



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES
CAMPUS PATOS DE MINAS

MATHEUS ROSSATO PEREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA PARA AQUISIÇÃO
DE DADOS E MONITORAMENTO DE FALHAS EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS**

PATOS DE MINAS
2018

MATHEUS ROSSATO PEREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA PARA AQUISIÇÃO
DE DADOS E MONITORAMENTO DE FALHAS EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS**

Trabalho apresentado como parte das exigências para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações da Universidade Federal de Uberlândia *Campus* Patos de Minas.

Orientador: Prof. Ms. Alexander Bento Melo

PATOS DE MINAS
2018

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA PARA AQUISIÇÃO
DE DADOS E MONITORAMENTO DE FALHAS EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS**

Trabalho apresentado como parte das exigências para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações da Universidade Federal de Uberlândia *Campus* Patos de Minas.

Patos de Minas, 12 de novembro de 2018

Professor Ms. Alexander Bento Melo – UFU/FEELT

Orientador

Professora Dr^a. Elise Saraiva – UFU/FEELT

Examinador

Professor Dr. Júlio César Coelho – UFU/FEELT

Examinador

RESUMO

Com o grande avanço no setor de energia fotovoltaica, tem se tornado necessário o desenvolvimento de tecnologias para que seja possível realizar o monitoramento desses sistemas e garantir que os mesmos operem em alta performance na geração de energia, de tal forma a garantir que o investimento se viabilize. O presente trabalho tem como objetivo simular uma planta fotovoltaica e desenvolver um sistema que realize a aquisição de dados e o monitoramento de falhas em sistemas fotovoltaicos. O trabalho é dividido em duas partes essenciais. A primeira parte, fala sobre toda a teoria que envolve um sistema de produção de energia solar, desde o princípio básico de funcionamento até os componentes necessários para que sua produção seja realizada, já na segunda parte é discutido sobre como é realizado a simulação de uma planta fotovoltaica em um *software* de simulação, quais as principais variáveis de estudo no momento de analisar a performance do sistema e como os dados gerados podem ser observados por um usuário utilizando uma das principais inovações no setor de telecomunicações que é a Internet das Coisas (IoT).

Palavras-chave: sistema fotovoltaico, aquisição de dados, monitoramento de falhas.

ABSTRACT

According to the new perspectives in the photovoltaic sector, it has become necessary to develop new technologies to be able to perform the monitoring in these systems and ensure that they operate at high performance in the generation of energy, making the investment feasible. The present work aims to simulate a photovoltaic plant and develop a system that performs data acquisition and fault monitoring in photovoltaic systems. The work is divided into two essential parts. The first part talks about all the theory that involves a system of solar energy production, from the basic principle of operation to the components necessary for its production to be carried out, already in the second part is discussed about how can we make an simulation of a photovoltaic plant in a simulation software, what are the main study variables at the moment of analyzing the performance of the system and how the generated data can be observed by a user using one of the main innovations in the telecommunications sector that is the Internet of Things (IoT).

Keywords: photovoltaic system, data acquisition, fault monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico incluindo baterias, controlador de carga, baterias e saídas CC e CA.	10
Figura 2- Esquemático de um sistema fotovoltaico isolado (SFI).....	14
Figura 3- Esquemático de um sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica (SFCR)	15
Figura 4- Célula fotovoltaica feito com células fotovoltaicas do tipo monocristalino.....	16
Figura 5- Célula fotovoltaica feito com células fotovoltaicas do tipo policristalino.....	17
Figura 6- Painéis solares conectados em série.....	17
Figura 7- Painéis solares conectados em paralelo	18
Figura 8 – Curva característica IxV com os pontos de I_{sc} e V_{oc}	20
Figura 9 – Curva característica PxV com o ponto de máxima potência e os valores de V_{mp} e I_{mp}	20
Figura 10- Ponto de máxima potência em uma célula solar	21
Figura 11- Curva IxV para vários valores de irradiação e temperatura constante.....	22
Figura 12- Curva de IxV para vários de temperatura e irradiação constante.....	22
Figura 13- Interface Gráfica <i>Simulink</i>	24
Figura 14- Modelo de uma célula fotovoltaica com resistência em série e em paralelo.	25
Figura 15- Diagrama de blocos da modelagem da planta fotovoltaica.....	27
Figura 16- Parâmetros de Entrada do Block – PV Array.....	28
Figura 17 – Modelo de um circuito de uma célula fotovoltaica.....	29
Figura 18 – Obtenção da corrente I_L no ambiente <i>Simulink</i>	29
Figura 19 - Obtenção da corrente I_d e I_o no ambiente <i>Simulink</i>	30
Figura 20- ConFiguração de um novo canal no ThingSpeak	32
Figura 21 – Bloco utilizado para realizar a comunicação entre MATLAB® e <i>ThingSpeak</i>	33
Figura 22- Janela de conFigurações do bloco ThingSpeak Output	33
Figura 23 – Janela de conFigurações do bloco <i>ThingSpeak Output</i>	34
Figura 24- Diagrama estrutural com as principais ferramentas do trabalho	38
Figura 25 – ConFiguração Módulo Fotovoltaico	39
Figura 26- Curvas de PxV e IxV para temperatura de 25°C e Irradiância de 800W/m ²	40
Figura 27- Curvas de PxV e IxV para temperatura de 25 °C e Irradiância de 900W/m ²	40
Figura 28- Curvas de PxV e IxV para temperatura de 25 °C e irradiância de 1000W/m ²	41
Figura 29- Cenário 01: Irradiância 800W/m ² e Temperatura de 40 °C.....	41
Figura 30- Cenário 01: Irradiância 800W/m ² e Temperatura de 50°C.....	42
Figura 31- Cenário 02: Irradiância 1000W/m ² e Temperatura de 40°C.....	42
Figura 32- Cenário 02: Irradiância 1000W/m ² e Temperatura de 50 °C.....	43
Figura 33- Potência, Tensão, Corrente para temperatura de 25°C e Irradiância de 800W/m ² .44	
Figura 34- Potência, Tensão, Corrente para temperatura de 25°C e Irradiância de 900W/m ² .45	
Figura 35- Potência, Tensão, Corrente para temperatura de 25°C e Irradiância de 1000W/m ²	46
Figura 36 - Cenário 01: Irradiância 800W/m ² e Temperatura de 40 °C.....	47
Figura 37- Cenário 01: Irradiância 800W/m ² e Temperatura de 50°C.....	48
Figura 38 - Cenário 02: Irradiância 1000W/m ² e Temperatura de 40°C.....	49
Figura 39 - Cenário 02: Irradiância 1000W/m ² e Temperatura de 50°C.....	50
Figura 40- Valor de entrada de temperatura em 65°C e irradiância no valor de 1000 W/m ² . .51	
Figura 41- Notificações de falha via Twitter de alta temperatura.	51
Figura 42 – Valor de entrada de temperatura em 25°C e irradiância no valor de 200 W/m ² . .52	
Figura 43- Notificações de falha via Twitter de baixa irradiância temperatura.	52

LISTA DE SIGLAS

CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
SFCR	Sistema fotovoltaico conectado à rede
SFI	Sistema fotovoltaico isolado
IoT	<i>Internet of Things</i> – Internet das coisas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. TEMA DO PROJETO	11
1.2. PROBLEMA	11
1.3. HIPÓTESE	12
1.4. OBJETIVO	12
1.4.1. OBJETIVOS GERAIS	12
1.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS	12
1.5. JUSTIFICATIVA	12
1.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	13
2. SISTEMA FOTOVOLTAICO	14
2.1. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	14
2.1.1. SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO	14
2.1.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE ELÉTRICA	15
2.2. ENERGIA FOTOVOLTAICA	15
2.3. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	15
2.3.1. CÉLULA DE SILÍCIO MONOCRISTALINO	16
2.3.2. CÉLULA DE SILÍCIO POLICRISTALINO	16
2.4. CONEXÃO DOS PAINÉIS SOLARES	17
2.4.1. ESTRUTURA EM SÉRIE	17
2.4.2. ESTRUTURA EM PARALELO	18
2.5. DISPOSITIVO DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	18
2.6. CONTROLADOR DE CARGA	19
2.7. INVERSOR CC/CA	19
2.8. CARACTERÍSTICA ELÉTRICAS DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	19
2.8.1 FATORES QUE INFLUENCIAM NO RENDIMENTO	21
2.8.1.1 IRRADIAÇÃO	21
2.8.1.2 TEMPERATURA	22
2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
3 MODELAGEM COMPUTACIONAL DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
3.1 SOFTWARE MATLAB®	24
3.2 MODELO DE UM CIRCUITO SOLAR	25
3.3 MODELAGEM PELO MÉTODO DE BLOCOS	27
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
4 FERRAMENTA DE MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO	31
4.1 INTERNET DAS COISAS	31
4.2 PLATAFORMA THINGSPEAK	32

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
5 TRABALHOS E APLICAÇÕES NA ÁREA.....	36
6 DESENVOLVIMENTO	38
6.1 MATERIAIS	38
6.2 MÉTODOS.....	38
6.3 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	39
7 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	55

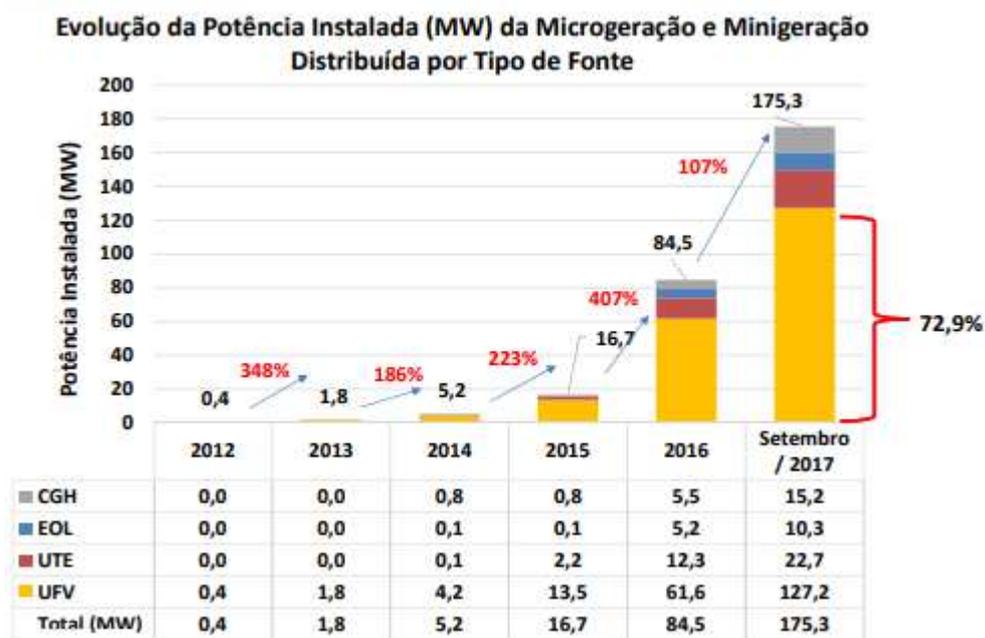
1. INTRODUÇÃO

Em face ao crescimento no consumo de energia elétrica e em busca de combater o aquecimento global, inúmeros países vem buscando outras fontes para geração de energia que tenha como objetivo a baixa emissão de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera e ser uma fonte renovável, pois não se utiliza de recursos finitos para a sua geração, como exemplos: energia solar, energia eólica, hidráulica e entre outros.

O Brasil, possui um dos maiores valores de irradiação solar (1500-2.500) quando comparado a países europeus como, Alemanha (900-1250 Wh/m²), França (900-1650 Wh/m²) e Espanha (1200 – 1850) Wh/m²), locais onde a produção de energia elétrica por meio da fonte solar já está bem difundida [1].

A evolução da potência instalada de energia fotovoltaica brasileira vem crescendo de forma representativa. Observa-se, na Gráfico 1, que em 2017 dentre as fontes de energia eólica, hidrelétrica e termoneucleares, a energia fotovoltaica representava uma evolução de 72,9% em comparação a outros tipos de fontes de energia, isso mostra que esse tipo de energia já está sendo disseminado em território nacional.

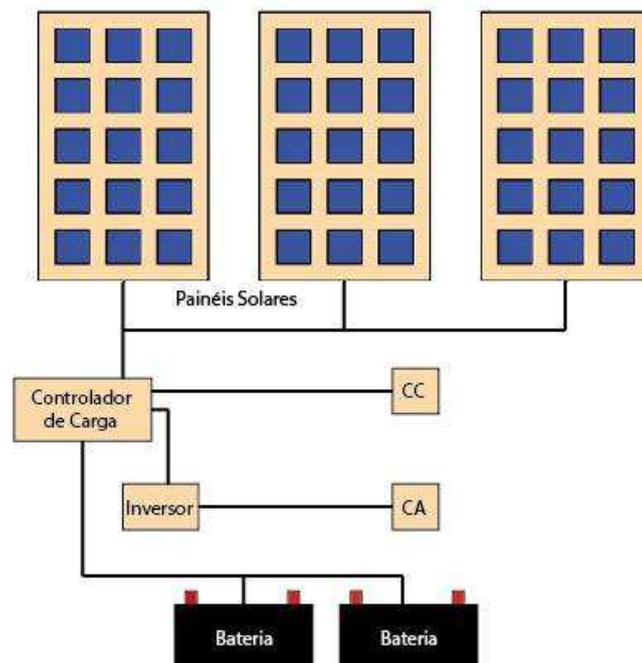
Gráfico 1 - de evolução da potência instalado da microgeração e minigeração distribuída por tipo de fonte



Fonte: [2]

O sistema de energia solar ou sistema fotovoltaico *off grid* são projetados por meio de módulos fotovoltaicos e são capazes de gerarem energia por meio da luz solar. Sendo assim, os componentes básicos de um sistema fotovoltaico são: células fotovoltaicas, dispositivo de armazenamento de energia, controlador de carga, conversor de corrente contínua (CC/CC) e inversor de corrente contínua para corrente alternada (CC-CA). A Figura 2, ilustra o esquemático de um sistema fotovoltaico.

Figura 1- Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico incluindo baterias, controlador de carga, baterias e saídas CC e CA.



Fonte: O Autor.

Existem diversos estudos sobre a modelagem de uma planta fotovoltaica, no qual o objetivo é obter a melhor performance do sistema de energia que se baseiam na unidade fundamental de conversão de energia que é o módulo fotovoltaico. Por meio da modelagem é possível estudar diversos comportamentos de operação de uma planta diferentemente de um sistema real, onde as condições para dada operação exigem uma série de variáveis para que ela ocorra.

O *software* SimuLink que pertence ao MATLAB® é uma ferramenta de simulação que permite ao usuário programar, por meio de uma biblioteca de blocos, a montagem de um módulo fotovoltaico atendendo a todos requisitos necessários do sistema. As principais características para se observar durante uma modelagem são: incidência solar, temperatura da

célula e tensão de saída do módulo. com essas variáveis é possível simular o comportamento dentre diferentes condições de processo.

