evaporação da água após a irrigação.  
Esse método diminui entre 10% a 20% a necessidade de água para aquele tipo de solo ( MAROUELLI et all, 2014)
- **Manejo de água visando minimizar problemas de salinidade:** Deve-se evitar a água salinizada para irrigação da cultura do alho pois prejudica o desenvolvimento da planta e a produtividade ( MAROUELLI et all, 2014).
- **Manejo de água ao final do ciclo da cultura:** Uma última irrigação deve ser feita quando um pouco antes dos bulbos alcançarem tamanho máximo, período que deve ser de uma a três semanas antes da colheita ( MAROUELLI et all, 2014).

### 3.3 Tipos de Irrigações

Hoje no Brasil os sistemas de irrigações mais utilizados para a cultura do alho são por aspersão e microaspersão por pequenos produtores, e pivô central em grandes áreas. O uso de microaspersão com mangueiras microperfuradas são os que mais cresce entre os pequenos agricultores devido a facilidade de manuseio e ao baixo custo (EMBRAPA, 2019).

O sistema de irrigação por aspersão é o mais indicado para grandes áreas, em função do seu sistema radicular ser fasciculado e bastante distribuído no perfil do solo, proporcionando uma melhor distribuição e uniformidade da água, além de exercer efeito no controle de ácaros e tripses pelo impacto da água com a planta (EMBRAPA, 2019).

- **Sistema por aspersão convencional portátil ou semi-portátil:** O sistema de irrigação por aspersão convencional é o mais utilizado na irrigação do alho, o custo de aquisição do sistema portátil conforme Figura 12 varia entre ( R\$ 2000,00/ha a R\$ 4.500,00/ha) e requer uso de mão de obra intensa para mudança de posição dos aspersores. No sistema semi-portátil as linhas laterais e os aspersores são deslocados manualmente, enquanto os demais componentes permanecem fixos ( R\$ 3.000,00/ha a R\$ 5.000,00/ha) ( MAROUELLI et all, 2014).

**Figura 12: Sistema de irrigação portátil**



Fonte: Marouelli (2014)

- **Sistema de irrigação por aspersão convencional fixo:** No sistema fixo conforme Figura 13 os aspersores são automatizados o que reduz a mão de obra, porém aumenta o custo de aquisição que varia entre ( R\$ 7.000,00/ha a 15.000, 00/ha) ( MAROEULLI et all, 2019).

Figura 13: Aspersor fixo



Fonte: Marouelli (2014)

- **Sistema por aspersão tipo pivô central:** O sistema por aspersão tipo pivô central conforme Figura 14 é o que apresenta maior uniformidade na distribuição de água, e seu custo gira em torno de ( R\$ 4.500,00/ha a 9.000,00/ha), a dificuldade do manejo de irrigação e a complexidade para mudar o equipamento para outras áreas torna esse sistema pouco utilizado ( MAROEULLI et all, 2019).

Figura 14: Sistema por aspersão pivô central



Fonte: Marouelli (2014)



- **Sistema autopropelido:** O sistema autopropelido conforme Figura 15, é o mais utilizado na região sul do Brasil. Exige pouca mão de obra, seu carro irrigador é facilmente deslocado para outras áreas adjacentes e seu custo gira em torno de R\$ 4.000,00/ha a R\$ 6.000,00/ha e eficiência de irrigação entre 70% a 80% (MAROUELLI et all, 2019).

**Figura 15: Sistema por aspersão autopropelido**



Fonte: Marouelli (2014)

- **Sistema de irrigação por gotejamento:** O sistema por gotejamento conforme Figura 16 é pouco utilizado na cultura do alho devido a necessidade de molhar toda a superfície do solo, e seu custo é muito elevado R\$ 7.000,00/ha a R\$ 15.000,00/há ( MAROUELLI et all, 2019).

**Figura 16: Sistema de irrigação por gotejamento**



Fonte: Marouelli (2014)

### 3.4 Curitibanos (local do estudo de caso)

Localizado na região serrana de Santa Catarina, Curitibanos apresenta as seguintes características, conforme Figura 17:

Municípios vizinhos, superfície e localização.

Figura 17: Região de Curitibanos

MUNICÍPIOS	SUPERFÍCIE ( km <sup>2</sup> )
Curitibanos	952,0
Frei Rogério	156,9
Ponte Alta	557,8
Ponte Alta do Norte	383,4
Santa Cecília	1.173,8
São Cristóvão do Sul	350,2
<b>REGIÃO</b>	<b>3.574,1</b>
<b>SANTA CATARINA</b>	<b>95.286,1</b>

Fonte: IBGE (2000)



O clima de Curitibanos se mantém agradável durante todo o ano, mantendo uma média de temperatura entre 16-17 graus Celsius conforme Figura 18.

Figura 18: Dados climatológicos

TIPO CLIMÁTICO, TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA		
ÍTEM ANALISADO	UNIDADE DE MEDIDA	VALOR REGISTRADO
Tipo climático (Koeppen)	Especificação	Cfb – Temperado (mesotérmico úmido e verão ameno)
Temperatura média anual	°C	16 - 17
Precipitação média anual	mm	1.500 a 1.700
Precipitação máxima em 24 horas	mm	140
Umidade relativa do ar (média)	%	80 a 82

Fonte: Epagri/Climerh (2019)

Curitibanos apresenta três principais cursos d'água da região conforme Figura 19.

Figura 19: Características hídricas da região de Curitibanos

CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS CURSOS D'ÁGUA DA REGIÃO				
CURSO D'ÁGUA	CUMPRIMENTO (km) <sup>(1)</sup>		ÁREA DE DRENAGEM (km <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	
	TOTAL	REGIÃO	TOTAL	REGIÃO
Canoas	567	148	15.012	-
Marombas	145	145	2.955	2.955
Correntes	107	107	345	345

Fonte: SDM (2019)

Os mananciais para serem preservados para abastecimento urbano na região de Curitibanos e são apresentados conforme Figura 20.

Figura 20: Mananciais

MUNICÍPIOS	MANANCIAIS		
	Denominação	Área da Bacia (km <sup>2</sup> )	Vazão Mínima de Estiagem (l/s)
Curitibanos	Rio Marombas	509,10	353,52
Ponte Alta	Rio Ponte alta	104,50	134,14
Santa Cecília	Arroio das Tulipas	12,20	18,54

Fonte: SDM (2019)

Na produção agropecuária Curitibanos deu um salto na área plantada da cultura do alho, de 1500 hectares em 2002, conforme Figura 21, para 330 hectares de área plantada em 2018 ( IBGE 2018).



Figura 21: Área Plantada

**ÁREA PLANTADA – 1998 E 2002<sup>(1)</sup>**

MUNICÍPIOS	ÁREA PLANTADA (ha)									
	Alho		Arroz		Batata		Cebola		Feijão	
	1998	2002	1998	2002	1998	2002	1998	2002	1998	2002
Curitibanos	800	1.500	70	70	70	90	250	300	8.500	5.000
Frei Rogério	320	400	80	40	20	20	80	45	2.500	2.000
Ponte Alta	40	60	50	20	30	30	5	10	1.000	500
Ponte Alta do Norte	10	15	5	3	2	2	12	15	150	100
Santa Cecília	5	15	10	8	100	45	2	20	300	250
São Cristóvão do Sul	25	25	8	15	10	15	5	5	300	300
<b>REGIÃO</b>	<b>1.200</b>	<b>2.015</b>	<b>223</b>	<b>156</b>	<b>232</b>	<b>202</b>	<b>354</b>	<b>395</b>	<b>12.750</b>	<b>8.150</b>
<b>SANTA CATARINA</b>	<b>2.180</b>	<b>2.955</b>	<b>118.548</b>	<b>139.678</b>	<b>10.577</b>	<b>11.424</b>	<b>24.600</b>	<b>25.767</b>	<b>241.992</b>	<b>155.790</b>

Fonte: IBGE (2002)

A produção de alho em Curitibanos que em 2002 girou em torno de 7.200 toneladas, conforme Figura 22, e em 2018 girou em torno 2.640 toneladas ( IBGE, 2018) redução de produção causado principalmente pela redução da área plantada.

Figura 22: Quantidade Produzida

MUNICÍPIOS	QUANTIDADE PRODUZIDA (t)									
	Alho		Arroz		Batata		Cebola		Feijão	
	1998	2002	1998	2002	1998	2002	1998	2002	1998	2002
Curitibanos	6.400	7.200	126	140	1.400	1.800	3.000	9.000	6.885	6.000
Frei Rogério	2.240	1.776	160	80	240	240	960	900	2.350	3.000
Ponte Alta	300	315	75	40	300	360	50	170	800	600
Ponte Alta do Norte	70	120	8	5	20	20	120	270	135	150
Santa Cecília	35	150	15	16	2.200	810	20	360	360	300
São Cristóvão do Sul	175	163	13	30	80	150	50	60	230	540
Curitibanos	6.400	7.200	126	140	1.400	1.800	3.000	9.000	6.885	6.000
<b>REGIÃO</b>	<b>9.220</b>	<b>9.724</b>	<b>397</b>	<b>311</b>	<b>4.240</b>	<b>3.380</b>	<b>4.200</b>	<b>10.760</b>	<b>10.760</b>	<b>10.590</b>
<b>SANTA CATARINA</b>	<b>14.156</b>	<b>15.296</b>	<b>634.841</b>	<b>922.860</b>	<b>109.326</b>	<b>143.455</b>	<b>272.700</b>	<b>394.582</b>	<b>158.284</b>	<b>171.714</b>

Fonte: IBGE (2002)

O rendimento para o ano de 2002 girou em torno de 4.800 kg por hectare conforme Figura 23, já em 2018 o rendimento médio chegou há 10.000 kg por hectare.

Figura 23: Rendimento

MUNICÍPIOS	RENDIMENTO (kg/ha)									
	Alho		Arroz		Batata		Cebola		Feijão	
	1998	2002	1998	2002	1998	2002	1998	2002	1998	2002
Curitibanos	8.000	4.800	1.800	2.000	20.000	20.000	12.000	30.000	810	1.200
Frei Rogério	7.000	4.440	2.000	2.000	12.000	12.000	12.000	20.000	940	1.500
Ponte Alta	7.500	5.250	1.500	2.000	10.000	12.000	10.000	17.000	800	1.200
Ponte Alta do Norte	7.000	8.000	1.600	1.667	10.000	10.000	10.000	18.000	900	1.500
Santa Cecília	7.000	10.000	1.500	2.000	22.000	18.000	10.000	18.000	1.200	1.200
São Cristóvão do Sul	7.000	6.520	1.625	2.000	8.000	10.000	10.000	12.000	767	1.800
<b>REGIÃO</b>	<b>7.683</b>	<b>4.826</b>	<b>1.780</b>	<b>1.994</b>	<b>18.276</b>	<b>16.733</b>	<b>11.864</b>	<b>27.241</b>	<b>844</b>	<b>1.299</b>
<b>SANTA CATARINA</b>	<b>6.494</b>	<b>5.176</b>	<b>5.355</b>	<b>6.607</b>	<b>10.336</b>	<b>12.557</b>	<b>11.085</b>	<b>15.313</b>	<b>654</b>	<b>1.102</b>

Fonte: IBGE (2002)

## 4 METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Para desenvolver esse trabalho foi necessário conhecer algumas atividades desenvolvidas na agricultura familiar, e como estudo de caso optou-se pela cultura do alho, verificando o ciclo do plantio até sua venda para conhecer o retorno que um sistema de irrigação implica na produção da lavoura.

O primeiro desafio encontrado foi conhecer a necessidade de irrigação do alho que é de 100 mm mensais, e qual a época do ano mais adequada para realizar seu plantio, que vai de maio a dezembro, informações essas encontradas no site da EMBRAPA e EPAGRI e confirmada pelo presidente da ACAPA Sr. Everson Tagliari.