Com a complexidade em que os sistemas fotovoltaicos vem se tornando ao longo do tempo e os inúmeros dados que são gerados por meio deles, tornou-se um desafio realizar o gerenciamento desses sistemas para as tecnologias atuais. Com isso, a implantação de novas tecnologias como IoT (*Internet of Things* – Internet das coisas) que tem como intuito realizar a interligação dos dados coletados e permitir a gestão do mesmo em plataformas interativas é essencial para que o usuário possa ter uma visão global do sistema.

Com o avanço do IoT existem inúmeras plataformas que realizam a coleta e armazenamento de dados na nuvem, como o *ThingSpeak*. O *ThingSpeak* é uma plataforma gratuita com tecnologia IoT, onde é possível analisar os dados gerados no sistema através de interfaces, receber notificações de falhas do sistema e garantir que a planta opere em alta performance.

Por fim, os seguintes aspectos serão estudados neste trabalho: qual seria a melhor estrutura para realizar o monitoramento de um sistema fotovoltaico? Qual o comportamento de uma planta fotovoltaica perante a diversos cenários operacionais, e por último, qual a melhor maneira de se obter o comportamento ideal de uma planta fotovoltaica?

1.1. TEMA DO PROJETO

O projeto tem como proposta realizar a modelagem de uma planta fotovoltaica para estudar o comportamento do sistema sob diferentes condições operacionais e aplicar sobre ela uma ferramenta de gerenciamento permitindo que os dados gerados no sistema sejam analisados e que se encontre os melhores valores para as principais variáveis do sistema.

1.2. PROBLEMA

Para garantir uma melhor performance da tecnologia fotovoltaica, é importante realizar diversas simulações sobre inúmeras condições operacionais e através delas obter uma configuração que aumente o desempenho do sistema fotovoltaico. Sendo assim, a modelagem traz diversos cenários para se obter a melhor condição de operação e através de ferramenta de gerenciamento conseguir atender aos diversos requisitos que o sistema exige.

1.3.HIPÓTESE

Pretende-se que o projeto consiga atender os requisitos necessários de monitoramento, fazendo com que o implementador do sistema consiga modelar uma planta fotovoltaica em diferentes cenários de operação para verificar se o sistema está operando em condições de boa performance e atendendo as necessidades que o sistema necessita.

O sistema de monitoramento também deve informar ao usuário sobre as possíveis falhas geradas nos sistemas e garantir que essas falhas cheguem até o implementador, por meio de alertas ou notificações para que seja possível realizar uma rápida tomada de ação.

1.4.OBJETIVO

1.4.1. OBJETIVOS GERAIS

Realizar a modelagem de uma planta fotovoltaica no ambiente de simulação *Simulink* pertencente ao *software* MATLAB® e aplicar uma ferramenta de gerenciamento sobre a mesma permitindo um controle operacional do sistema.

1.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Estudar a modelagem de um sistema fotovoltaico em diversos cenários operacionais;
- Realizar a modelagem através do ambiente de simulação *Simulink*;
- Utilizar plataforma de IoT ThingSpeak, da Mathworks, para coleta e análise de dados;
- Avaliar e discutir os resultados obtidos;

1.5.JUSTIFICATIVA

Os sistemas de energia fotovoltaica podem ser utilizados, para produção de energia nas mais diversas áreas, sejam elas urbanas ou rurais. Esses sistemas vêm aumentando e se tornando viável a medida que as tarifas de energia dos sistemas atuais aumentam de forma constante.

Em plantas fotovoltaicas, onde o investimento para a implementação do projeto é alto e tem uma grande quantidade de módulos fotovoltaicos, se torna necessário antes da implementação local, uma modelagem do sistema para que seja simulado através de inúmeros cenários, a melhor performance para a geração de energia.

A implantação de novas tecnologias nesses sistemas, como o IoT, tem como intuito o

estímulo ao avanço da tecnologia para que seja possível chegar a todo consumidor que utiliza da geração de energia por meio da luz solar.

1.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foi abordado sobre a justificativa da realização do trabalho de modelagem de uma planta fotovoltaica no ambiente de simulação *Simulink* e aplicar sobre ela uma ferramenta de gerenciamento, a plataforma ThingSpeak, que irá auxiliar na tomada de decisões e análise de dados dentro do sistema. No capítulo seguinte, será discutido sobre o referencial teórico do trabalho.

2. SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico tem como princípio básico a geração de eletricidade utilizando uma fonte limpa e de baixo custo. Essa eletricidade pode ser diretamente enviada do inversor para um dispositivo de armazenamento, como uma bateria, ou pode alimentar diretamente uma carga.

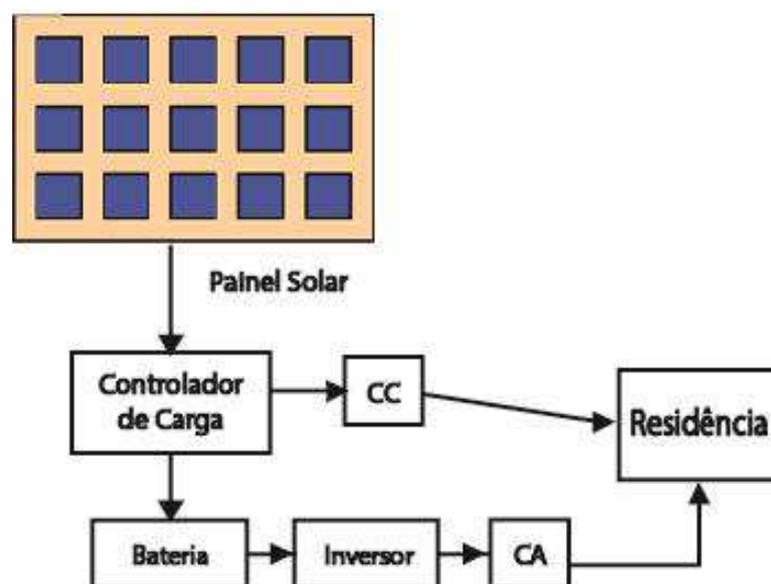
2.1. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas podem ser divididos em dois modelos principais: sistema fotovoltaico isolado (SFI) e sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFCR).

2.1.1. SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO

O sistema fotovoltaico isolado (SFI) é um sistema de geração de energia independente, que não está conectado à rede elétrica. Sua aplicação se dá geralmente em regiões de difícil acesso e sem fornecimento de energia elétrica por uma concessionária. Toda geração de energia é armazenada em baterias. Os componentes desse tipo de sistema geralmente são painel solar, bateria e controlador de carga e se houver aplicações em CA, é necessário o uso de um inversor para a conversão de CC do painel para CA [5]. A Figura 3 ilustra o esquemático de um sistema isolado.

Figura 2- Esquemático de um sistema fotovoltaico isolado (SFI)

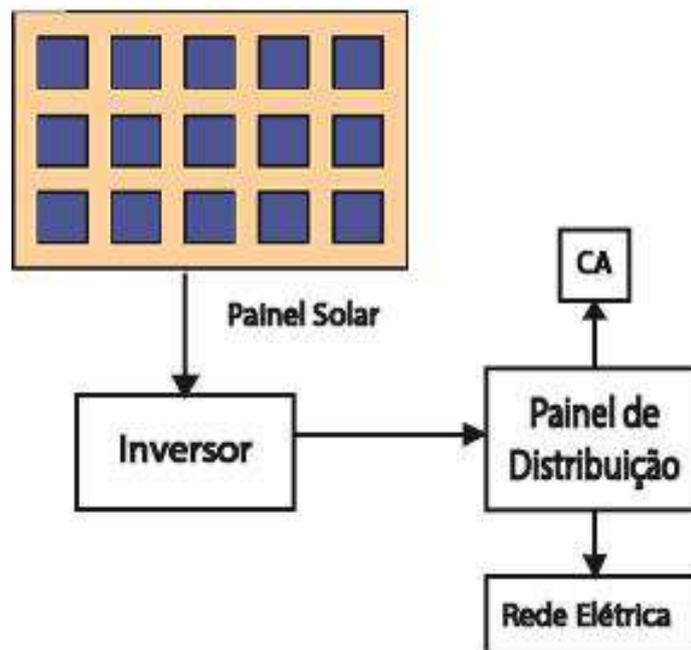


Fonte: O Autor.

2.1.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE ELÉTRICA

O sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFCE) é um sistema em que há conexão com a rede elétrica da concessionária, ou seja, a produção excedente do sistema é direcionada para a rede elétrica. Nesse sistema a presença de baterias já não se faz necessária, pois no período em que não há produção, noturno, é utilizada a energia da concessionária. Os componentes desse tipo de sistema geralmente são painéis solares, controladores de carga e inversores [5]. A Figura 4 ilustra o esquemático de um sistema conectado à rede elétrica.

Figura 3- Esquemático de um sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica (SFCE)



Fonte: O Autor.

2.2. ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica é gerada através do sol, pela conversão da luz solar em energia elétrica. O efeito fotovoltaico é o princípio de funcionamento das células solares, é o efeito que ocorre entre a junção de dois materiais que gera uma diferença de potencial em resposta a radiação eletromagnética [6]. Todo esse processo de conversão de luz solar para energia elétrica ocorre dentro das células fotovoltaicas.

2.3. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

As células fotovoltaicas são fabricadas de materiais semicondutores, ou seja, estão entre os materiais com características condutoras e isolantes. Geralmente utiliza-se de silício para a

fabricação das células. Para que o silício possa ser utilizado nas células fotovoltaicas, primeiro ele precisa passar por um processo de dopagem que é feito por meio de adição de diferentes elementos químicos como o boro e fósforo em quantidades certas [7].

Diferentes técnicas de produção de células fotovoltaicas são utilizadas, porém as mais comuns são a do silício monocristalino e silício policristalino.

2.3.1. CÉLULA DE SILÍCIO MONOCRISTALINO

A célula de silício monocristalino é a mais utilizada entre os sistemas de energia fotovoltaica devido a sua maior eficiência e custo benefício. Seu processo de fabricação se inicia com a extração de cristal do dióxido de silício por meio das barras cilíndricas de silício monocristalino e em seguida é desoxidado em fornos especiais. É realizado um corte das barras em formato de pastilhas finais para que seja obtido as células. Esse processo é suficiente para obter uma produção energética de até 15% e atuar como células fotovoltaicas [8]. A Figura 5 ilustra uma imagem de uma célula fotovoltaica feito a partir de células fotovoltaicas do tipo monocristalino.

Figura 4- Célula fotovoltaica feito com células fotovoltaicas do tipo monocristalino



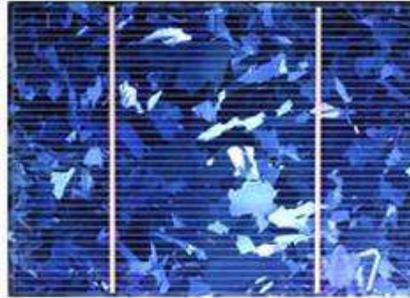
Fonte: Delta Volt [9].

2.3.2. CÉLULA DE SILÍCIO POLICRISTALINO

A célula de silício policristalino é produzida por meio de blocos de silícios. Esse bloco é obtido por meio de fusões de porções de silício em moldes especiais. No processo de resfriamento, os átomos do silício se organizam em um único cristal, gerando uma estrutura policristalino, onde há interface entre os cristais. Esta interface é o que diminui a eficiência energética da célula podendo chegar a 12% [7]. A Figura 6 ilustra uma imagem de uma célula

fotovoltaica feito a partir de célula fotovoltaica do tipo policristalino.

Figura 5- Célula fotovoltaica feito com células fotovoltaicas do tipo policristalino



Fonte: Delta Volt [9].

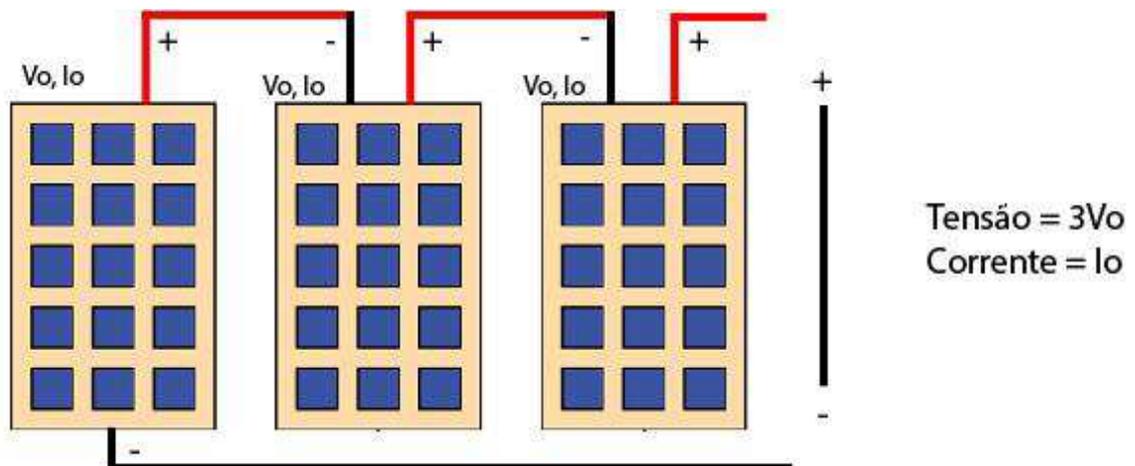
2.4. CONEXÃO DOS PAINÉIS SOLARES

Na utilização prática dos módulos solares, eles podem ser estruturados tanto em série ou em paralelo.

2.4.1. ESTRUTURA EM SÉRIE

Na conexão em série, a corrente é igual em todos os componentes, ou seja, conforme ilustra a Figura 7, a corrente nos painéis serão iguais para cada painel e a tensão resultante é o somatório de cada painel fotovoltaico presente na estrutura.

Figura 6- Painéis solares conectados em série

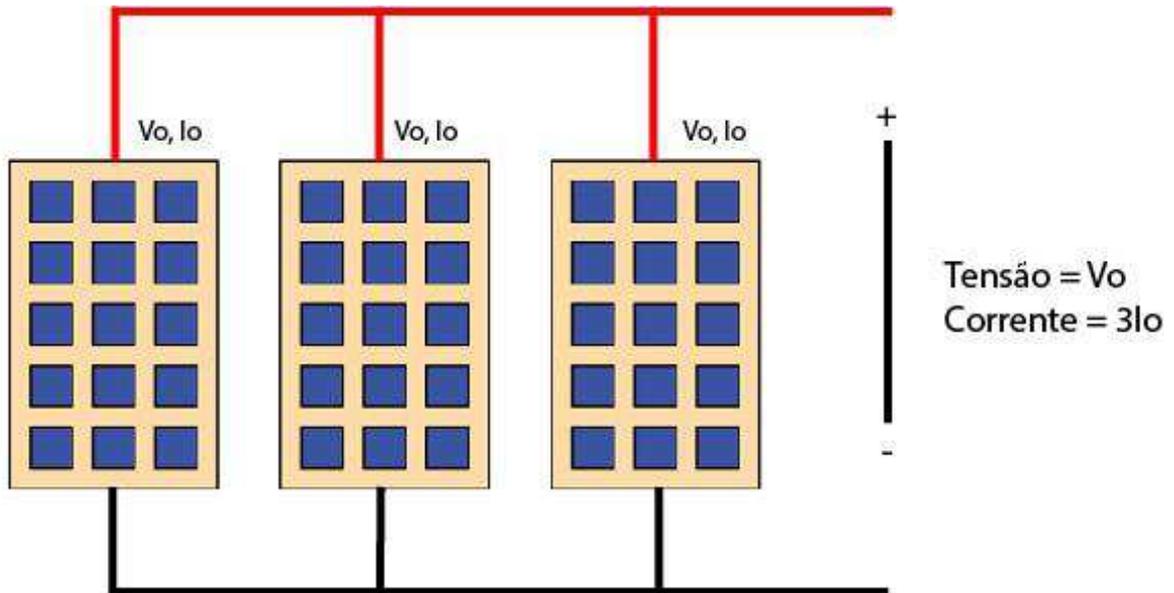


Fonte: O Autor.

2.4.2. ESTRUTURA EM PARALELO

Na conexão em paralelo, a tensão resultante é a mesmo valor em todos os componentes, já a corrente resultante é o somatório do número de placas presente no sistema, conformr ilustra a a Figura 8.

Figura 7– Painéis solares conectados em paralelo



Fonte: O Autor.

2.5.DISPOSITIVO DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Para atender os requisitos de um SFI, deve-se ter um dispositivo que faça o armazenamento de energia. Esse dispositivo deve fornecer energia em períodos em que não há fornecimento de energia elétrica por meio da placa solar, ou seja, em períodos noturnos ou dias nublados em que o nível de irradiância é baixo. Com isso, parte dessa energia gerada é armazenada para ser usada em momentos em que necessite de eletricidade.

A bateria utilizado no armazenamento, é um conjunto de células que ao carregar transforma energia elétrica em energia química e ao descarregar faz o processo inverso, transforma energia química em energia elétrica [10].

2.6.CONTROLADOR DE CARGA

A principal função de um controlador de carga em um SFI é proteger a bateria contra sobrecargas (bateria chega no seu nível máximo de capacidade) e sobredescargas (bateria atinge níveis críticos de descarregamento), essas falhas podem ocorrer por meio de variações na carga, intervenção do usuário, entre outros fatores que podem diminuir a vida útil da bateria, que não é desejável nesse sistema [11].

2.7.INVERSOR CC/CA

A presença de um inversor em um sistema fotovoltaico é exigida quando se tem cargas CA, ou seja, como a produção de energia fotovoltaica é fornecida através de CC, é necessário que se haja uma conversão de CC para CA.

Os inversores são amplamente utilizados em sistemas SFCR, pois convertem toda a energia gerada para a aplicação na residência ou para a concessionária vida rede elétrica. Alguns dos inversores mais atuais incorporam funções como: conexão ou desconexão da rede por não haver incidência de irradiação solar, medida de energia entre outras funções [12].

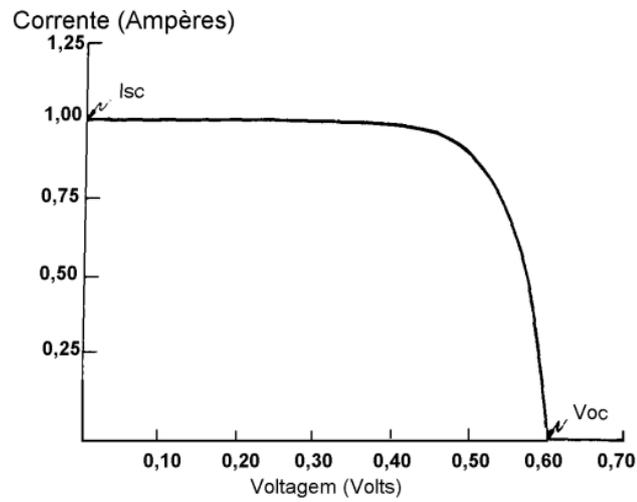
2.8.CARACTERÍSTICA ELÉTRICAS DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A potência máxima de um módulo fotovoltaico é sua principal característica, porém há outros parâmetros que devem ser considerados afim de se modelar uma planta fotovoltaica, como:

- Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})
- Corrente de Curto-Circuito (I_{sc})
- Tensão de máxima potência (V_{mp})
- Corrente de máxima potência (I_{mp})

A representação desses parâmetros são realizados graficamente para uma única célula fotovoltaica. Na Figura 9, tem-se a curva de corrente e tensão de uma célula fotovoltaica mostrando os pontos V_{oc} e I_{sc} [3].

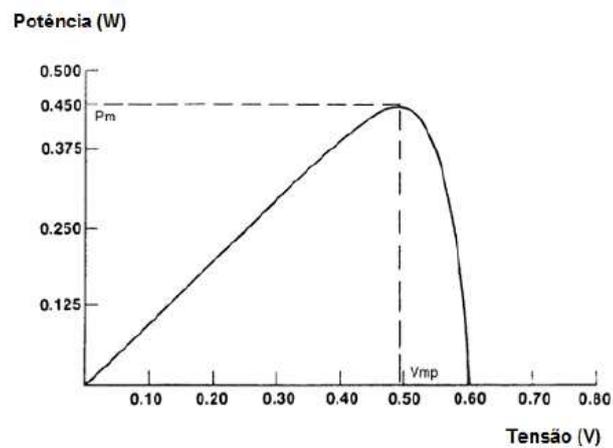
Figura 8 – Curva característica IxV com os pontos de I_{sc} e V_{oc} .



Fonte: [3]

Na Figura 10, tem-se a curva característica de potência e tensão para uma única célula fotovoltaica.

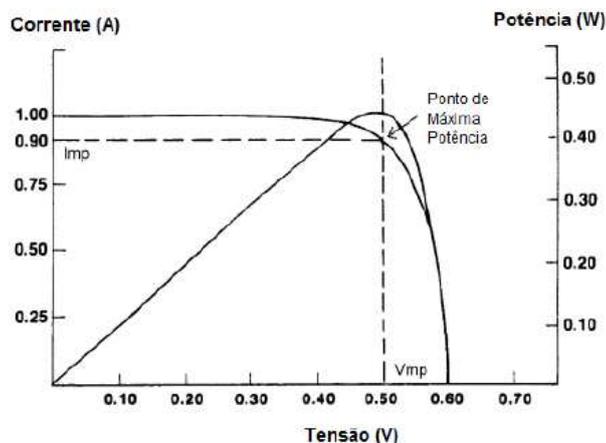
Figura 9 – Curva característica PxV com o ponto de máxima potência e os valores de V_{mp} e I_{mp}



Fonte: [3]

Na Figura 11, verifica-se o ponto de máxima potência e os valores dos pontos (V_{mp}) e (I_{mp}).

Figura 10– Ponto de máxima potência em uma célula solar



Fonte: [3]

As representações acima foram obtidas nas condições padrões de radiação, ou seja, 1000 W/m² (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, na média) e temperatura de 25°C na célula.

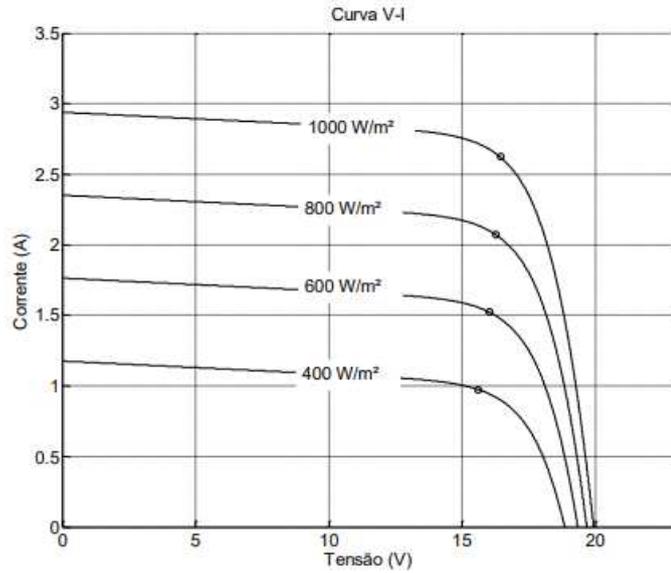
2.8.1 FATORES QUE INFLUENCIAM NO RENDIMENTO

O rendimento de um painel fotovoltaico se dá pela geração de corrente e tensão que a mesma produz, combinado para valores de potência. Sendo assim, baseado no princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica, a radiação é um fator que influencia no seu rendimento, conseqüentemente a temperatura também influencia no rendimento mas de outra forma.

2.8.1.1 IRRADIAÇÃO

A corrente do painel é diretamente proporcional a irradiação solar, sabendo disso pode-se verificar que a uma temperatura constante e para diferentes valores de irradiação que conforme aumenta-se o valor de irradiação maior será o valor de corrente na placa, conforme ilustra a Figura 12.

Figura 11– Curva IxV para vários valores de irradiação e temperatura constante.

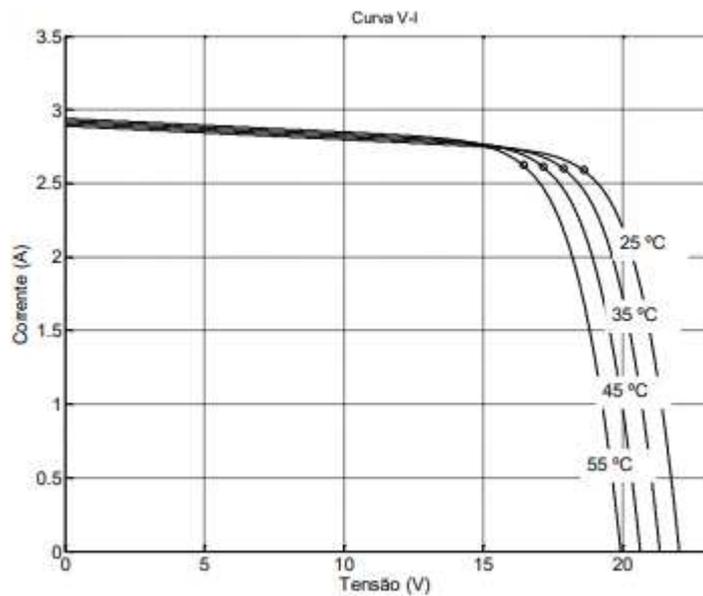


Fonte: [3]

2.8.1.2 TEMPERATURA

Ao contrário da irradiação, quando o painel fotovoltaico fica exposto a altas temperaturas, o mesmo esquenta muito e tende a ter seus valores de tensão diminuído, conforme ilustra a Figura 13.

Figura 12– Curva de IxV para vários de temperatura e irradiação constante.



Fonte: [3]

Vale ressaltar que existem outros fatores que influenciam diretamente no desempenho dos painéis solares como o sombreamento que impactam negativamente na produção de energia elétrica. [4]

2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo, retratou sobre a teoria que envolve um sistema fotovoltaico, seus principais componentes e qual a característica de cada um dentro do sistema. O próximo capítulo irá tratar sobre como é realizado a modelagem computacional de um sistema fotovoltaico.

3 MODELAGEM COMPUTACIONAL DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

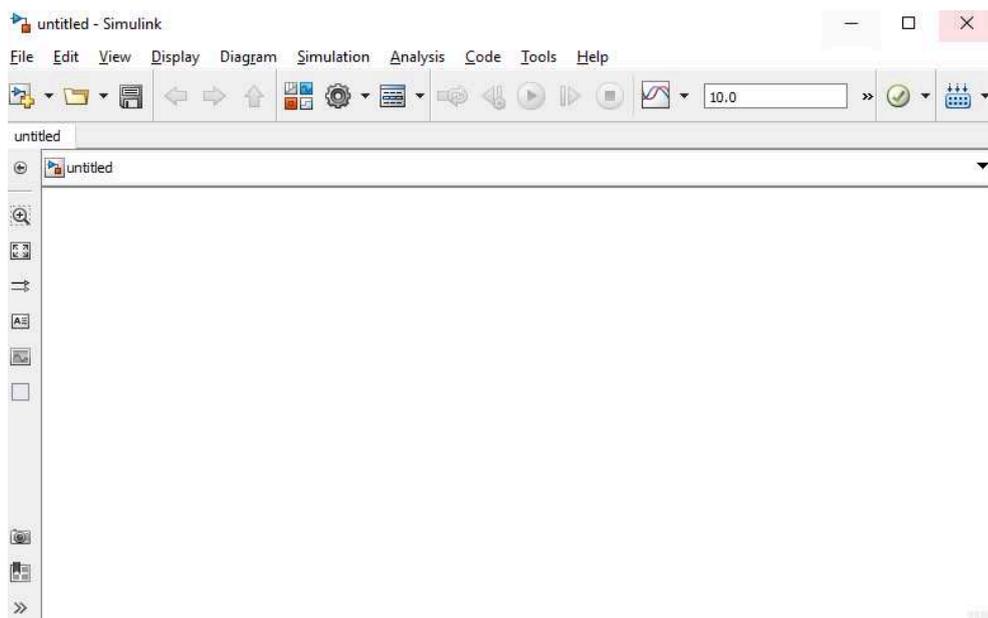
A modelagem computacional pode ser realizada de três métodos: matemático, circuito e blocos. O método escolhido para a modelagem nesse trabalho é o método por blocos que permite com que o modelo fotovoltaico seja facilmente implementado utilizando a plataforma *MATLAB*® - *Simulink*. O bloco será modelado utilizando o conjunto de blocos *SimPowerSystem* que será conFigurado como um circuito equivalente com parâmetros guias de uma módulo solar, permitindo que possa ser inserir módulos em série para formar uma planta fotovoltaica. [13]

3.1 SOFTWARE MATLAB®

O *MATLAB*® (*MA*Trix *LAB*oratory) é um *software* para cálculo científico de alta performance. Através dele é possível realizar inúmeros cálculos e simulações de modelos matemáticos para diversas áreas como mercado financeiro, industrial, aeronáutico e entre outros.

O *Simulink* é uma ferramenta incorporada ao *MATLAB*® que tem como objetivo realizar modelagem, simulação e análise de sistemas. Por meio do ambiente gráfico, conforme ilustra Figura 14, é possível utilizar os inúmeros blocos em sua biblioteca para a montagem de um sistema para simulação e também permite a inclusão de bibliotecas externas ao *MATLAB*®.

Figura 13– Interface Gráfica *Simulink*

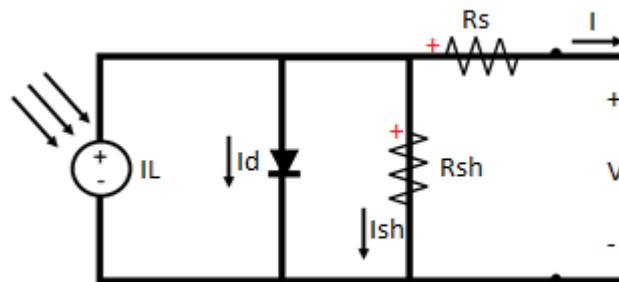


Fonte: O Autor.