A região escolhida para estudo de caso foi Curitiba por ser a maior produtora de alho do estado de Santa Catarina. Foi avaliado também o clima da região temperatura, radiação e precipitação. Com dados do INMET foi possível concluir que à região fica numa localidade privilegiada para o cultivo do alho.

Conhecendo as informações de clima e cultivo do alho, avaliou-se como seria a produção com irrigação e comparou-se com o modelo existente sem irrigação. Já existem sistemas de irrigação em algumas plantações da cultura, e através destas foi possível observar que a produção sai de uma média entre 2 e 4 toneladas por hectare sem irrigação para 6 a 10 toneladas por hectare com irrigação (EPAGRI, 2019).

Na segunda etapa do trabalho foram avaliadas as placas solares e a bomba que vão suprir a necessidade da lavoura, com base nos dados históricos da região obtidos do site do INMET, avaliando dia a dia o comportamento do sistema fotovoltaico com a contribuição da precipitação e como o sistema se comporta nos períodos de estiagem, afim de garantir o melhor dimensionamento com o menor custo possível.

Com isso concluiu-se o dimensionamento do sistema para suprir a necessidade de 1 hectare de alho plantado, definindo o custo para implementação do sistema bem como os benefícios a longo prazo esperado pela instalação da irrigação utilizando placas solares como forma de geração de energia elétrica para as bombas, todas as etapas do projeto estão descritas no fluxograma a seguir conforme Figura 24.

**Figura 24: Metodologia Desenvolvida**

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Para realização da etapa "dimensionamento placas solares e bomba x reservatório", conforme Figura 24, foram seguidas as etapas do fluxograma conforme Figura 25.

Os dados de chuva e radiação horários foram obtidos no site do INMET na estação meteorológica de Curitiba para o último ano (somente este estava disponível). A chuva que é obtida em mm diários foi convertida para litros diários, e a radiação que estava em  $\text{kJ/m}^2$  foi convertida para  $\text{W/m}^2$ .

O dimensionamento é feito utilizando a relação da irradiação média diária do local (menor valor mensal coincidente com a cultura), pela irradiação média diária do catálogo do fabricante, de forma que atenda a necessidade de água da cultura

Com este dimensionamento médio do sistema fotovoltaico de bombeamento e a irradiação hora a hora é realizada a conversão para litros d'água. Como resultado comum, ao se dimensionar o sistema sem considerar reservatório e a chuva percebe-se que é pouco viável, uma vez que necessita de um sistema muito grande. Este dimensionamento foi realizado para ter-se uma ideia da necessidade de sistemas com coberturas sem armazenamento.

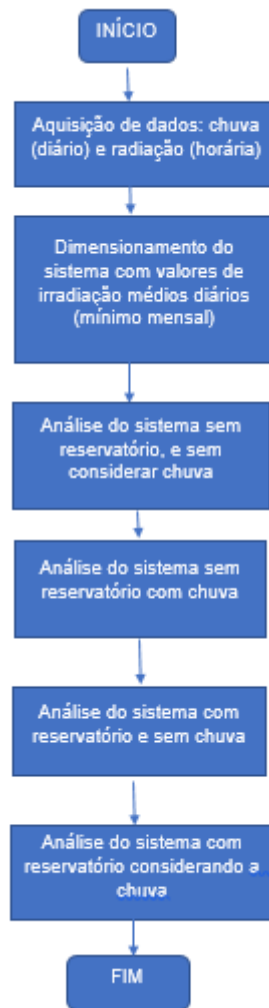
Agora considerando-se a chuva diária (local aberto), é verificado um sistema que atenda (chuva + irrigação) a necessidade da lavoura. Neste caso, o dimensionamento é reduzido, pois também se considera a chuva para atender a necessidade de irrigação.

Ao se considerar a utilização de um reservatório sem considerar a chuva (cultura em cultivo coberto) o sistema se torna mais estável e será menor que o sistema sem chuva e sem reservatório.

Para a análise com reservatório considera-se que o mesmo se inicia cheio, (nesse caso começamos com um reservatório de 100.000L) e, se não houver bombeamento por falta irradiação solar, naquele dia o reservatório passa a suprir a necessidade faltante de água diária.

A análise final e que foi recomendada nesse presente trabalho, é o sistema com reservatório considerando a chuva. A regra utilizada prevê se choveu de maneira suficiente na semana anterior e, caso sim, o sistema fotovoltaico de bombeamento naquela semana somente enche o reservatório. Se não choveu de maneira autossuficiente, o sistema fotovoltaico de bombeamento ajuda na irrigação da lavoura. Nota-se que o balanço hídrico do reservatório é realizado diariamente.

Para se determinar o melhor sistema de irrigação é preciso observar que a medida que aumenta-se a potência da bomba necessita-se de mais placas solares e, por consequência, pode-se diminuir o tamanho do reservatório, e vice-versa. Para se chegar ao tamanho do reservatório, o gráfico resultado da metodologia, conforme estudo de caso com a Figura 34, apresenta o tamanho necessário, pois não se quer ter o mesmo vazio com risco de falta de água para a cultura. Neste sentido, o dimensionamento com reservatório e sem considerar a água da chuva é mais conservativo, o que diminui este risco de falta de água para a cultura, contudo possui um custo maior

**Figura 25: Etapas do dimensionamento do sistema fotovoltaico**

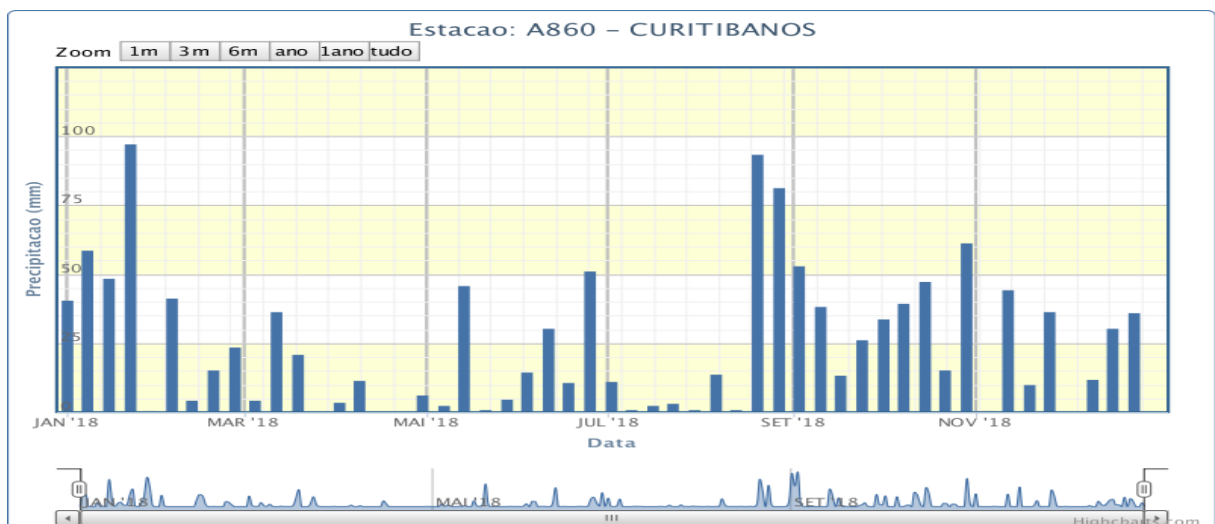
Fonte: Elaboração própria (2019)

## 5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTONOMO SEM BATERIAS: ESTUDO DE CASO

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico autônomo é preciso conhecer a demanda de água que a cultura a ser cultivada necessita, levando em consideração o clima da região. Será feita uma análise para o cultivo de 1 ha (hectare) de alho na região de Curitibaanos, Santa Catarina.

A precipitação de chuva para o ano de 2018 varia conforme a Figura 26, onde nos meses iniciais da plantação ( maio a junho) a necessidade de irrigação é maior.

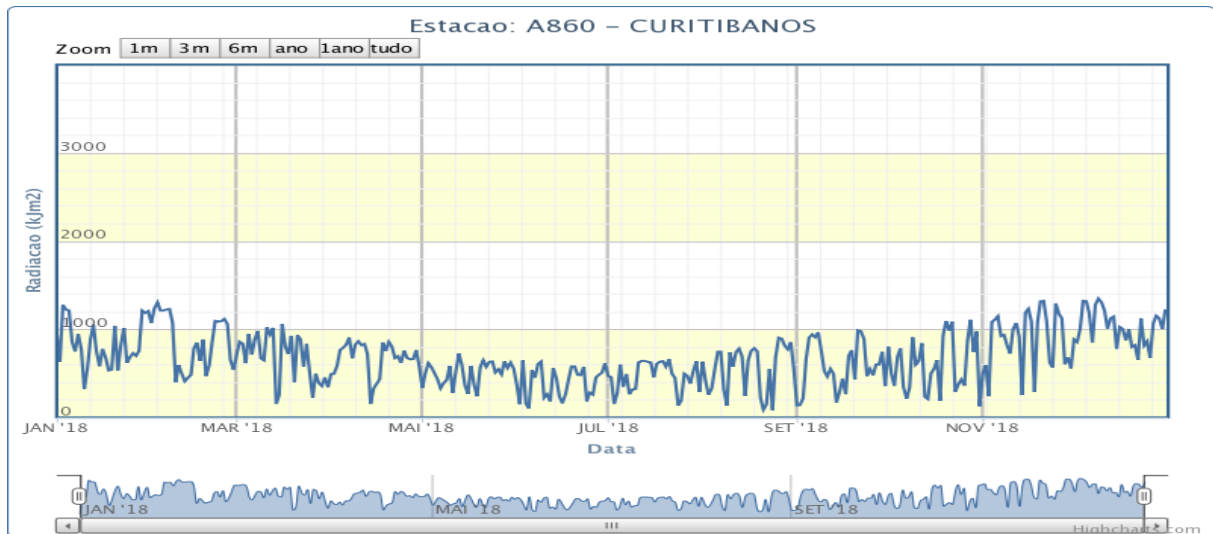
**Figura 26: Precipitação**



Fonte: Inmet (2018)

A radiação solar para o período varia conforme a Figura 27.

**Figura 27: Radiação Solar**



Fonte: Inmet (2018).

Com base nesses dados é possível dimensionar a quantidade de água necessária conforme a necessidade do desenvolvimento da planta, que nesse caso será analisado o alho.

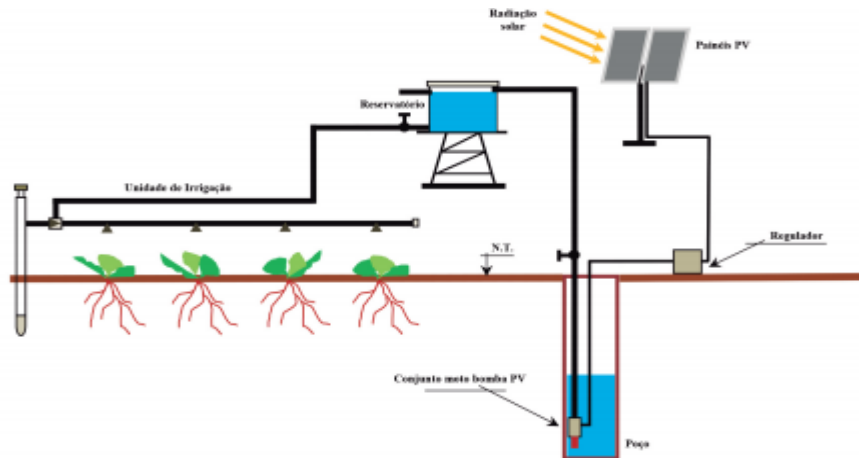
Como o sistema é dimensionado para atender as futuras plantações dos agricultores é preciso levar em consideração o histórico de chuva da região, como descrito no Anexo A do ano de 2009 até 2018. Esse levantamento possibilita aplicar o melhor sistema de irrigação com o menor custo para o produtor rural.

## 5.1 Estudo de Caso

Para exemplificar, um sistema a ser analisado será composto de conjunto motobomba submersível, regulador de carga, poço do tipo amazonas (que nesse presente trabalho será lago), reservatório superior, tubulação adutora, linhas de irrigação provida de aspersores e painéis solares, conforme Figura 28.



Figura 28: Esquema de instalação do sistema fotovoltaico autônomo



Fonte: Fortes (2019)

Nesse tipo de sistema não há a necessidade de baterias pois o reservatório serve como um acumulador de energia cinética suprimindo a irrigação quando não houver geração por meio das placas solares.

Pelo levantamento realizado com base nas informações do presidente da ACAPA e dados da EMBRAPA o alho precisa, em média 100.000 L de água no mês, logo precisa-se de um sistema para atender 3.300 L/dia.

A vazão de água bombeada diariamente depende da altura  $h$  e da altura manométrica da bomba em relação ao reservatório conforme Figura 29. Foi estabelecido para fins de cálculo do sistema a ser empregado uma altura  $h = 10$  metros e uma distância de 100 metros do reservatório até a bomba, em que a altura manométrica total ficou 18 metros.

Figura 29: Altura equivalente da bomba em razão da altura  $h$  pela altura manométrica



Fonte: Neosolar (2019)

A maneira mais simples para dimensionar o sistema de irrigação seria utilizar a relação da irradiação média diária de Curitiba, conforme Figura 51, pela Irradiação

média do catálogo do fabricante, de 6kWh/m<sup>2</sup> conforme Figura 11, e verificar um sistema que atenda a 3.330L/dia de irrigação, considerando a altura manométrica. O sistema da Figura 11 não atenderia, pois, a irradiação média diária, conforme Figura 51, é de aproximadamente 2,92 e 2,6 kWh/m<sup>2</sup> para os meses de maio e junho, respectivamente. Assim, mesmo no melhor caso para o sistema de 170Wp, com altura manométrica de 18m (~20m) o montante de água seria de aproximadamente 1.780L/dia em maio e 1.580L/dia em junho. Já com dois sistemas, conforme a Figura 11, seria possível atender a necessidade mínima para um hectare.

Conforme já mencionado, a metodologia aqui visa analisar um histórico mais detalhado (hora a hora) de irradiação e chuva para verificar se com o dimensionamento simplificado, conforme parágrafo anterior, seria suficiente para atender a irrigação diária.

Os dados utilizados neste estudo de caso são do INMET e limitados a extração do último ano. Assim os dados aqui usados são de 13/09/2018 até 15/12/2018 e, para complementar os meses anteriores de 15/05 até 12/09, foram utilizados os dados de 2019. Analisando-se o período de 15/05 até 15/12.

Assim, neste caso, com os dois sistemas da Figura 11, haveria um déficit de água em alguns períodos para o período analisado, mesmo utilizando-se a pior média de irradiação anual, caso não houvesse um reservatório.

Feita essa primeira análise, pensando-se em um sistema único de bombeamento, agora é pensado em um outro dimensionamento com reservatório.

Para tanto, fora considerado um reservatório com capacidade de armazenamento máximo de 100.000 Litros de água, iniciando-se cheio.

A regra utilizada pelo reservatório foi: se a geração fotovoltaica permitir um valor maior que 3.300L/dia, o reservatório aumenta o volume (até o máximo), mas se o valor for menor, o reservatório diminui o volume (até zero). Para o caso de uma chuva na semana anterior maior que uma média de 3,3mm (totalizando 23,1mm semanal), foi considerado que não haverá a utilização de irrigação naquela semana e o reservatório estará somente enchendo com o bombeamento da geração fotovoltaica.

Para determinar a potência do sistema e o reservatório a ser utilizado, foram analisadas duas possibilidades, aumentar o sistema de bombeamento e diminuir o tamanho do reservatório, e diminuir o sistema de bombeamento e aumentar o tamanho do reservatório.

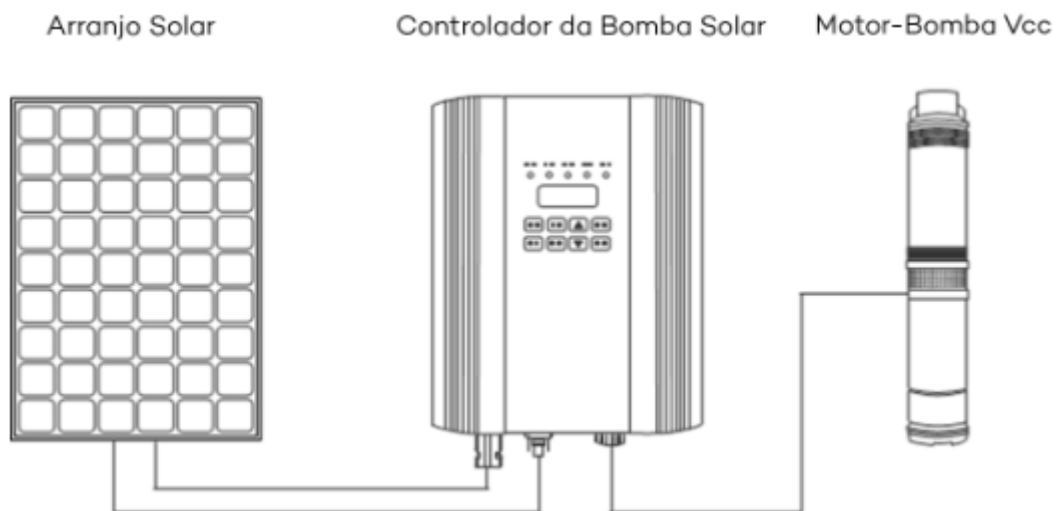
No primeiro caso a medida que o sistema aumenta o custo dobra de valor e a potência do módulo fotovoltaico e a bomba precisam ser muito altos para atender a vazão de água demandada.

No segundo caso o tamanho do reservatório fica muito exagerado para se fazer elevação, e seu custo mais o custo da estrutura necessária para suportar o peso inviabiliza a instalação do sistema de irrigação fotovoltaico.

O sistema escolhido foi o kit bomba d'água solar fotovoltaica caneta submersa 330 W e vazão de 10.000 L/dia com altura manométrica de 2 metros e mínimo de 3.400 L/dia com altura manométrica de 50 metros, com irradiação solar considerada 6 kWh/m<sup>2</sup>/dia modelo SPM3300H010 conforme ilustrado na figura 30, composto por:

- Um painel solar fotovoltaico com potência de 330 Wp
- Bomba solartech helicoidal 300 W construída em aço inox AISI304;
- Inversor controlador bomba solar;

**Figura 30: Kit bombeamento solar**



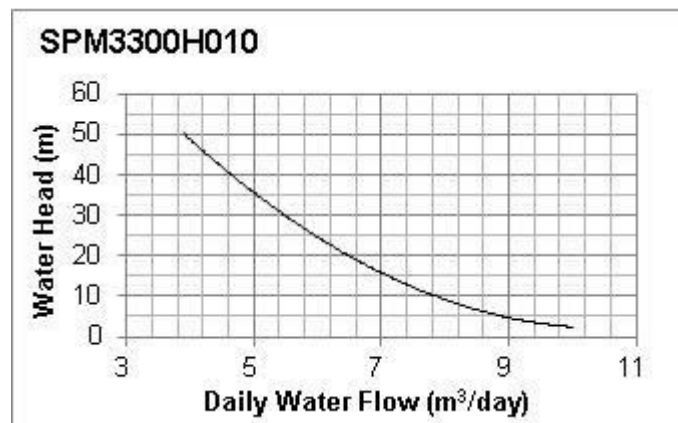
Fonte: Neosolar (2019)

A vazão diária da bomba para uma altura manométrica de 18 metros depende da relação vazão diária para H ( altura manométrica) da bomba, conforme Figura 31,

diretamente proporcional a irradiação local e inversamente proporcional a irradiação do catálogo da bomba.

$$\text{Vazão diária } p/ H \times \text{Irradiação local} / \text{Irradiação catálogo} = \text{Vazão corrigida.} \quad (1)$$

**Figura 31: Curva de performance**



Fonte: Neosolar (2019)

Com a altura do reservatório  $h = 10$  metros e altura manométrica  $H = 18$  metros a vazão diária é de aproximadamente 6.500 L/dia. Para a irradiação média de 4,141 kWh/m².dia de Curitiba, a vazão corrigida é de 4.486 litros de água diário.

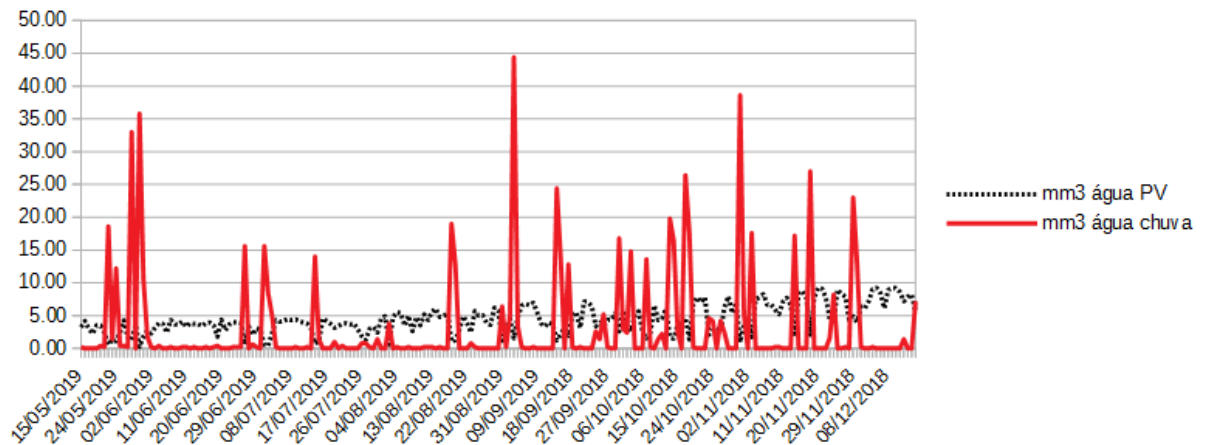
Pela potência da bomba e a potência da placa é possível verificar qual irradiação o módulo precisa para gerar 100% da capacidade da bomba operando no seu limite máximo.

$$300/330 = 0,91 \longrightarrow 0,910 \text{ kW/m}^2 \quad (2)$$

Os dados do INMET são convertidos de kJ/m² para kW/m² e com a aplicação do fator limite de irradiação de 0,910 kW/m², que é a capacidade máxima de geração de energia fotovoltaica que a bomba irá suportar para produzir sua máxima capacidade.

Analisando a quantidade de água da chuva e a quantidade de água bombeada pelo sistema fotovoltaico semana a semana, conforme Figura 32, analisou-se também a necessidade de se ter um reservatório com capacidade de 100.000 L, mas como a curva de utilização não ultrapassava 20.000 L de água, este tamanho foi considerado.