3.2 MODELO DE UM CIRCUITO SOLAR

Um circuito fotovoltaico é formado especialmente por uma fonte de corrente em paralelo a um diodo. A fonte de corrente é diretamente proporcional a incidência de luz na célula. Quando não há incidência de luz, a célula atua como um diodo, ou seja, não produz corrente nem tensão. [14]

Figura 14– Modelo de uma célula fotovoltaica com resistência em série e em paralelo.



Fonte: O Autor.

Para a modelagem reais das características de uma célula fotovoltaica, deve-se considerar as cinco variáveis:

R_s - Resistência em série da célula;

R_{sh} - Resistência em paralelo da célula;

I_{sh} - Corrente que circula na resistência R_{sh} paralela ao diodo;

I_d - Corrente do diodo;

I_L - Corrente gerada pela incidência da luz solar

Como pode ser observado na Figura 15, o modelo de uma célula fotovoltaica com resistência em paralelo é um circuito simples e com poucos componentes. A corrente de saída, I , pode ser representada como sendo a diferença entre a fonte de corrente contínua, I_L , a corrente que circula no diodo em paralelo, I_d , e a corrente que circula em paralelo ao diodo, I_{sh} . Tem-se que:

$$I = I_L - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

Sabemos que I_d é a equação do diodo de Shockley e V_T é a tensão do diodo, dadas pelas seguintes fórmulas:

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{V_d}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

Onde:

I_0 - corrente de saturação do diodo [A];

V_d - Tensão do diodo.

$$V_T = \frac{kT}{q} \cdot nI \cdot N_{cell} \quad (3)$$

Onde:

q - carga elementar do elétron (aproximadamente $1,6022 \times 10^{-19}$ [C]);

k - constante de Boltzman (aproximadamente $1,3806 \times 10^{-23}$ [J/K]);

T - temperatura da junção p-n [K]

nI - fator de idealização (assumindo valores de 1 a 5);

N_{cell} - Número de células por módulo.

A fonte de corrente contínua, I_L , tem sua variação em função da radiação solar e da temperatura em que se encontra o painel fotovoltaico, onde I_{sc} é a corrente de curto-circuito, J_o o coeficiente de temperatura, T a temperatura do módulo fotovoltaico, T_{ref} a temperatura de referência, S é a irradiância solar em W/m^2 e S_{ref} a irradiância solar de referência. Sendo assim, tem-se que:

$$I_L = [I_{sc} + J_o(T - T_{ref})] \cdot \frac{S}{S_{ref}} \quad (4)$$

A corrente de saturação do diodo, I_0 , é dada pela seguinte fórmula:

$$I_0 = I_{DO} \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \cdot \exp. \left\{ \frac{q \cdot E_g}{n \cdot K} \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right\} \quad (5)$$

A variável I_{DO} é uma constante dependente apenas das características do painel e E_g é a banda de energia do semicondutor

$$I_{DO} = I_{sc} \left[\exp \left(\frac{qV}{N_s k T n I} \right) - 1 \right] \quad (6)$$

Aplicando-se a lei dos nós ao circuito, tem-se que:

$$I_{sh} = \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (7)$$

Por fim, substituindo as fórmulas na equação (1). temos que para achar a corrente de saída do módulo a mesma deve ser escrita, como:

$$I = N_p I_L - N_s I_0 \left\{ \exp \frac{q(V + IR_s)}{N n i k T} - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (8)$$

Onde:

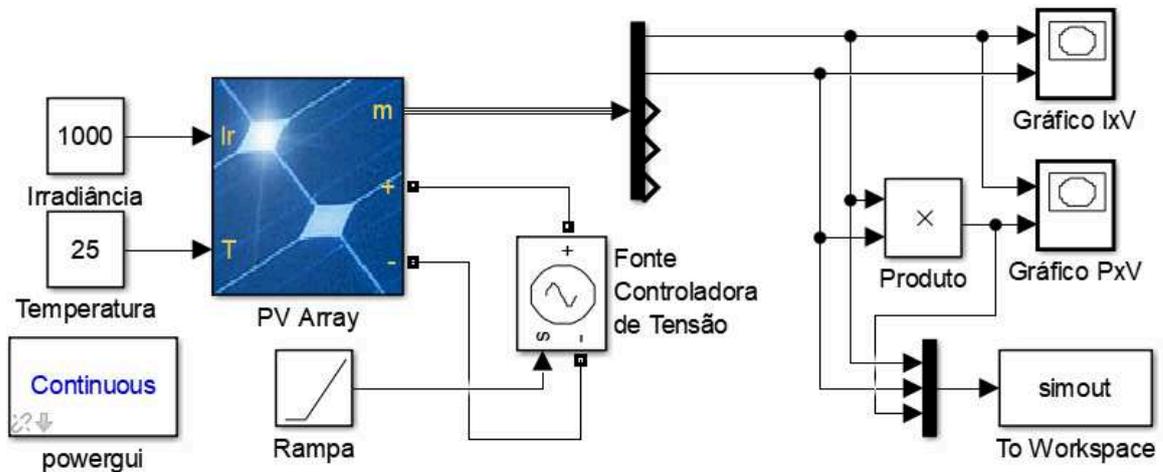
N_s – Número de células conectadas em série;

N_p – Número de células conectadas em paralelo.

3.3 MODELAGEM PELO MÉTODO DE BLOCOS

A modelagem dos painéis solares será baseada na sequência de blocos, conforme ilustra a Figura 16.

Figura 15– Diagrama de blocos da modelagem da planta fotovoltaica



Fonte: O Autor.

Os parâmetros de entrada para a modelagem do sistema fotovoltaico são baseadas em dois parâmetros, irradiância e temperatura.

No circuito de modelagem, tem-se um bloco de fonte controladora de tensão que é usado para modelar a queda de tensão através de um resistor que imita o comportamento variável de um resistor.

Para fazer a varredura da fonte de tensão controlada é utilizado um bloco rampa que faz a simulação de zero a tensão de curto-circuito que são ilustradas nos gráficos de I-V e P-V, conforme ilustrado anteriormente nas Figuras 9 e 10.

O bloco *PV Array* utilizado na modelagem permite utilizar módulos fotovoltaicos pré-definidos dentre uma lista padrão ou utilizar módulos que o próprio usuário define. O bloco é implementado utilizando uma matriz de módulos fotovoltaicos, nele é construído *string* de módulos conectados em paralelo e cada *string* consistem de módulos conectados em série.[13]

O bloco é modelado através de inúmeras variáveis de entrada para que a simulação possa ser realizada, são elas:

W = Ponto de máxima potência (P_{max}) que é dado pela seguinte fórmula:

$$P_{max} = V_{mp} * I_{mp} \quad (9)$$

V_{oc} = Tensão de Circuito Aberto [V];

I_{sc} = Corrente de Curto-Circuito[A]

V_{mp} = Tensão máxima no ponto de máxima potência [V]

I_{mp} = Corrente máxima no ponto de máxima potência [A]

k_i = Coeficiente de temperatura de corrente de Curto-Circuito $\left[\frac{\%}{^\circ C}\right]$ que é dado pela seguinte fórmula:

$$I_{scT} = I_{sc}(1 + \text{alfa}_{I_{sc}}(T - 25)) \quad (10)$$

k_v = Coeficiente de temperatura de tensão de Circuito Aberto $\left[\frac{\%}{^\circ C}\right]$ que é dado pela seguinte fórmula:

$$V_{ocT} = V_{oc}(1 + \text{beta}_{V_{oc}}(T - 25)) \quad (11)$$

Através desses parâmetros consegue-se configurar o módulo fotovoltaico e entrar com as variáveis conforme ilustra a Figura 17.

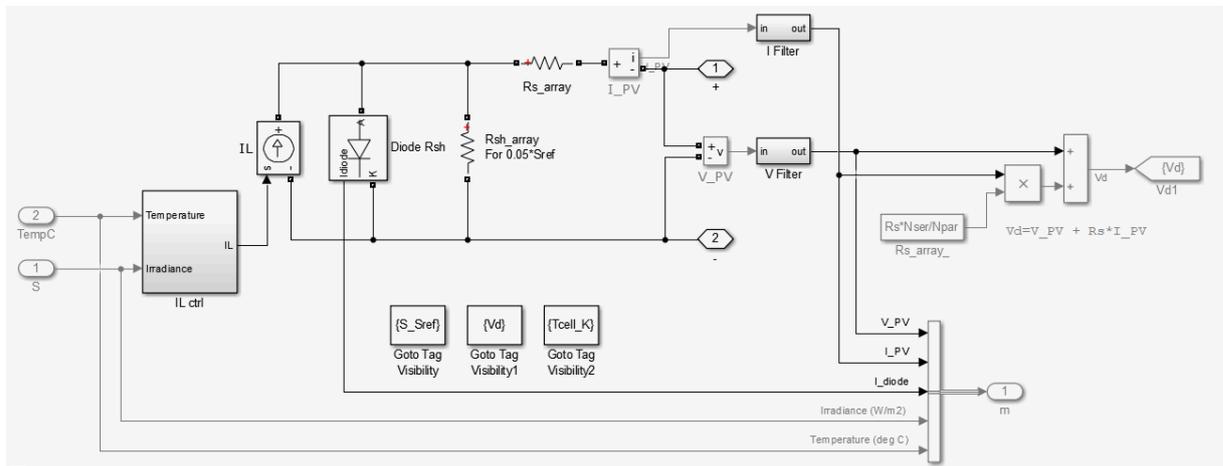
Figura 16– Parâmetros de Entrada do Block – PV Array

Module data	
Module: 1Soltech 1STH-215-P	
Maximum Power (W)	Cells per module (Ncell)
213.15	60
Open circuit voltage Voc (V)	Short-circuit current Isc (A)
36.3	7.84
Voltage at maximum power point Vmp (V)	Current at maximum power point Imp (A)
29	7.35
Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)	Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)
-0.36099	0.102

Fonte: O Autor.

Para implementar o módulo fotovoltaico foram utilizadas as equações características, conforme mostrado nas equações de (1) a (8). O circuito apresentado na Figura 15, representa o modelo de um circuito fotovoltaico representado na Figura 18.

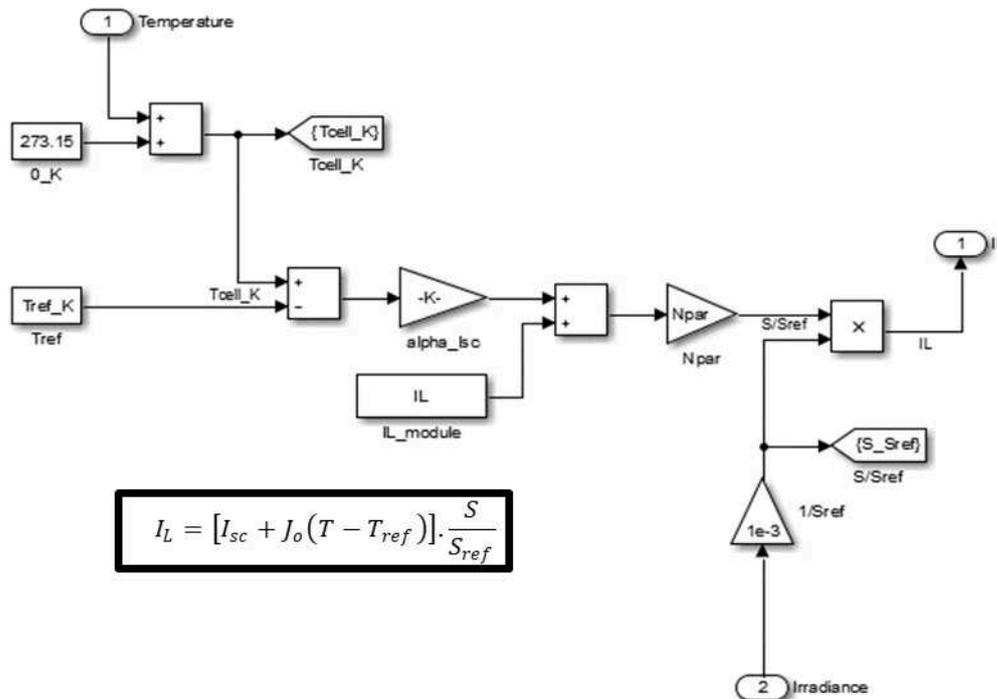
Figura 17 – Modelo de um circuito de uma célula fotovoltaica



Fonte: O Autor.

Para obtenção da corrente I_L , foi implementado no *Simulink* a equação (4), como pode ser visto na Figura 19.

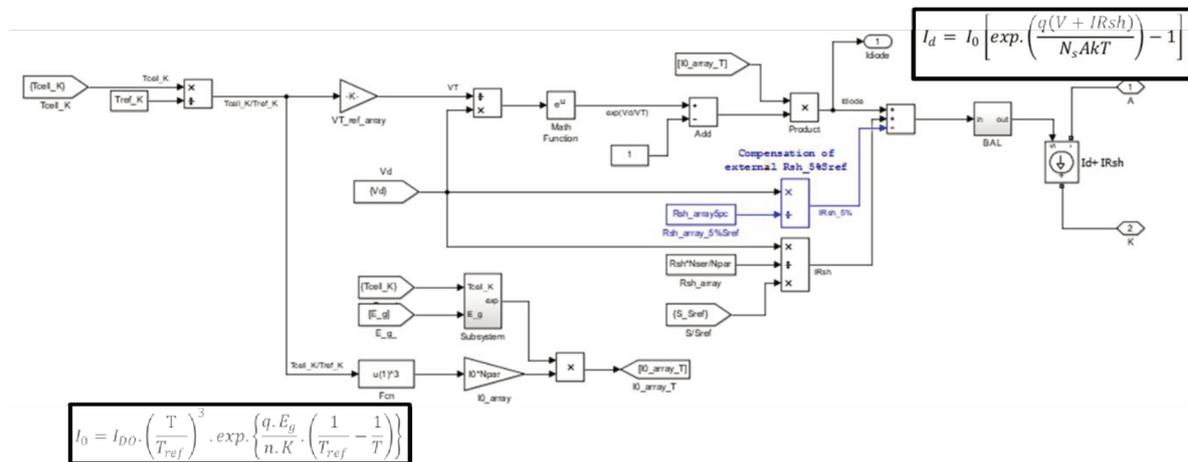
Figura 18 – Obtenção da corrente I_L no ambiente *Simulink*



Fonte: O Autor.

Para obtenção da corrente I_d e I_o , foi implementado no *Simulink* a equação (2) e (5) respectivamente, como pode ser visto na Figura 20.

Figura 19 - Obtenção da corrente I_d e I_o no ambiente *Simulink*



Fonte: O Autor.

Após implementar as fórmulas características para um circuito fotovoltaico, já é possível simular e analisar o desenvolvimento do sistema.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo, teve como objetivo demonstrar como é realizado a modelagem de um módulo fotovoltaico no ambiente de simulação *Simulink*, juntamente com todas as formulações necessárias para que essa modelagem ocorra. O próximo capítulo irá tratar sobre como será gerenciado os dados gerados na simulação e que tipo de informação será relevante.

4 FERRAMENTA DE MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO

4.1 INTERNET DAS COISAS

O termo Internet das Coisas (IoT), proposto por Kevin Ashton in 1999 [16], vem sendo bastante comentado no cenário tecnológico atual. Os computadores tradicionais deixaram de ser os principais personagens da rede para dar espaço a inúmeros objetos que nos cercam e que estarão se comunicando na rede de forma direta ou indiretamente.

Na definição, Internet das Coisas, é essencialmente a representação de um objeto no âmbito digital através de um único ID e que esteja conectado a rede, ou seja, esses objetos estão conectados a internet e são possíveis de transferir dados sem a intervenção humana. [16]

As principais características de um sistema IoT, segundo a ITU (*International Telecommunication Union*) [17] devem ser:

- Conectividade: Acesso a todas redes de comunicação (Incluindo 3G e 4G);
- Objeto de identificação: Simples, discreto e baixo custo efetivo de identificação;
- Informação em tempo-real: Coleta de dados dos dispositivos automatizada;
- Dispositivos inteligentes: dispositivos encarregado de inteligência (*smart technologies*);

- Pequena escala: avanço para a miniaturização (nanotecnologias);

O IoT vem sendo uma importante ferramenta para gerenciamento de sistemas desde ambiente residencial a ambientes industriais. Por meio dela, é possível consultar, por exemplo, o consumo de energia de uma residência até a performance de um sistema de produção de energia. Para isso, já existem plataformas que se baseiam na tecnologia do IoT para que o usuário possa conectar seus objetos e realizar monitoramentos em tempo real.

As ferramentas que geralmente englobam a rede de dispositivos do IoT são:

- Sensores: coleta de informações de um objeto;
- Identificadores: identificam a fonte de dados;
- Software: realizam a análise dos dados;
- Conexão com a internet: comunicação e notificação.

4.2 PLATAFORMA THINGSPEAK

O *ThingSpeak* é uma plataforma de serviço na nuvem provida pela MathWorks que tem como objetivo facilitar a coleta, apresentação, análise e armazenamento dos dados de diversos dispositivos conectados a um canal HTTP.

Uma requisição HTTP nada mais é que uma string (que contém as informações da requisição HTTP) enviada via *socket TCP client* (quem deseja fazer a requisição) a um *socket TCP server* (servidor que receberá a requisição, no caso o servidor do *ThingSpeak*) através da porta 80.

Porém, o *socket TCP* estabelecido não tem grande tempo de vida. A conexão ao servidor termina assim que o mesmo envia a sua resposta à requisição. Ou seja, uma requisição HTTP foi feita para ter “vida curta”, sendo portanto destinado somente a um tráfego breve de dados entre *socket TCP client* e *socket TCP server*.

O sistema é baseado em um elemento chamado canal, nele contém campo com dados, localizações, e *status* de operação, conforme ilustra a Figura 21.

O serviço é disponibilizado gratuitamente, mas com limite de 8 mil mensagens diárias, 100 aplicações diferentes e 15 segundos de intervalo mínimo para atualização.

Figura 20– ConFiguração de um novo canal no ThingSpeak

The image shows the 'New Channel' configuration interface in ThingSpeak. It includes the following elements:

- Nome:** Coleta de Dados
- Descrição:** Este canal recebe os dados da modelagem do SimuLink.
- Campo 1:** Gráfico IxV (checked)
- Campo 2:** Gráfico IxP (checked)
- Campo 3:** (unchecked)
- Campo 4:** (unchecked)

Fonte: O Autor.

Para enviar dados ao canal, o *ThingSpeak* fornece uma chave de escrita que deve ser incluída na programação do projeto, além do ID do canal para que o módulo consiga identificar o canal a ser escrito.

Utilizando o *Simulink*, o MATLAB® contém em sua biblioteca um bloco especial de escrita chamado *ThingSpeak Output*, conforme Figura 22.

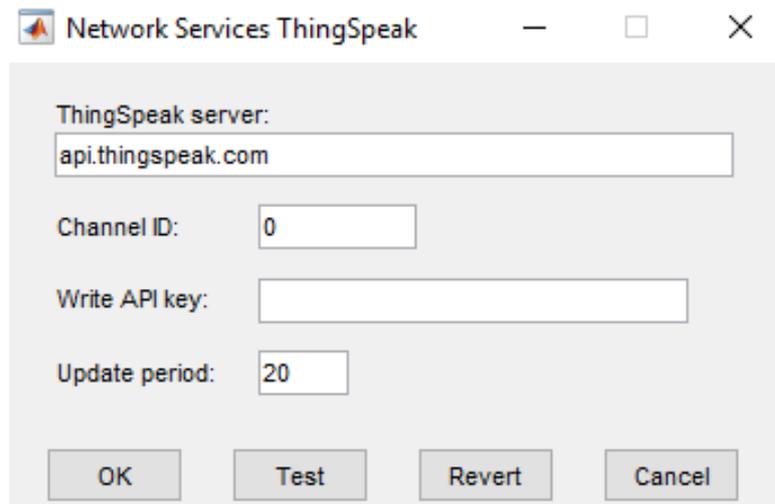
Figura 21 – Bloco utilizado para realizar a comunicação entre MATLAB® e *ThingSpeak*



Fonte: O Autor.

Através dele é possível inserir os dados necessários para realizar a comunicação entre MATLAB® e *ThingSpeak*, como ID do canal, chave de escrita e tempo de atualização para coleta de dados, conforme ilustra a Figura 23.

Figura 22– Janela de conFigurações do bloco ThingSpeak Output



Fonte: O Autor.

A plataforma também permite ao implementador um endereço do canal criado para que seja possível ao usuário poder monitorar seu sistema de qualquer localidade com conexão a internet, permitindo uma alta flexibilidade para o usuário.

Outra funcionalidade é a possibilidade de gerar notificações para o usuário realizando a

integração com mídias sociais, por exemplo, o *Twitter*, onde o usuário consegue receber avisos de falha no seu sistema.

Essa funcionalidade é feita através de um *React*, ou seja, conforme os dados são coletados pela plataforma *ThingSpeak*, ele passa por uma condição que se estiver dentro das exigências necessárias, ele tem como reação uma resposta que no caso é um alerta enviado via *Twitter*.

A configuração do *React* será feita da seguinte forma, primeiro tem-se o nome do *React*, em segundo o tipo de dado que é coletado, a frequência em que esse dado vai ser requisitado, de qual canal específico ele será adquirido, levando em consideração o campo e o valor que pretende-se coletar para que se tenha uma reação e por última a mensagem que será escrita via *Twitter*.

Figura 23 – Janela de conFIGurações do bloco *ThingSpeak Output*

The image shows the configuration interface for a 'ThingSpeak Output' block. The settings are as follows:

- React Name:** Alerta de irradiância
- Condition Type:** Numeric
- Test Frequency:** On Data Insertion
- Condition:**
 - If channel: Planta Fotovoltaica (573265)
 - field: 4 (Irradiância)
 - Operator: is equal to
 - Value: 200
- Ação:** ThingTweet
- then tweet:** Alerta 2 - A produção de energia está sendo prejudicada devido a baixa irradiância no módulo.
- using Twitter account:** projetotocpv

Fonte: O Autor.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo mostrou a teoria que envolve a tecnologia por trás do IoT, bem como as ferramentas que utilizam dessa tecnologia para realizar a coleta e armazenamento de dados na nuvem, sendo possível ao usuário gerenciar as informações essenciais para o seu sistema em tempo real. O próximo capítulo irá discutir sobre os trabalhos e aplicações da área relacionado ao tema do projeto.

5 TRABALHOS E APLICAÇÕES NA ÁREA

Existem inúmeros estudos voltados para a área de sistema de aquisição de dados e monitoramento de falhas em sistema fotovoltaicos. A avaliação de desempenho nesses sistemas de geração de energia vem sendo bastante pesquisado no meio científico, desde que essa tecnologia foi lançada por se tratar de um sistema de energia renovável [15].

Com intenção de reduzir o impacto na produção de energia através de combustíveis fósseis, a energia solar é uma das mais importantes fontes renováveis que contribui significativamente para o fornecimento sustentável de energia elétrica. Trata-se de uma energia com baixo custo de manutenção, baixa manutenção, ausência de ruído e alta confiabilidade [22].

Alguns estudos sobre energia renováveis, trazem como abordagem a modelagem de circuitos equivalentes de células fotovoltaicas ou módulos. Por meio de equações derivadas de um circuito equivalente, baseada na teoria de circuito e na característica de diodos, é possível modelar o comportamento de um circuito fotovoltaico. [18]

Os estudos trazem três formas de realizar a modelagem em âmbito de estudo, que são: modelagem matemática, por circuito e utilizando blocos funcionais, entre elas a mais comum é a modelagem matemática [19].

O intuito de utilizar a modelagem como parâmetro de estudo de energias renováveis, consiste na facilidade em implementar o circuito equivalente e testar o sistema em diferentes situações operacionais para que o implementador consiga obter a melhor performance do sistema em diversas situações de trabalho.

Existem inúmeras plataformas para realizar a modelagem de circuitos equivalentes como o fotovoltaico, o mais conhecido entre o meio científico é o *software* de simulação SimuLink por se tratar de um programa que contém inúmeras funcionalidades que facilitam na programação do projeto.

Os métodos renováveis de energia trouxeram os benefícios e os desafios nesses últimos anos. A alta complexidade em que as plantas fotovoltaicas se tornaram, exigiu-se a necessidade de ferramentas de gerenciamento onde o usuário e, até mesmo o consumidor, consiga visualizar como está o processo de geração de energia e através dele, tomar medidas para que se busque a alta performance do sistema.

A utilização de tecnologias como IoT aplicada a estes sistemas, facilita na integração entre homem máquina, pois o usuário consegue em tempo real analisar o sistema que está monitorando e conseguir tomar medidas para que seu sistema atue em alta performance.

Estudos trazem a utilização de plataformas gratuitas como ferramenta de gerenciamento, como o ThingSpeak, que permite ao usuário visualizar em tempo real como está sendo o funcionamento de seu sistema por meio de gráficos, indicadores visuais personalizados ou por programação via MATLAB®. [20]

Para sistemas de energia fotovoltaica instaladas em áreas rurais, esses recursos de monitoramento são de extrema importância, pois traz para o implementador da tecnologia informações sobre a capacidade de produção de energia naquela região, como a performance do sistema está atuando e por meio disso realizar manutenções preventivas sem deixar que falhas permaneçam no sistema [21].

6 DESENVOLVIMENTO

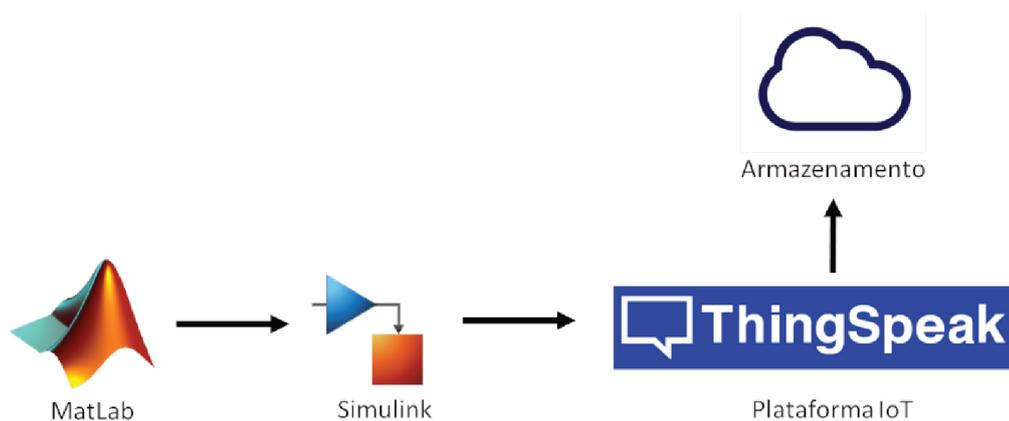
6.1 MATERIAIS

Os *softwares* que serão utilizados no trabalho são referentes ao programa *MATLAB*®, que conta com todos os recursos necessários para a implementação do projeto.

6.2 MÉTODOS

Foi feita a modelagem de uma planta fotovoltaica através do ambiente de simulação *Simulink* que pertence ao programa *MATLAB*®. Os dados gerados através da simulação são enviados para uma plataforma IoT, onde são armazenados e disponibilizados graficamente em uma interface para ser consultado em tempo real, conforme ilustra o esquemático abaixo.

Figura 24– Diagrama estrutural com as principais ferramentas do trabalho



Fonte: O Autor.

O tipo de modelagem escolhido para o projeto será por blocos funcionais e utilizará o bloco *PV Array block* da biblioteca *SimPowerSystem*, onde é possível configurar a tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, corrente máxima, tensão máxima e o número de células por módulo, conforme ilustra a 17.

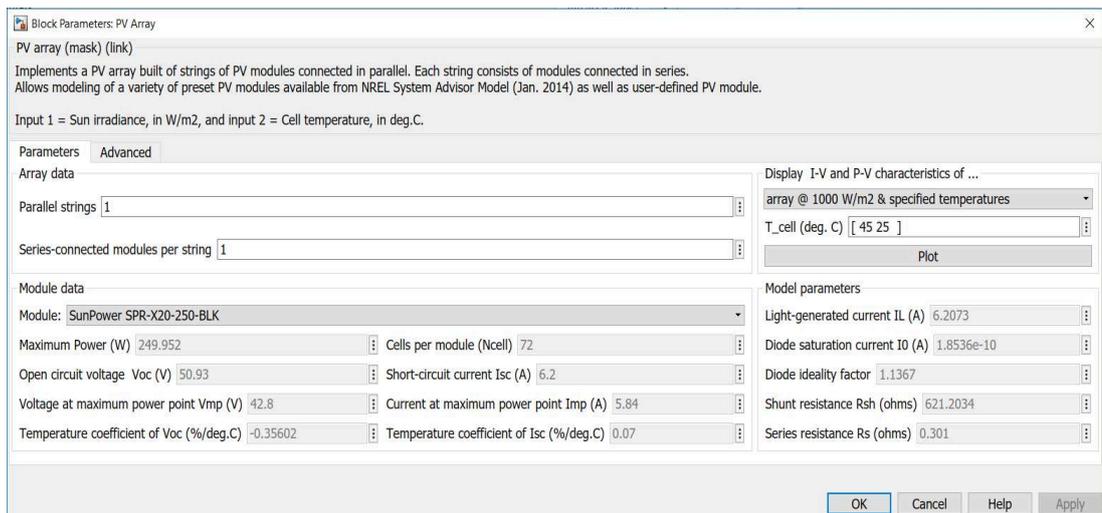
Os parâmetros a serem utilizados foram definidos com base no módulo solar que é padrão de pesquisas relacionadas a área de modelagem no setor fotovoltaico.