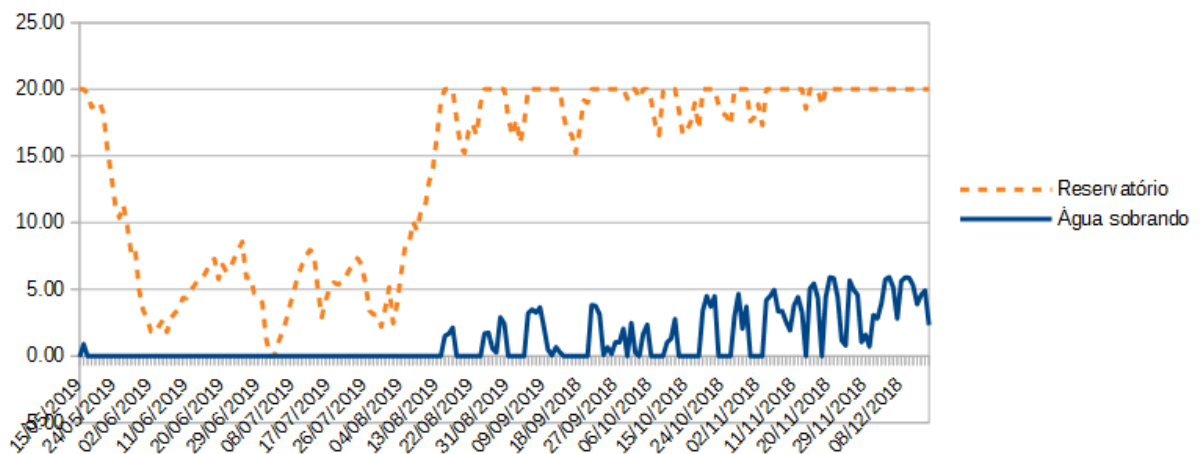
**Figura 32: Água da chuva x Água bombeamento FV**



Fonte: Elaboração própria (2019)

Quando o sistema utilizar somente água proveniente da irrigação fotovoltaica o reservatório terá um comportamento instável no início da plantação e manterá um comportamento estável nos meses final mantendo quase que sua capacidade total cheia conforme a Figura 33.

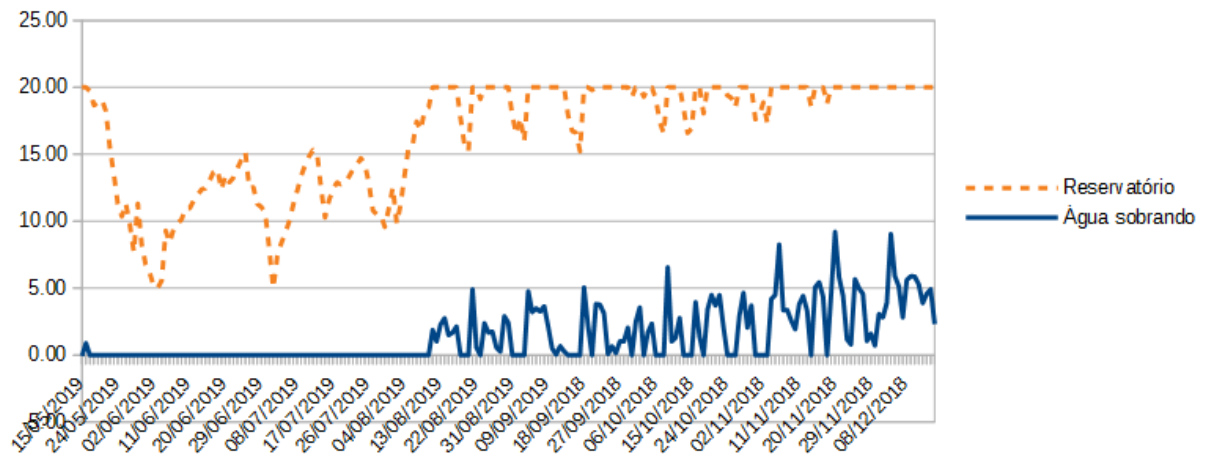
**Figura 33: Armazenamento reservatório d'água sempre usando FV**



Fonte: Elaboração própria (2019)

Ao analisar o sistema considerando a água proveniente da chuva, é possível constatar que o reservatório complementa a necessidade total de água da hortaliça mesmo nos meses com maior déficit hídrico provocado por longos períodos de estiagem conforme Figura 34.

**Figura 34: Armazenamento reservatório d'água mais chuva**



Fonte: Elaboração própria (2019)

## 5.2 Resultado e Discussões

O sistema de irrigação por aspersão convencional tipo portátil ( Figura 12) custa em média 2000,00/ha a 4000,00/ha, sendo o sistema constituído por uma linha adutora, um conjunto motobomba, uma linha principal, uma ou mais linhas laterais e os aspersores, permitindo irrigar áreas de qualquer formato. Como o conjunto motobomba não se faz necessário por já ter sido adquirido junto ao sistema fotovoltaico, o custo aproximado do sistema por aspersão fica em torno de 900,00 a 2900.

O conjunto painel solar + bomba custa em torno de 4.599,00 ( NEO SOLAR, 2019), o reservatório de 20.000 L custa em média 4.600,00 ( MERCADO LIVRE, 2019) mais 400,00 para se fazer a estrutura que irá servir como base para o reservatório (p.s. uma opção mais barata é o próprio agricultor construir seu reservatório).

A produtividade aumenta em até 6 toneladas por hectares com a instalação de um sistema de irrigação (EMBRAPA, 2019), possibilitando ao agricultor catarinense uma maior competitividade com o alho importado principalmente da China e Argentina.

Assim, o custo total para implantar um sistema de irrigação utilizando o kit de bombeamento solar fotovoltaico gira em torno de R\$ 10.900,00.

Considerando o valor da última safra em que a saca de alho contendo 10 kg girou em torno de R\$ 51,91 reais, o produtor que tem o sistema de irrigação instalado faturou R\$ 31.146,00 reais a mais que o produtor que não possui sistema de irrigação, portanto pagando seu sistema em uma colheita no qual as chuvas são irregulares.

A cultura do alho utilizou 600 mm de água no total e a quantidade de água que sobrou nos 6 meses analisados pelo sistema fotovoltaico de bombeamento sem considerar chuva foi de 250.567 mm. Já quando se considera chuva a água que sobrou foi de 305.648 mm. Essa sobra poderá ser utilizada em outras culturas ou para consumo de animais.

Nos meses que não se utiliza água para cultura do alho a irradiação média é maior, logo, o bombeamento de água será maior e o agricultor poderá usar o sistema para irrigar outras áreas.

Se aumentar um pouco o tamanho do sistema de bombeamento, poder-se-á diminuir o tamanho do sistema de armazenamento, como seria o caso para os dois sistemas da Figura 11, com o custo aproximado de R\$ 4.300,00 (NEO SOLAR, 2019) e diminuir um pouco o reservatório para 15.000 L, ou usar o mesmo de 20.000 L, que tem um preço muito próximo. Assim ficando a escolha não relativa a questão técnica/econômica pura, mas também considerando-se outros fatores.

O sistema foi analisado para o pior caso, em que os módulos solares estão na posição horizontal, no entanto, recomenda-se que coloque os módulos com ângulo de inclinação 47 graus norte maior mínimo mensal conforme gráfico da Figura 49 do Anexo A.

Nota-se que o estudo de caso foi realizado para um caso genérico com poucos dados históricos, podendo-se haver uma diferença no dimensionamento para uma maior quantidade de dados.

## **6 CONCLUSÕES**

O Brasil apresenta grande potencial solar a ser explorado, e os custos para produção de módulos fotovoltaicos vem caindo gradativamente com o passar dos anos, fazendo com que os custos para instalação dessa tecnologia se torne cada vez mais acessíveis a pessoas de baixa renda.

O principal objetivo da irrigação utilizando a energia solar fotovoltaica é proporcionar ao trabalhador rural uma regularidade da colheita de suas lavouras e de forma constante, fazendo com que o mesmo não precise esperar o ciclo das chuvas para realizar seu plantio.

O sistema de irrigação utilizando energia solar fotovoltaica é indicado para lugares remotos onde o acesso à energia elétrica por meio da rede convencional se torna inviável, possibilitando o aproveitamento daquela região para a agricultura ou demais atividades que necessitem de uma boa quantidade de água por dia para se desenvolver.

Se faz necessário o dimensionamento com uma sobra considerável de água, pois foi feita uma análise para o comportamento do clima de um ano, uma vez que o INMET só disponibiliza dados históricos dia a dia do último ano. O indicado é fazer uma avaliação com base nos gráficos anual dos últimos 10 anos conforme Anexo A.

Com a implementação de novas tecnologias no campo, além de atrair a permanência dos jovens proporciona uma maior produtividade de alimentos e aumento da renda do agricultor familiar.

Para a implementação de um sistema de irrigação ainda seria necessária uma consulta a entidades locais oficiais para se verificar a possibilidade legal desta atividade.

### **6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

1. Fazer o comparativo do desempenho do sistema de irrigação solar fotovoltaico em relação aos sistemas de irrigações convencionais;
2. Realizar o levantamento dos impactos na comunidade com a implementação de um sistema de irrigação fotovoltaico;



3. Estudar localmente como aproveitar o sistema de irrigação solar fotovoltaico quando não estiver irrigando a lavoura;
4. Fazer um estudo da automação do processo considerando não somente a quantidade de água diária, mas a umidade necessária do solo.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Mauricio Guy. **Efeito De Um Sistema De Bombeamento De Água Fotovoltaico Na Operação De Um Microaspersor**, 2013.

ANEEL. **Energia Solar** Disponível em [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia\\_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf). Acesso em 09 mai. 2019.

CONAB **Histórico Mensal do Alho** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-alho>. Acesso em 20 nov. 2019.

CRESESB, CEPEL. **Atlas Solarimétrico do Brasil** Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas\\_Solarimetrico\\_do\\_Brasil\\_2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf). Acesso em 01 mai. 2019a.

CRESESB, CEPEL. **Energia Solar Fotovoltaica** Disponível em [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=321](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321). Acesso em: 31 abr. 2019b.

CRESESB, CEPEL **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos** Disponível em:

[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 11 de Ago. 2019c.

EMBRAPA. **Como Plantar Alho** Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/alho/clima> acesso em: 13 mai. 2019.

EPAGRI. **Boletim Agropecuário EPAGRI**. Disponível em [http://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/Boletim\\_agropecuário/boletim\\_agropecuário\\_n63.pdf](http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/Boletim_agropecuário/boletim_agropecuário_n63.pdf). Acesso em: 21 mai. 2019a.

EPAGRI. **Estudo de Economia e Mercado de Produtos Agrícolas, Alho** Disponível em [http://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/publicacoes/ALHO.pdf](http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/ALHO.pdf). Acesso em 20 mai. 2019b.

EPAGRI. **Panorama da Agricultura Familiar em Santa Catarina** Disponível em <https://www.epagri.sc.gov.br/>. Acesso em: 20 abr. 2019c.

EPAGRI **Alho** Disponível em: [http://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/publicacoes/ALHO.pdf](http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/ALHO.pdf). Acesso em Ago. 2019d.

EPE. **Energia renováveis** Disponível em <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202018-ab%202017vff.pdf>. Acesso em 25 abr. 2019.

FORTES **Esquema da Instalação do Sistema Fotovoltaico** Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-8-Esquema-da-instalacao-do-Sistema-PV-autonomo-aplicado-a-irrigacao>. Acesso em 10 nov. 2019.

FREITAS, Giovana Souza; DATHEIN, Ricardo. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. **Revista Nexos Econômicos**, v. 7, n. 1, p. 71-94, 2015.

IBGE. **Censo IBGE 2010** Disponível em <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=P13&uf=00>. Acesso em 22 abr. 2019.

INMET. **Histórico do Clima em Curitiba** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 23 mai. 2019.

INPE **Atlas Brasileiro de Energia Solar** Disponível em : [http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf). Acesso em 11 Ago. 2019.

MARQUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 15p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 57)

MELÉNDEZ, Teddy Arturo Flores. **Avaliação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MERCADO LIVRE. **Kit Bombeamento Anuger** Disponível em [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-905348841-kit-bombeamento-anauger-r100-placa-solar-335w-sensor-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-905348841-kit-bombeamento-anauger-r100-placa-solar-335w-sensor-_JM). Acesso em: 10 mai. 2019.

NEOSOLAR **Altura manométrica** Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/kit-bomba-solar-anauger-p100-reservatorio-120wp.html>. Acesso 21 nov. 2019.

.MARQUELLI et all **Irrigação na cultura do alho** Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/287640895\\_Irrigacao\\_na\\_cultura\\_do\\_alho](https://www.researchgate.net/publication/287640895_Irrigacao_na_cultura_do_alho). Acesso em: 20 nov. 2019.

SCRURAL. **Obstáculo ao Crescimento da Agricultura Familiar** Disponível em: <http://www.scrural.sc.gov.br/?p=23556>. Acesso em: 21 abr. 2019.

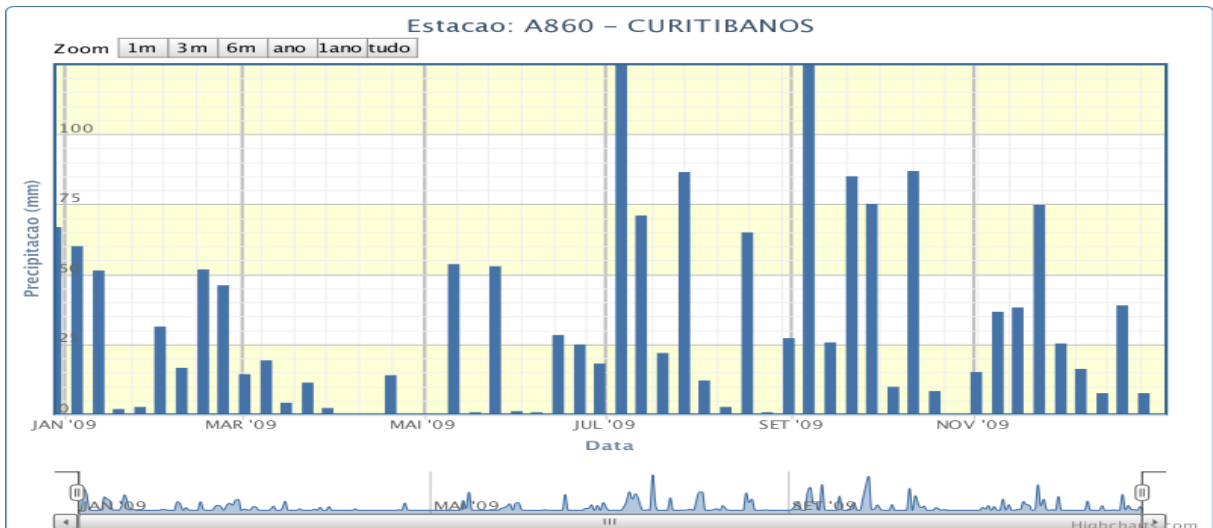
VILLALVA, Marcelo Gradella; Gazolli, Jonas Rafael **Energia Solar Fotovoltaica** 2012. Cap.3.

SOLAR BRASIL. **Sistemas conectados a rede** Disponível em: <https://www.solarbrasil.com.br/blog/o-que-sao-os-sistemas-conectados-a-rede-on-grid-2/>. Acesso em: 24 nov. 2019.

## Anexo A

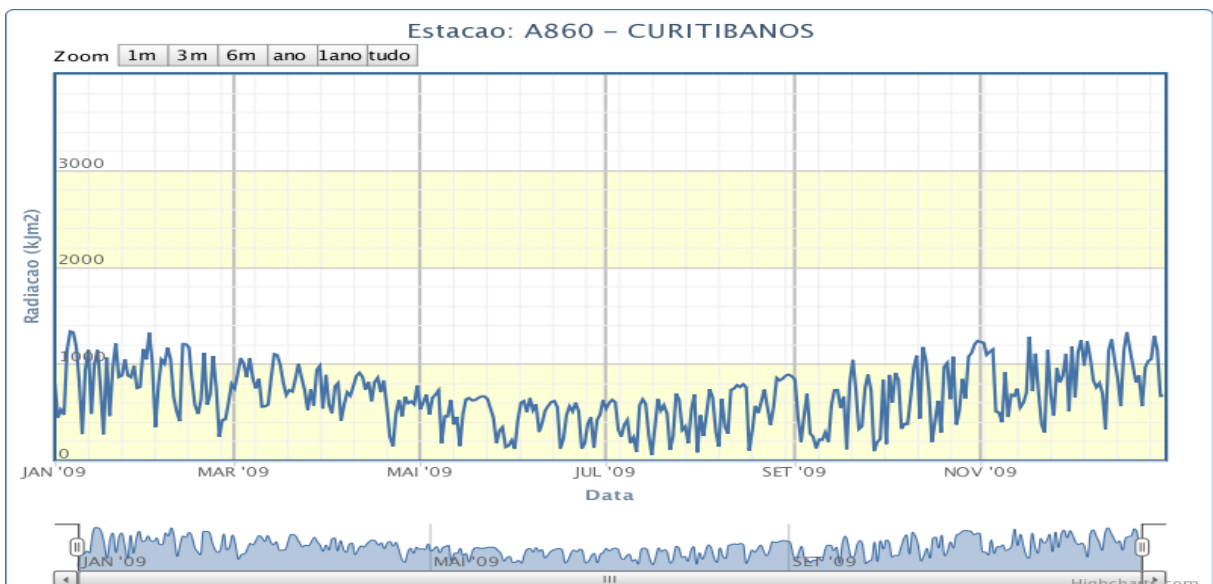
A seguir é apresentado nas Figuras 35 a 54 um balanço histórico de chuva para a região de Curitiba/SC entre os anos de 2009 até 2019, exceto os anos de 2015 e 2016 que não estão disponíveis no site do Inmet.

**Figura 35: Precipitação ano 2009**



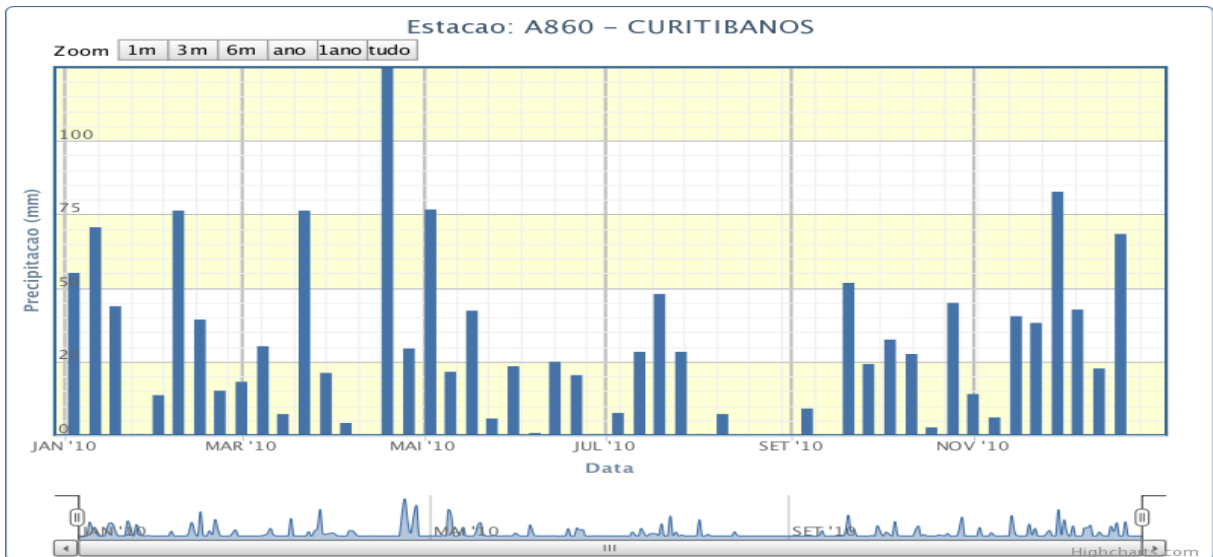
Fonte: Inmet (2019)

**Figura 36: Radiação ano 2009**



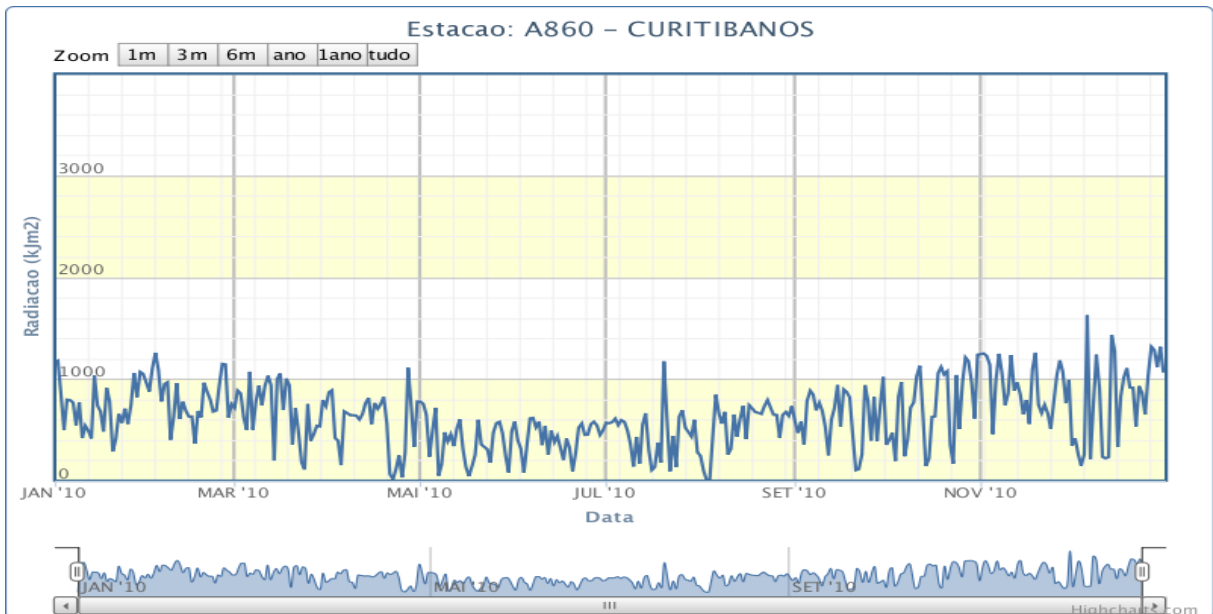
Fonte: Inmet (2019)