Tabela 1 – Características do módulo fotovoltaico

Máxima Potência	250W
Número de células do módulo	72
Corrente de Curto-Circuito Isc	6,2 A
Coefficiente de Temperatura de Isc(%/deg.C)	0.07
Tensão de circuito aberto	51V
Corrente Máxima	5.84 A
Tensão Máxima	43V

A Figura 26, mostra a configuração que foi utilizada no bloco que simula a placa fotovoltaica.

Figura 25 – Configuração Módulo Fotovoltaico



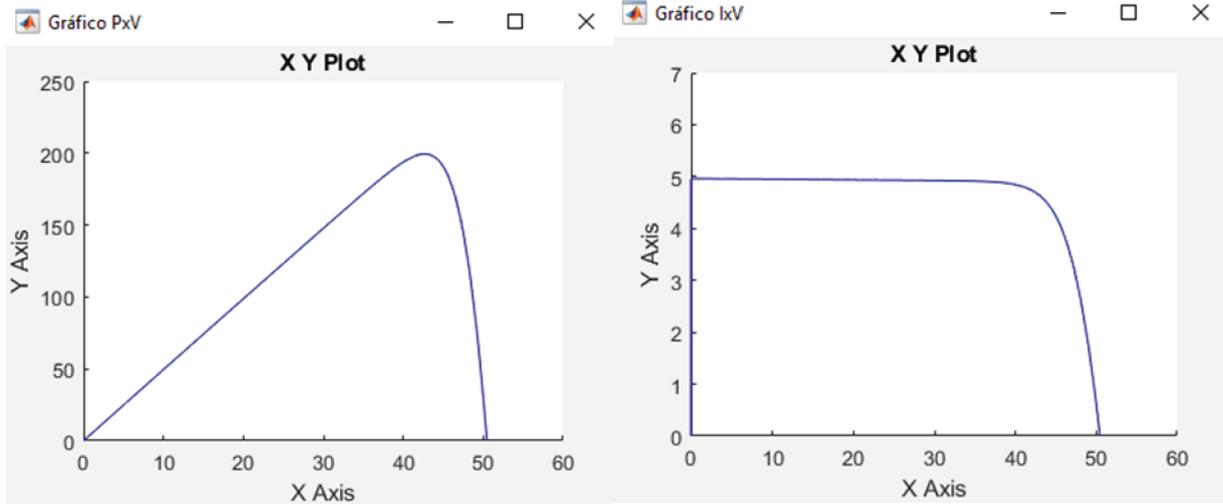
Fonte: O Autor.

6.3 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Para verificar se o sistema fotovoltaico se comporta adequadamente, de acordo com os sistemas reais, foram feitos testes variando-se a Irradiância, a Temperatura de Operação e por fim ambas as variáveis.

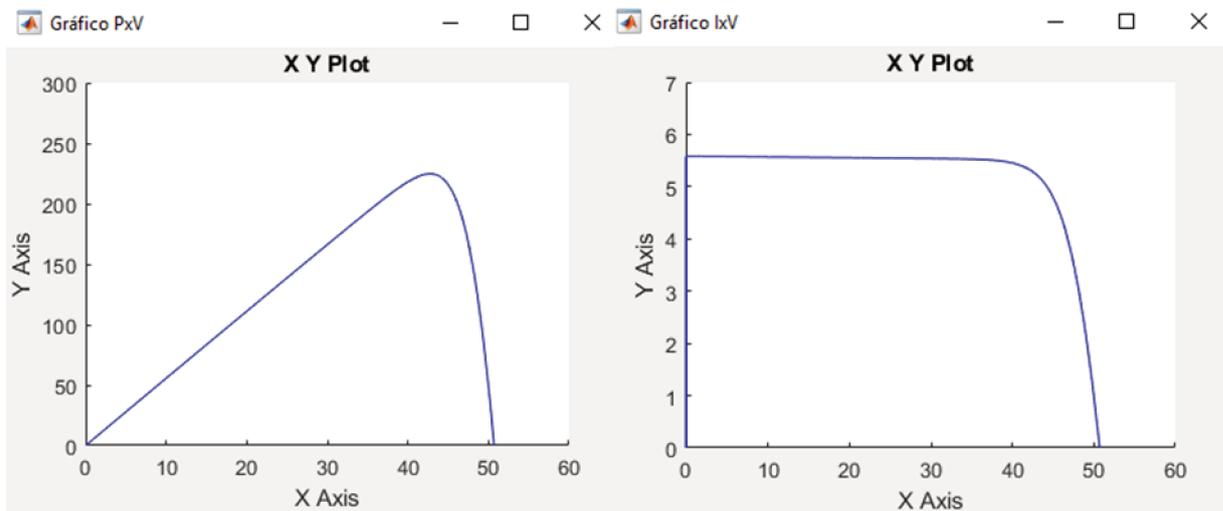
Como já foi mencionado acima, a corrente do painel é diretamente proporcional a irradiação solar, sabendo disso pode-se verificar que a uma temperatura constante e para diferentes valores de irradiação que conforme aumenta-se o valor de irradiação maior será o valor de corrente na placa, conforme ilustram as Figuras a seguir, onde manteve-se a temperatura constante e variamos a irradiação.

Figura 26– Curvas de PxV e IxV para temperatura de 25°C e Irradiância de 800W/m².



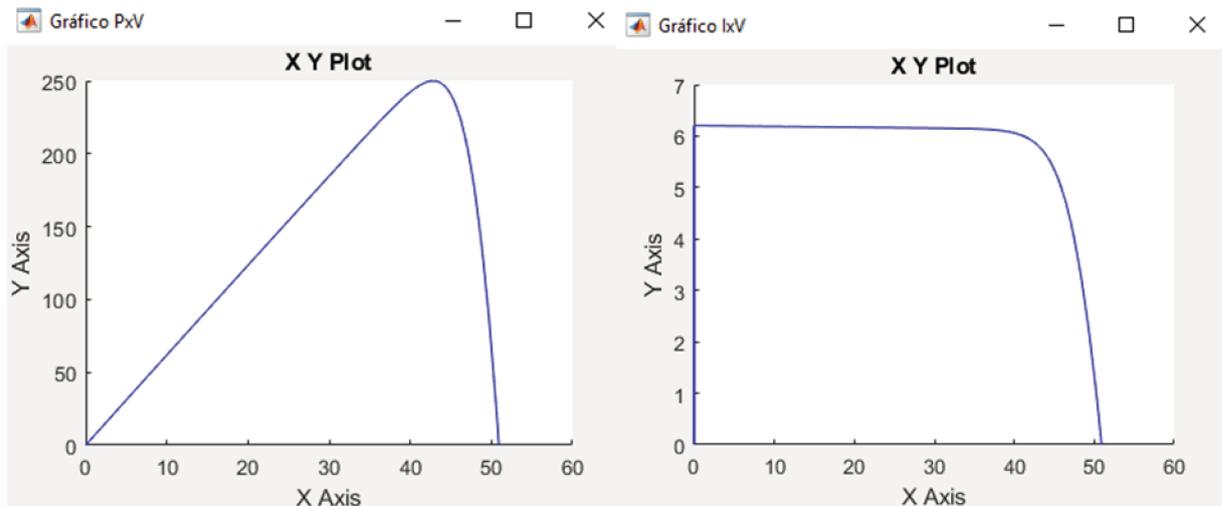
Fonte: O Autor.

Figura 27– Curvas de PxV e IxV para temperatura de 25 °C e Irradiância de 900W/m².



Fonte: O Autor.

Figura 28– Curvas de P_{xV} e I_{xV} para temperatura de 25 °C e irradiância de 1000W/m².

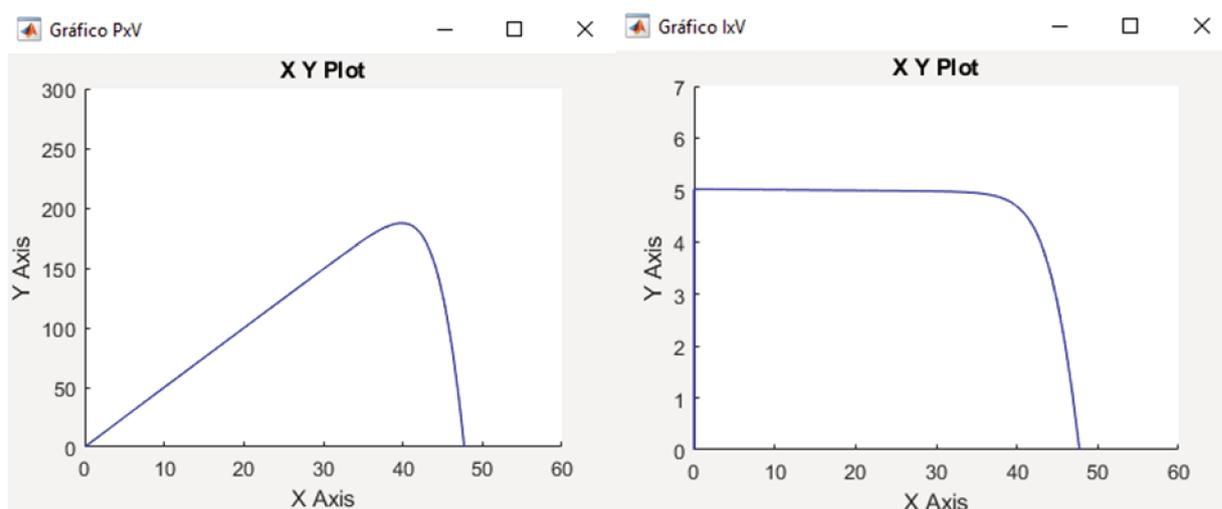


Fonte: O Autor.

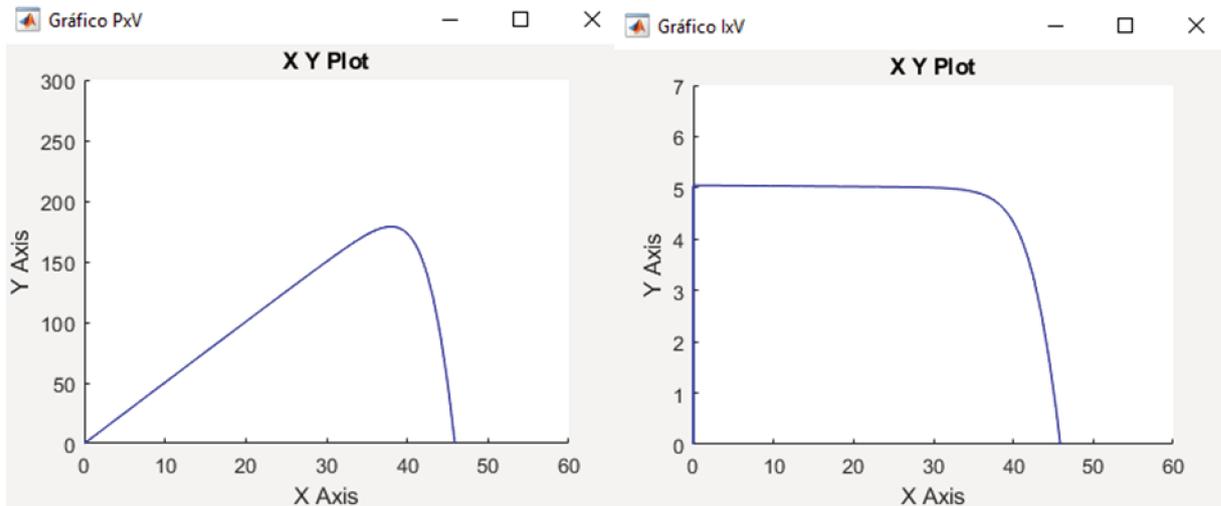
As próximas Figuras, ilustram o comportamento do sistema quando mantém-se a irradiância constante e varia-se a temperatura. Esse tipo de ocorrência é devida, por exemplo, a falta de espaço para a circulação de ar no local da instalação.

Ao contrário da irradiância, quando o painel fotovoltaico fica exposto à altas temperaturas, o mesmo esquenta muito e tende a ter seus valores de tensão diminuído, conseqüentemente sua potência também diminui.

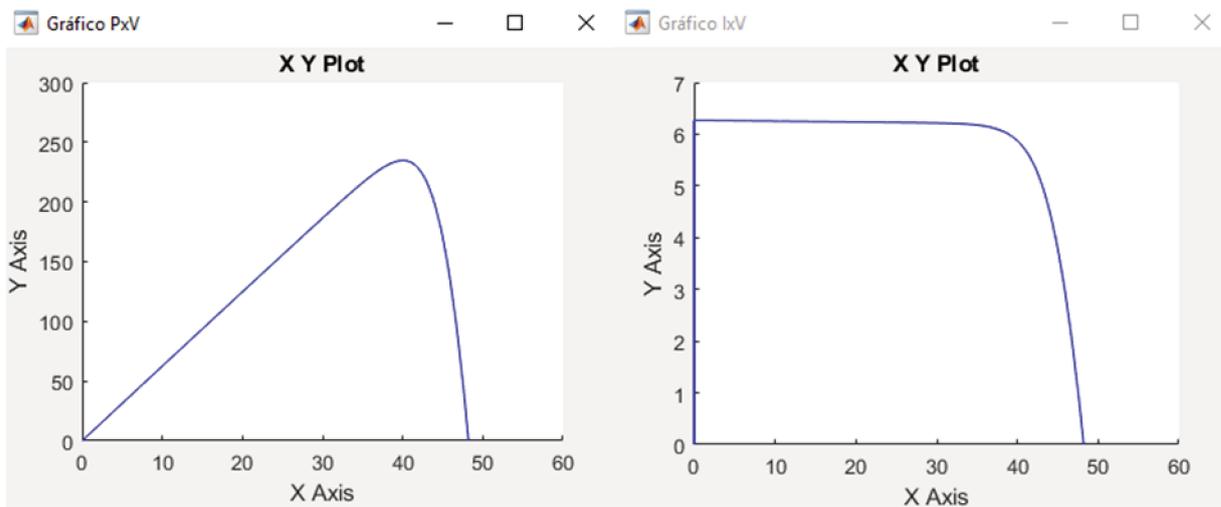
Figura 29- Cenário 01: Irradiância 800W/m² e Temperatura de 40 °C



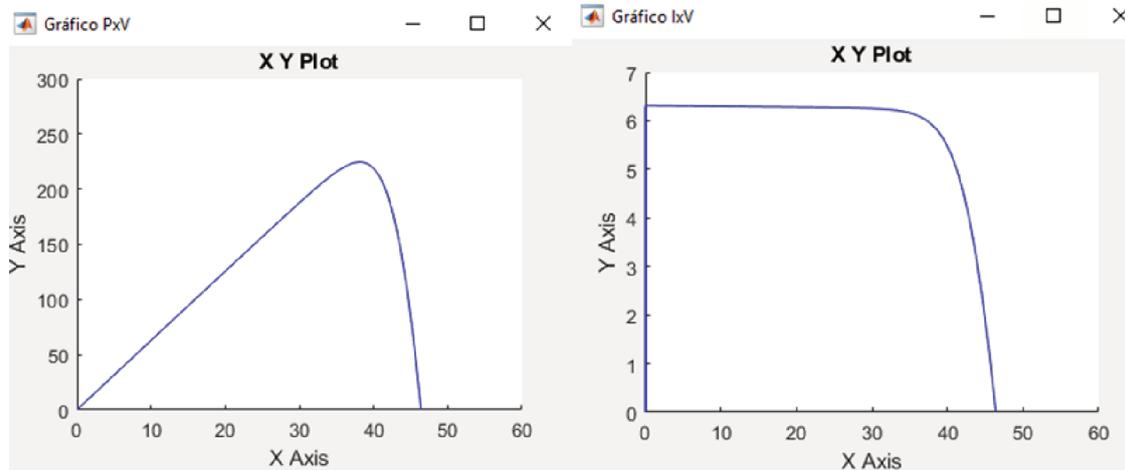
Fonte: O Autor.