**Figura 37: Precipitação ano 2010**



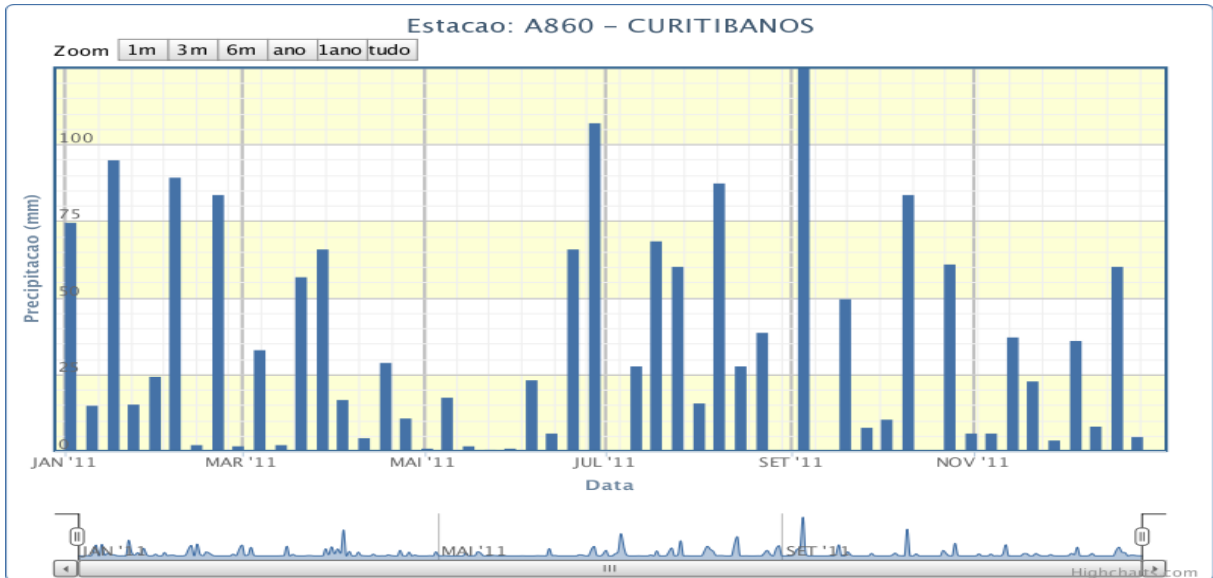
Fonte: Inmet (2019)

**Figura 38: Radiação ano 2010**



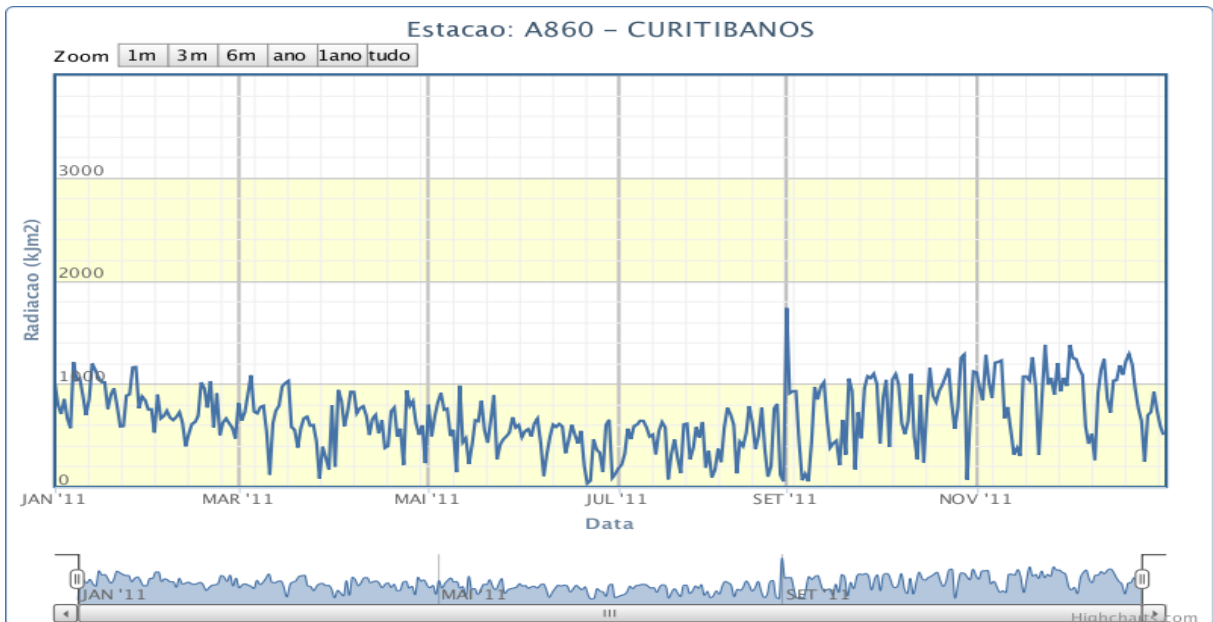
Fonte: Inmet (2019)

**Figura 39: Precipitação ano 2011**



Fonte: Inmet (2019)

**Figura 40: Radiação ano 2011**



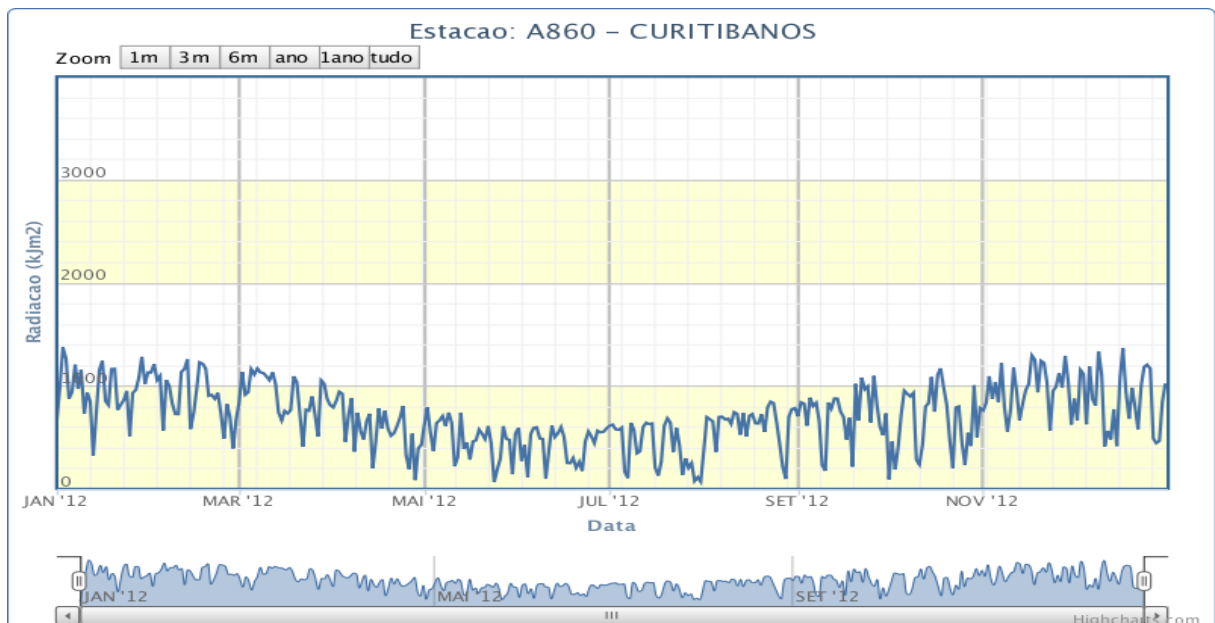
Fonte: Inmet (2019)

**Figura 41: Precipitação ano 2012**



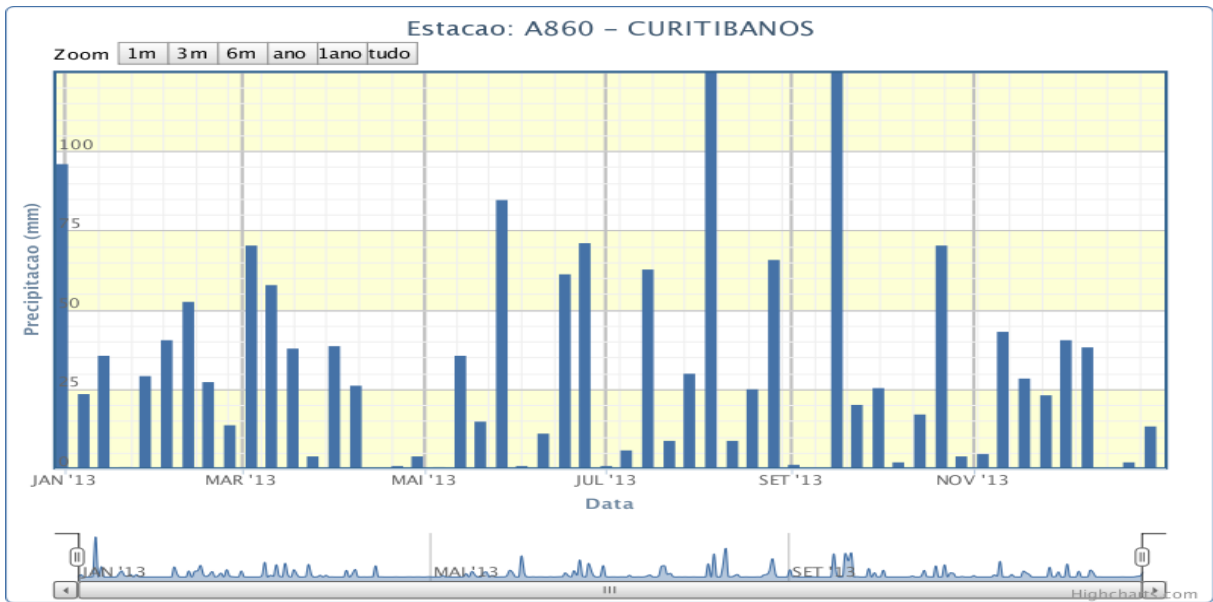
Fonte: Inmet (2019)

**Figura 42: Radiação ano 2012**



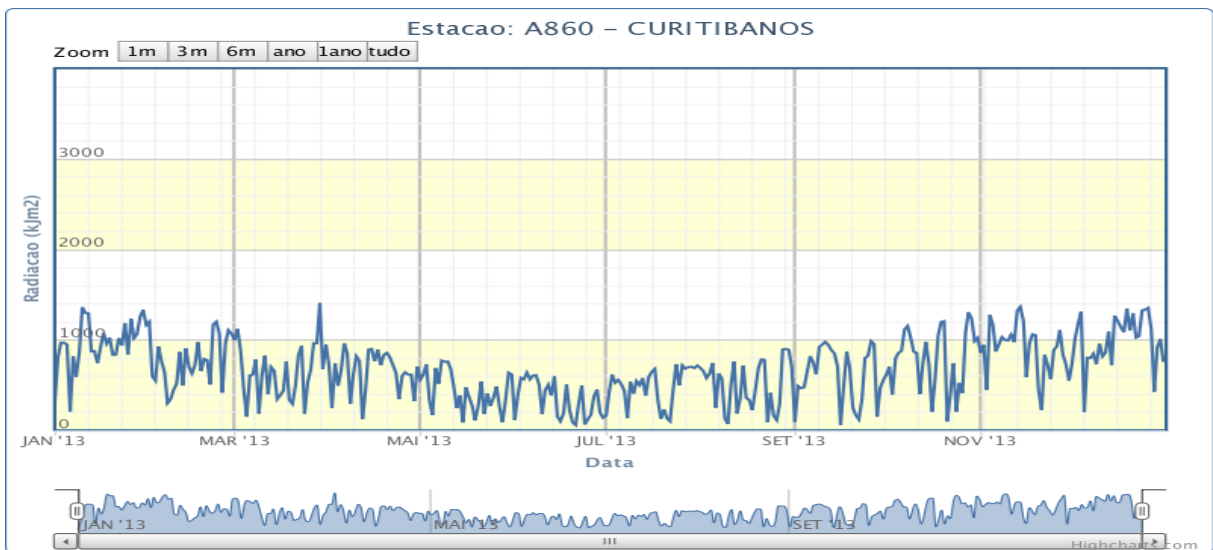
Fonte: Inmet (2019)

**Figura 43: Precipitação ano 2013**



Fonte: Inmet (2019)

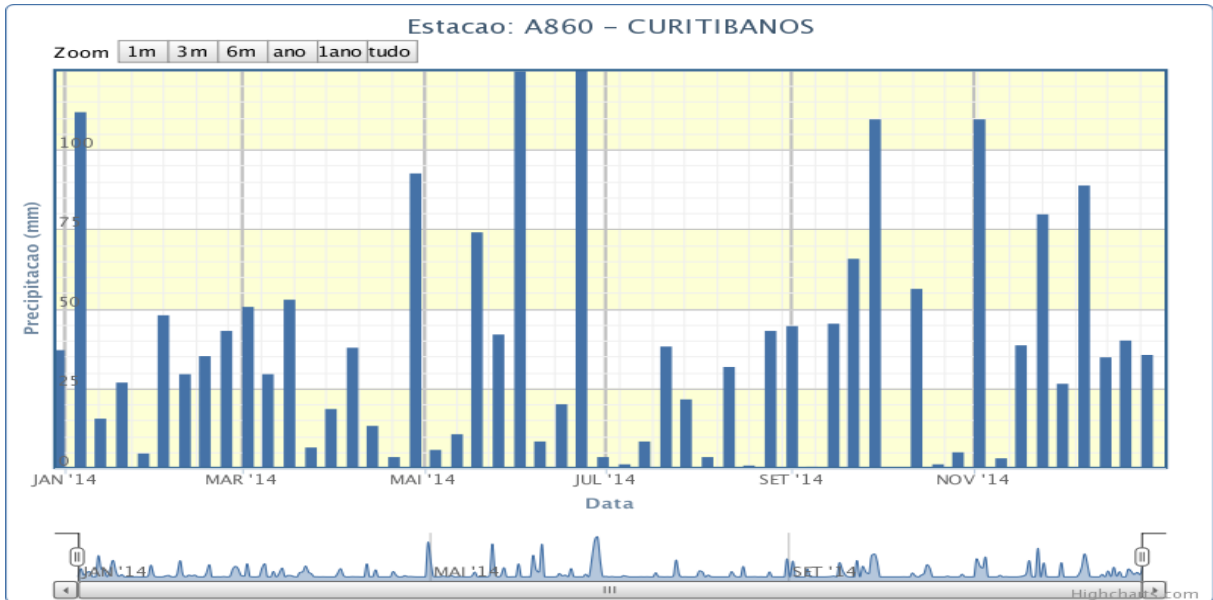
**Figura 44: Radiação ano 2013**



Fonte: Inmet (2019)

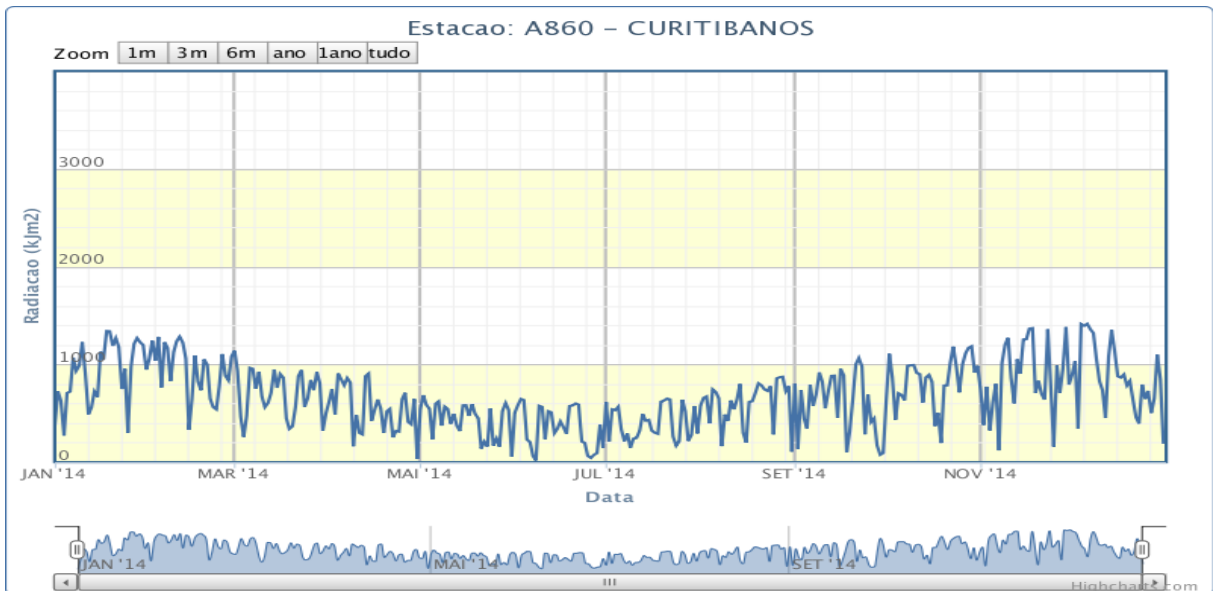


**Figura 45: Precipitação ano 2014**



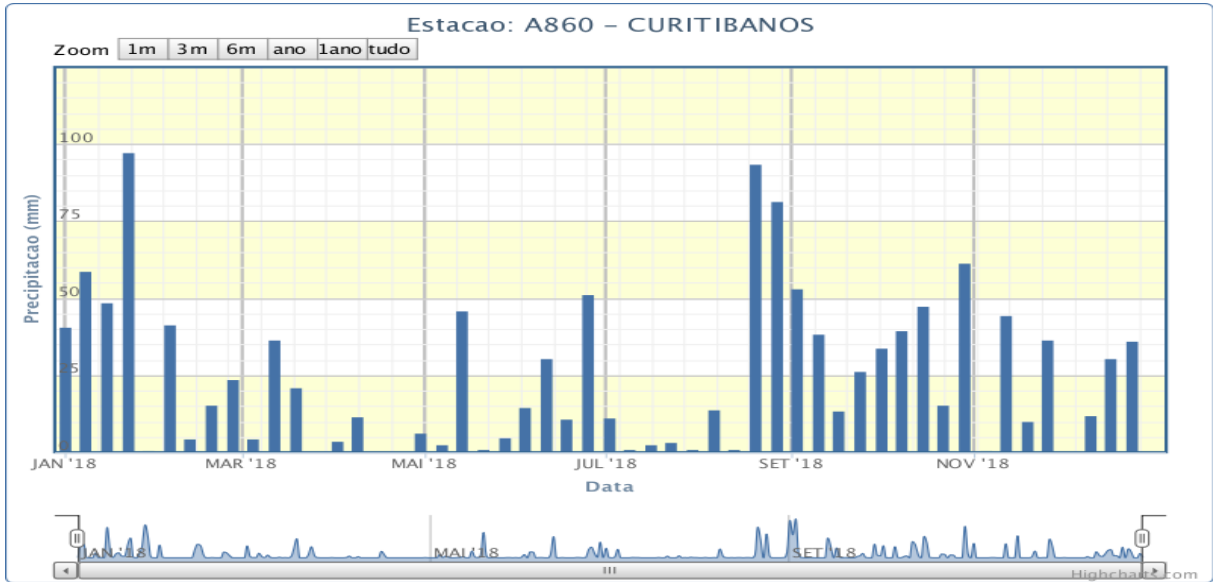
Fonte: Inmet (2019)

**Figura 46: Radiação ano 2014**



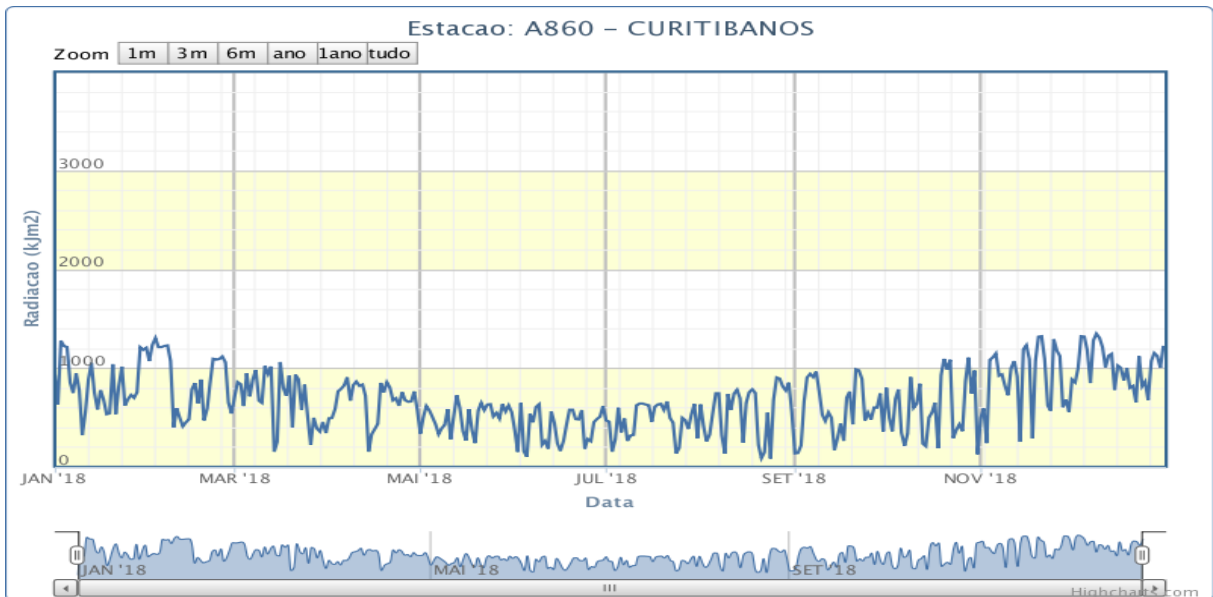
Fonte: Inmet (2019)

**Figura 47: Precipitação ano 2018**



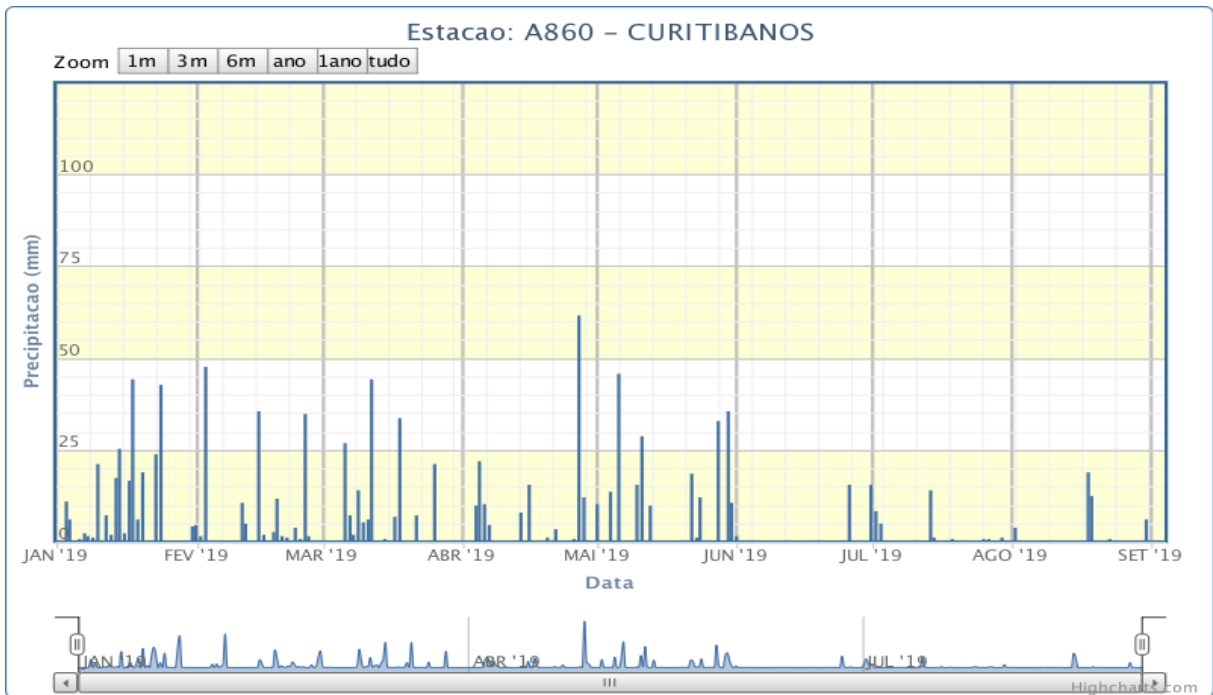
Fonte: Inmet (2019)