Figura 30- Cenário 01: Irradiância 800W/m² e Temperatura de 50°C

Fonte: O Autor.

Figura 31- Cenário 02: Irradiância 1000W/m² e Temperatura de 40°C

Fonte: O Autor.

Figura 32- Cenário 02: Irradiância 1000W/m² e Temperatura de 50 °C

Fonte: O Autor.

Observou-se que o sistema proposto comportou-se de acordo com o que está na literatura, como mostra as figuras anteriores, sendo assim, aproximando-se do comportamento de um sistema real.

Em um sistema fotovoltaico, instalado em geral em locais de difícil acesso, como por exemplo um telhado ou uma fazenda de produção remota, o monitoramento do comportamento dos gráficos anteriores, tem muita informação a oferecer com relação as condições do sistema. A diminuição da irradiância, por exemplo, pode indicar o acúmulo de poeira ou até mesmo de algum objeto estranho ao sistema, como folhas de árvores. Por isso ter estes dados em tempo real é importante para manter o desempenho do sistema, onde entra o sistema de monitoramento via Thingspeak.

Para verificar se os dados simulados via MATLAB® estão condizentes com os valores recebidos via ThingSpeak, utiliza-se os mesmos cenários de simulação, coletando as principais variáveis, potência, tensão, corrente, temperatura e irradiância. Inicia-se a simulação com temperatura fixa e a varia-se o valor de impedância.

Figura 33– Potência, Tensão, Corrente para temperatura de 25°C e Irradiância de 800W/m².

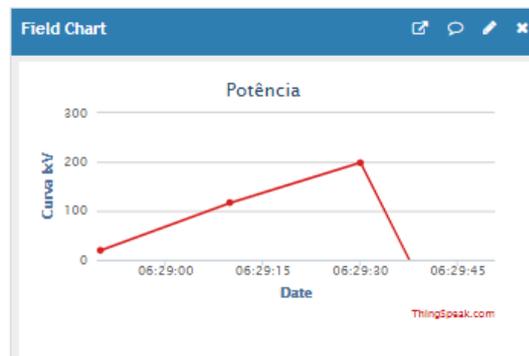
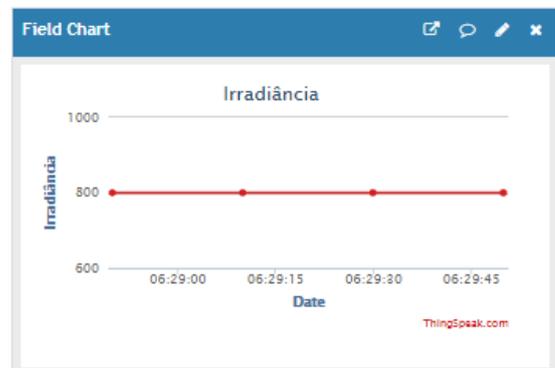
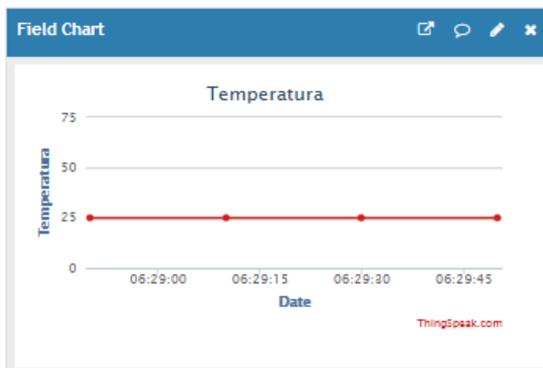
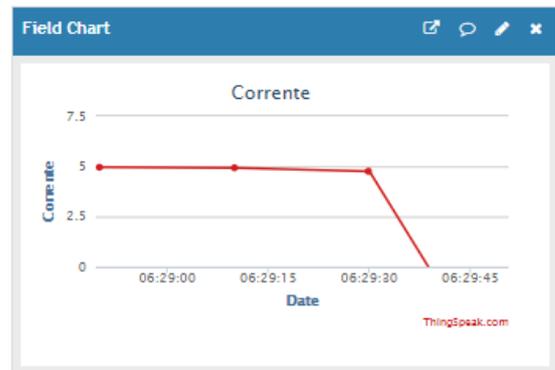
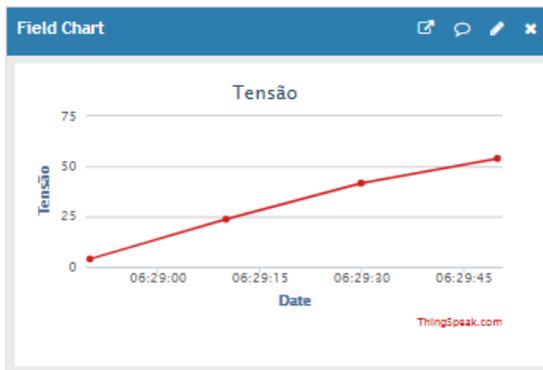
Planta Fotovoltaica

ID do canal: 573265

Author: [matheusr2_tspk9](#)

Access: Públicos

Simulação de Corrente, Tensão e Temperatura



Fonte: O Autor.

Figura 34– Potência, Tensão, Corrente para temperatura de 25°C e Irradiância de 900W/m².

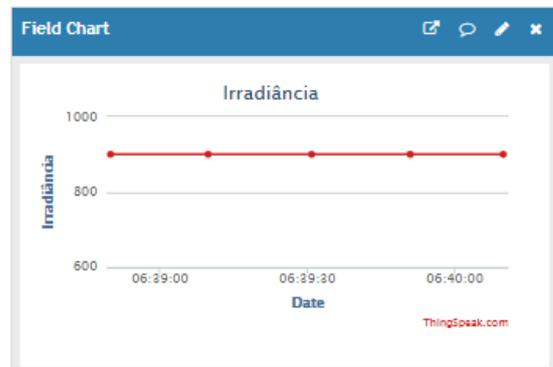
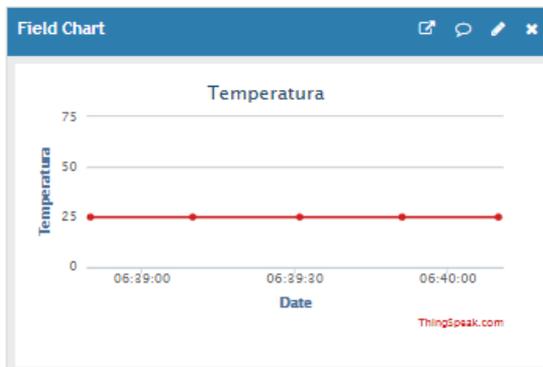
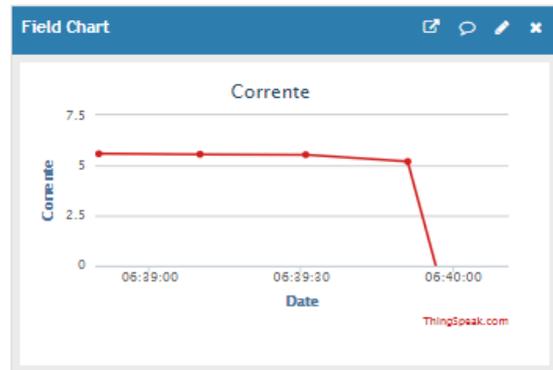
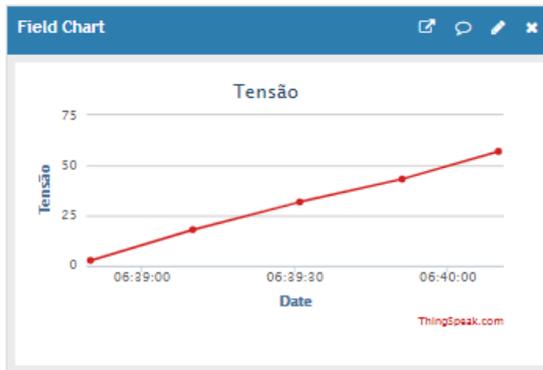
Planta Fotovoltaica

ID do canal: 573265

Autor: [matheusr2_tspk9](#)

Access: Públicos

Simulação de Corrente, Tensão e Temperatura



Fonte: O Autor.

Figura 35– Potência, Tensão, Corrente para temperatura de 25°C e Irradiância de 1000W/m².

Planta Fotovoltaica

ID do canal: 573265

Autor: [matheusr2_tspk9](#)

Access: Públicos

Simulação de Corrente, Tensão e Temperatura



Fonte: O Autor.

As próximas Figuras ilustram o comportamento do sistema quando mantém-se a irradiância constante e variando a temperatura, foi feito isso para dois cenários.

Figura 36 - Cenário 01: Irradiância $800\text{W}/\text{m}^2$ e Temperatura de $40\text{ }^\circ\text{C}$

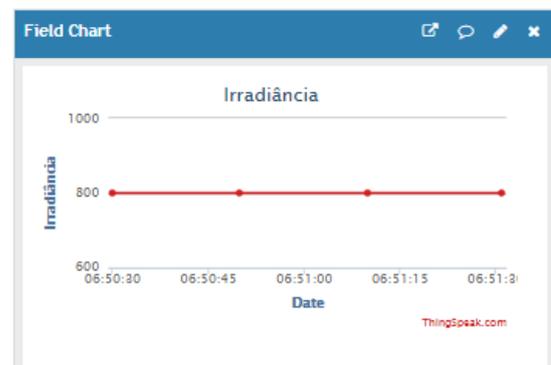
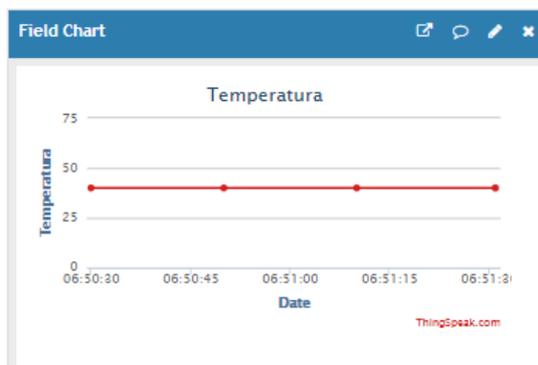
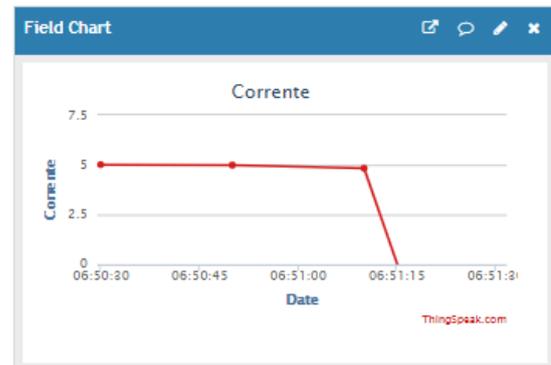
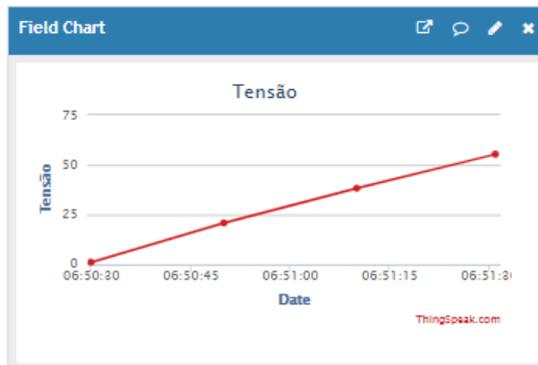
Planta Fotovoltaica

ID do canal: 573265

Autor: [matheusr2_tspk9](#)

Access: Públicos

Simulação de Corrente, Tensão e Temperatura



Fonte: O Autor.

Figura 37- Cenário 01: Irradiância 800W/m² e Temperatura de 50°C

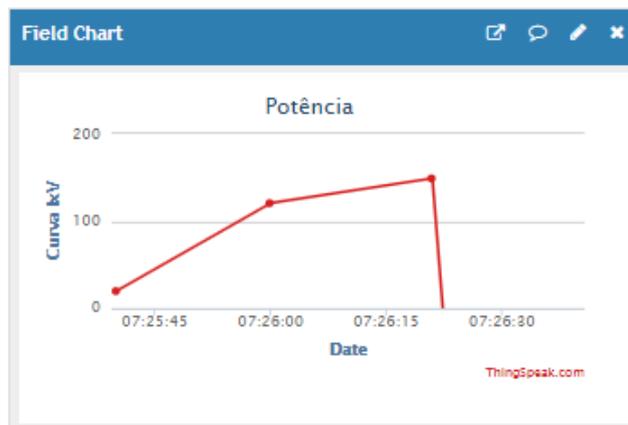
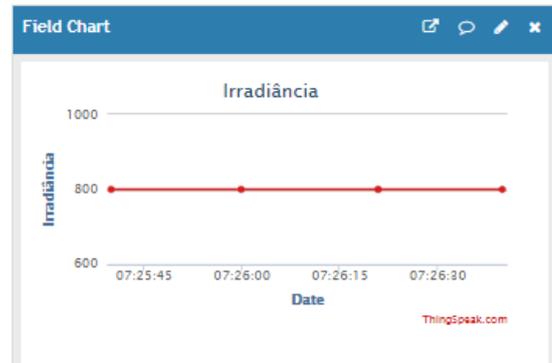
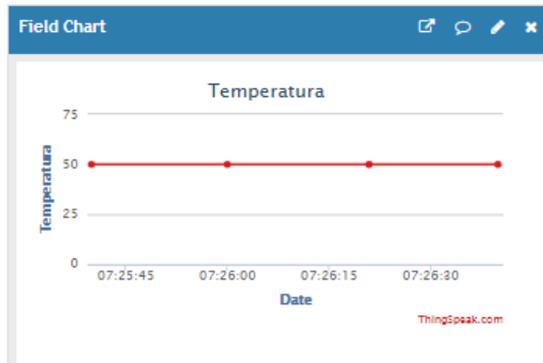
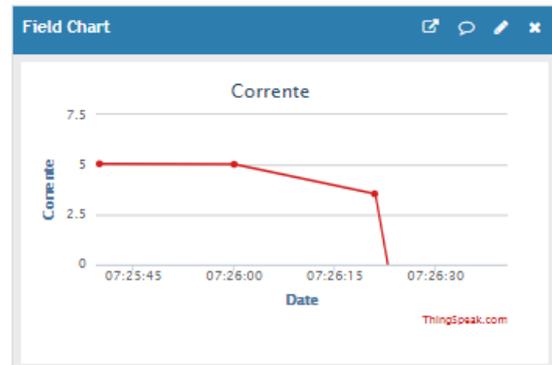
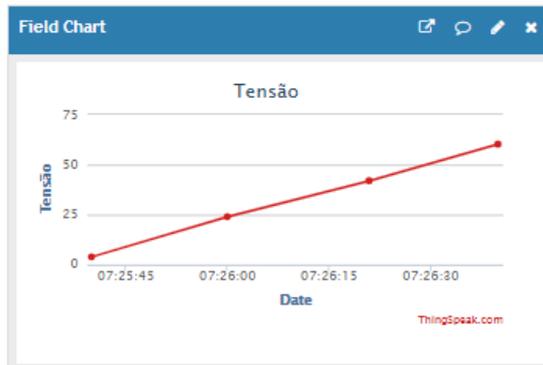
Planta Fotovoltaica

ID do canal: 573265

Author: [matheusr2_tspk9](#)

Access: Públicos

Simulação de Corrente, Tensão e Temperatura



Fonte: O Autor.