**Figura 48: Radiação ano 2018**



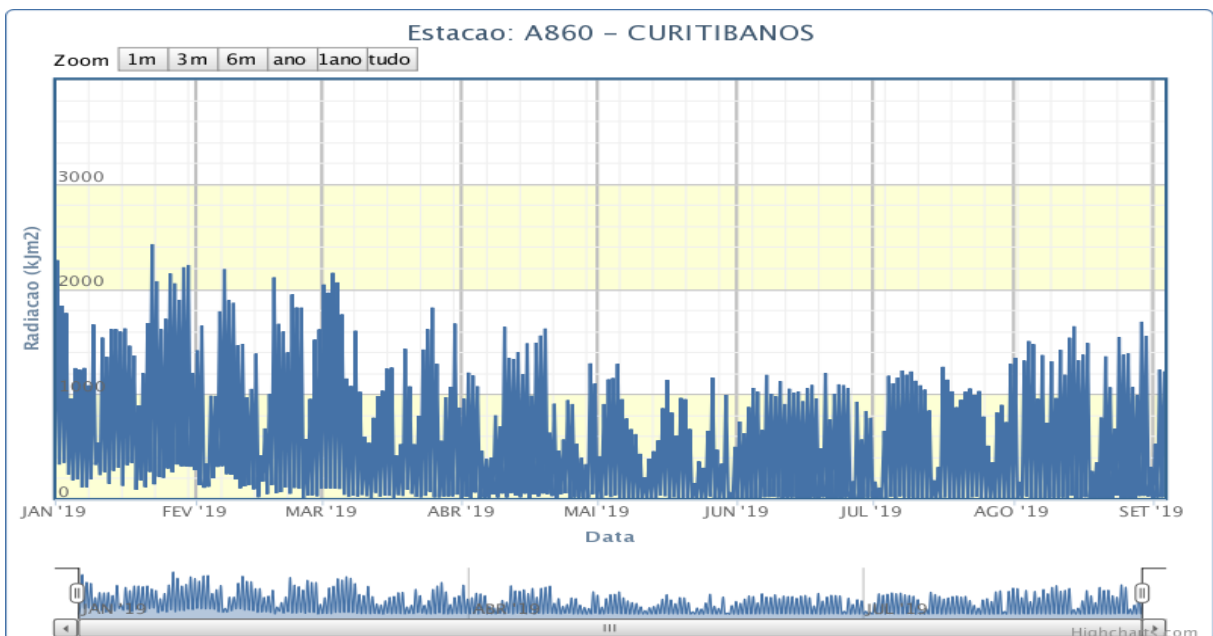
Fonte: Inmet (2019)

**Figura 49: Precipitação ano 2019**



Fonte: Inmet (2019)

**Figura 50: Radiação ano 2019**



Fonte: Inmet (2019)

**Figura 51: Irradiação solar diária média [kWh/m<sup>2</sup>.dia]**

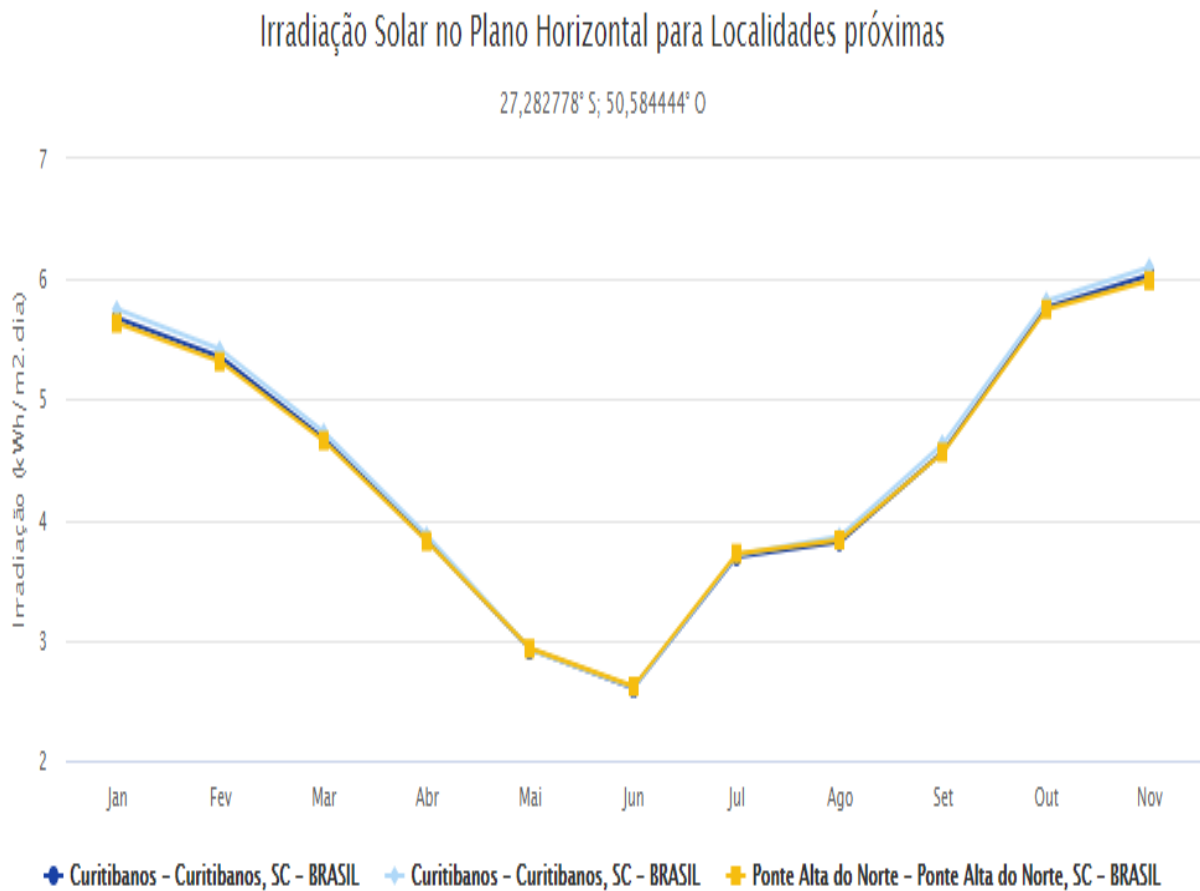
Latitude: 27,282778° S

Longitude: 50,584444° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]																	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
☑	Curitibanos	Curitibanos	SC	BRASIL	27,301° S	50,549° O		4,1	5,68	5,35	4,68	3,83	2,92	2,60	2,82	3,70	3,82	4,57	5,76	6,04	4,31	3,43
☑	Curitibanos	Curitibanos	SC	BRASIL	27,301° S	50,649° O		6,7	5,75	5,42	4,73	3,87	2,92	2,61	2,84	3,71	3,86	4,64	5,82	6,10	4,35	3,49
☑	Ponte Alta do Norte	Ponte Alta do Norte	SC	BRASIL	27,201° S	50,549° O		9,8	5,64	5,31	4,66	3,82	2,93	2,62	2,85	3,72	3,83	4,56	5,75	5,99	4,31	3,37

Fonte: INMET (2019)

**Figura 52: Irradiação Solar no Plano Horizontal para localidades próximas**



Fonte: INMET (2019)

Cálculo no plano inclinado.

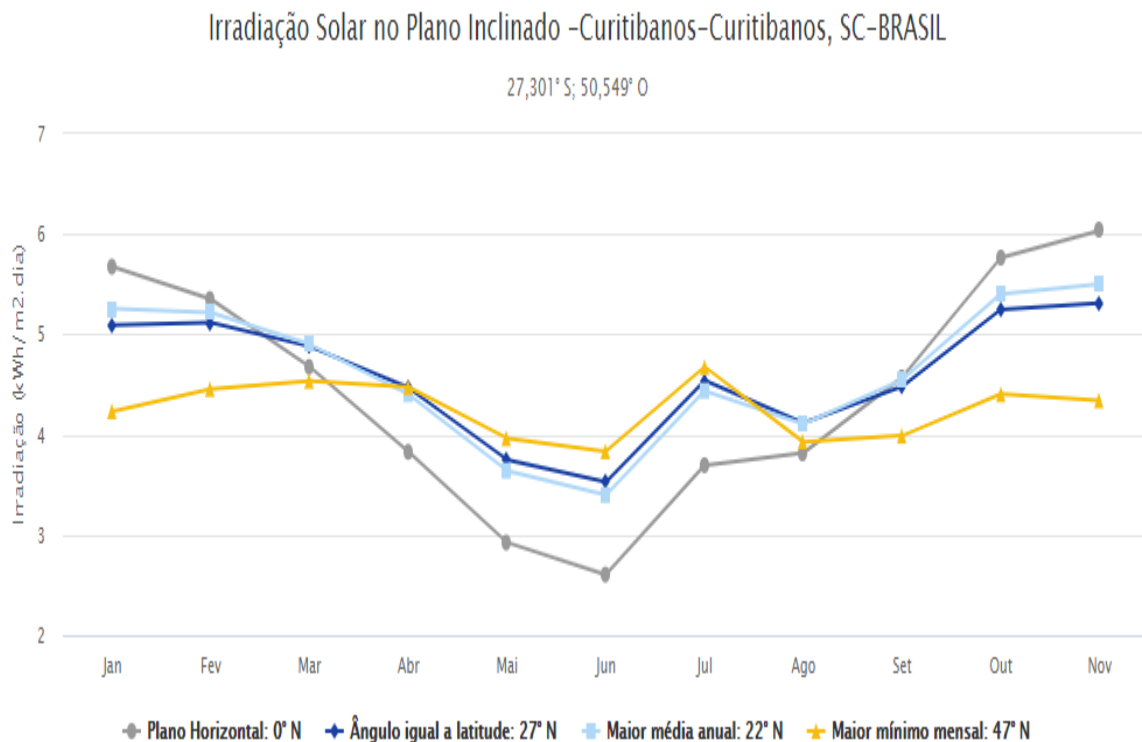
**Figura 53: Irradiação Média Diária Mensal- Curitibaanos**

Estação: Curitibaanos  
 Município: Curitibaanos , SC - BRASIL  
 Latitude: 27,301° S  
 Longitude: 50,549° O  
 Distância do ponto de ref. ( 27,282778° S; 50,584444° O ): 4,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez			
☑	Plano Horizontal	0° N	5,68	5,35	4,68	3,83	2,92	2,60	2,82	3,70	3,82	4,57	5,76	6,04	4,31	3,43	
☑	Ângulo igual a latitude	27° N	5,09	5,12	4,88	4,47	3,75	3,53	3,75	4,54	4,12	4,48	5,25	5,31	4,52	1,79	
☑	Maior média anual	22° N	5,26	5,22	4,90	4,40	3,64	3,40	3,62	4,44	4,11	4,55	5,40	5,50	4,54	2,11	
☑	Maior mínimo mensal	47° N	4,23	4,46	4,54	4,47	3,96	3,83	4,03	4,68	3,93	3,99	4,40	4,34	4,24	,84	

Fonte: INMET (2019)

**Figura 54: Irradiação Solar no Plano Inclinado- Curitibaanos**



Fonte: INMET (2019)