Figura 38 - Cenário 02: Irradiância 1000W/m² e Temperatura de 40°C

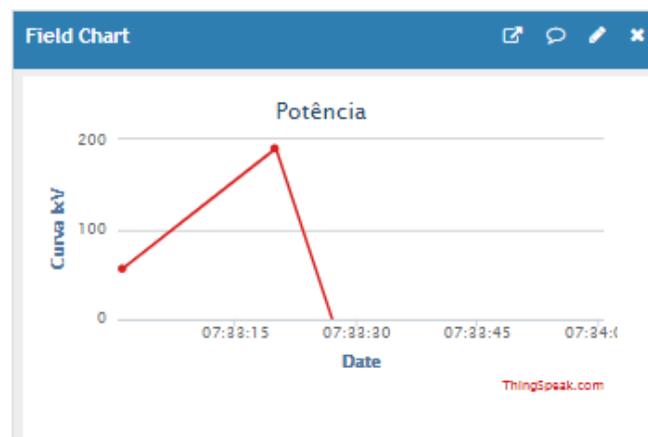
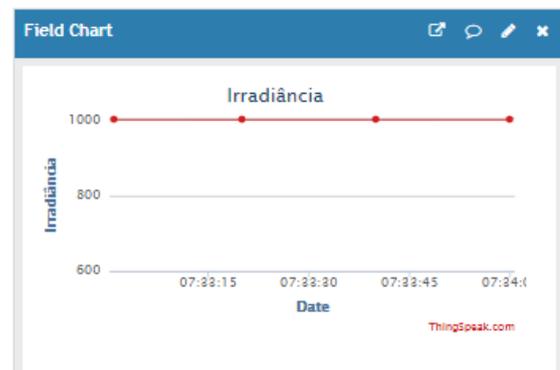
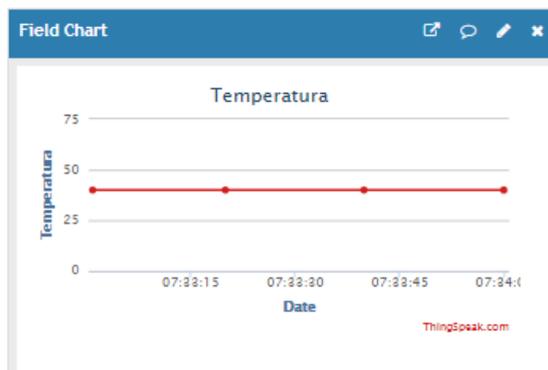
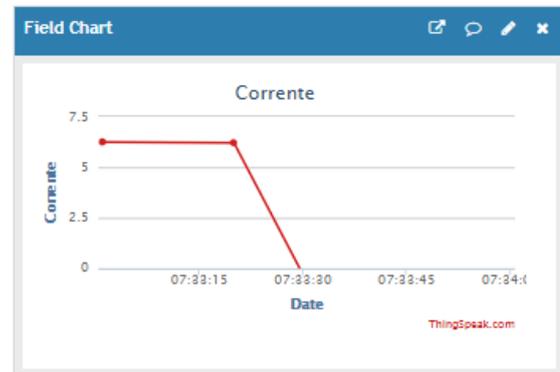
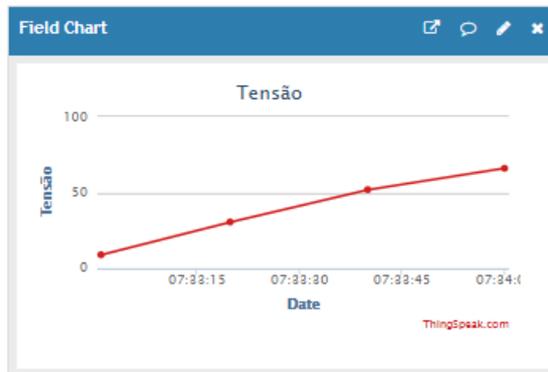
Planta Fotovoltaica

ID do canal: 573265

Author: [matheusr2_tspk9](#)

Access: Públicos

Simulação de Corrente, Tensão e Temperatura



Fonte: O Autor.

Figura 39 - Cenário 02: Irradiância 1000W/m² e Temperatura de 50°C

Planta Fotovoltaica

ID do canal: 573265

Autor: matheusr2_tspk9

Access: Públicos

Simulação de Corrente, Tensão e Temperatura



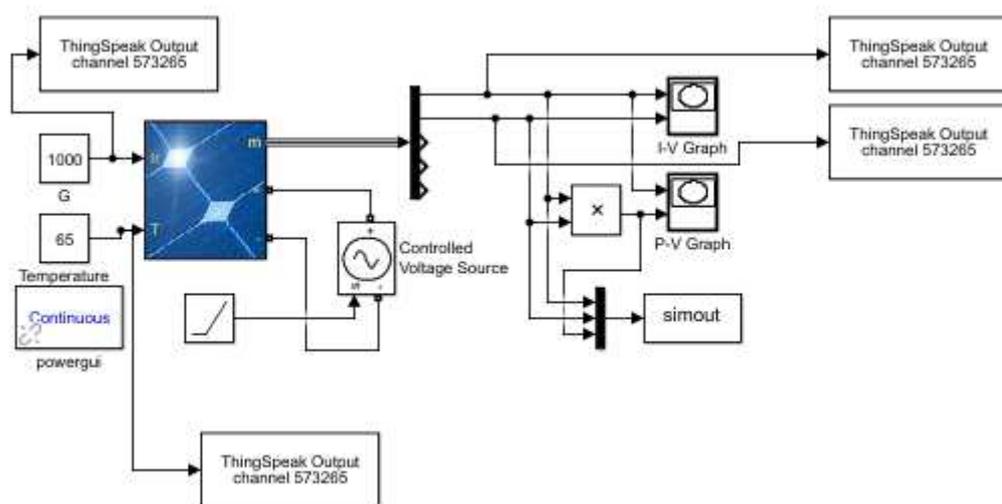
Fonte: O Autor.

Após simularmos os principais cenário de operação de um sistema fotovoltaico, simulamos também os casos em que a produção de energia seria prejudicada devida a uma alta temperatura na placa, ou baixa irradiância solar.

Sabe-se que quanto maior o valor de temperatura no sistema, menor será a produção de energia, devido a célula solar ser constituída de silício, um semicondutor, e semicondutores perdem a sua eficiência com o calor, ou seja, conforme indica o coeficiente de temperatura, a uma perca de produtividade a cada aumento de grau na temperatura.

Simulamos dois cenários de possíveis falhas de baixa produtividade. Considera-se que a partir de 65°C , todo valor acima seria reportado um alerta notificando sobre alta temperatura na placa, conforme ilustra a Figura 42.

Figura 40– Valor de entrada de temperatura em 65°C e irradiância no valor de 1000 W/m^2 .



Fonte: O Autor.

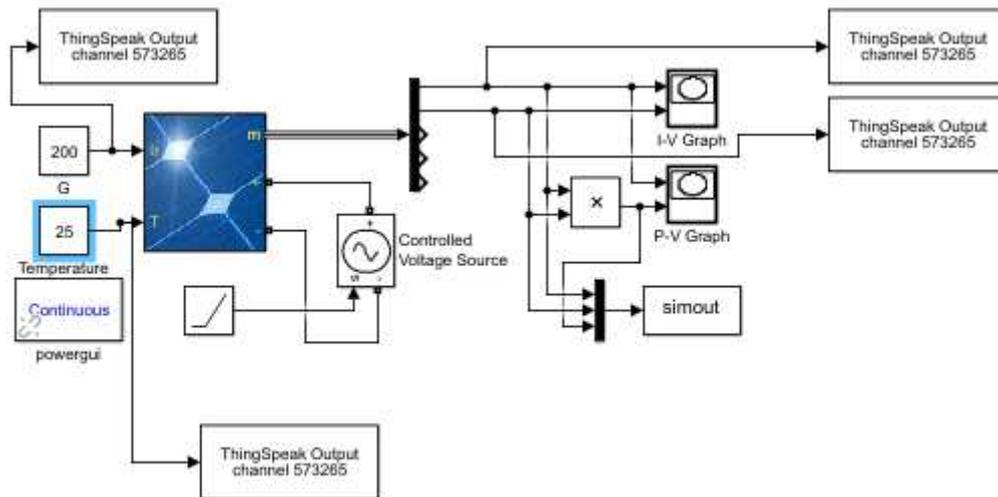
Figura 41– Notificações de falha via Twitter de alta temperatura.



Fonte: O Autor.

Já no segundo cenário, considera-se que valores de irradiância abaixo de 200 W/m^2 , seria reportado um alerta notificando sobre a baixa irradiância incidente no sistema, conforme ilustra a Figura 44.

Figura 42 – Valor de entrada de temperatura em 25°C e irradiância no valor de 200 W/m².



Fonte: O Autor.

Figura 43– Notificações de falha via Twitter de baixa irradiância temperatura.



Fonte: O Autor.

Inserindo os dois cenários descritos acima, consegue-se monitorar as principais variáveis de entrada que são críticas para o sistema, pois a variação de seus valores altera toda a performance da produção de energia. Tendo em vista que grande parte das instalações desses sistemas se encontram em áreas remotas, a possibilidade de poder acompanhar os dados fora do local de instalação é alvo de grande interesse e torna-se necessário para que se consiga manter um acompanhamento da produção em alta performance.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta como material para estudos o tema de modelagem de sistemas fotovoltaicos. No trabalho foi discutido sobre os objetivos, a motivação e a justificativa da realização do projeto com o tema voltado para energia solar, contextualizando o atual momento energético brasileiro e mostrando que o Brasil é um país que tem potencial para difundir a tecnologia para que se tenha uma energia limpa e eficiente. Foi abordado sobre toda a teoria que envolve a produção de energia solar, desde o princípio básico de funcionamento de um célula solar até os principais componentes que integram um sistema de produção e como são estruturados para que se tenha a melhor produção energética. Em seguida, foi discutido como é realizado a modelagem de uma planta fotovoltaica e quais são as principais equações que regem esse sistema e por último como pode ser realizado o monitoramento desses dados utilizando uma das tecnologias que mais vem crescendo no setor de telecomunicações que é a internet das coisas.

Foi realizado a simulação do sistema fotovoltaico utilizando as equações que modelam o circuito equivalente, tendo como principais componentes: bloco *PV Array*, fonte controladora de tensão, bloco rampa e os parâmetros de entrada do circuito irradiância e temperatura.

Verificou-se que o *software* utilizado na simulação teve uma ótima performance atendendo os objetivos desejados na pesquisa e que se mostra ser de fácil implementação por utilizar blocos funcionais e permitir a utilização de biblioteca externa como utilizado no bloco *PV Array* do bloco modelo da *SimPowerSystem*.

A plataforma de IoT, *ThingSpeak*, utilizada para receber os dados da simulação em tempo real, teve uma performance de alta qualidade por apresentar inúmeras ferramentas ao implementador, receber inúmeros dados ao mesmo e garantindo uma interface de fácil interpretação dos dados. Tendo como um dos principais atrativos a possibilidade de consulta de dados remotamente, o que se torna atrativo, pois existem inúmeras aplicações de sistemas em locais remotos como áreas rurais. Além de divulgar alertas em caso de não ter as condições mínimas como requisito para a produção de energia.

Os resultados das simulações nos diferentes cenários mostram que a modelagem reflete o comportamento de um sistema real por se basear em equações definidas no circuito equivalente. O trabalho mostra que além dos componentes que necessariamente influenciam na montagem da planta fotovoltaica, como o coeficiente de temperatura, o número de módulos

fotovoltaicos, o modelo do módulo a ser utilizado, as variáveis de nível de irradiância e temperatura ambiente afetam de forma mais significativa os valores de tensão, corrente e potência fornecido pelo sistema.

Este trabalho de conclusão mostrou-se como base um tema específico que abrange um universo relativamente extenso para trabalhos futuros relacionado a modelagem de sistemas fotovoltaicos e que tem ainda como possíveis abordagens, os seguintes tópicos: a comparação desse sistema de energia com outra forma de produção sustentável, a utilização de outro *software* que permite realizar a simulação do sistema, utilizar de outras plataformas baseadas na tecnologia IoT.

REFERÊNCIAS

- [1] NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. 2017
- [2] ABSOLAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia solar fotovoltaica: Panorâma, Oportunidades e Desafios**. Brasília – DF. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/documents/10184/15266087/painel+3+ap+7+2017.10.19+ABSOLAR+-+Energia+Solar+Fotovoltaica+-+Dr.+Rodrigo+Lopes+Sauaia.pdf/54f8b161-751b-0639-bd04-77a60cac45c3>. Acessado em: 01/05/2018
- [3] BRITO, Sérgio de Salvo. Centro de referência para energia solar e eólica. **CRESESB Informe**-Rio de Janeiro, v. 12, n. 13, p. 3, 2008.
- [4] MATTOS, G. M. **Estudo de Rendimento e Temperatura de Painéis Fotovoltaicos com Uso de Técnica de Concentração Solar**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2016.
- [5] KALOGIROU, Soteris A. **Solar energy engineering: processes and systems**. Academic Press, 2013.
- [6] JÄGER, Klaus et al. **Solar energy fundamentals, technology and systems**. Delft University of technology, v. 77, p. 78, 2014.
- [7] DE MARTINO JANNUZZI, Gilberto; VARELLA, Fabiana KOM; GOMES, Rodolfo Dourado Maia. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: panorama da atual legislação**. International Energy Initiative para an América Latina (IEI-LA) e Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), 2009.
- [8] ASIF. Asociación de La Industria Fotovoltaica. Solar Generation V – 2008. **Electricidad Solar para Más de Mil Millones de Personas y dos Millones de Puestos de Trabajo para el Año 2020**. 2008a.
- [9] VOLT, Delta . **Paneles Solares, Tipos y Eficiencias**. [S.l.]: Delta Volt SAC, 2010. 1 p. Disponível em: <<http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>>. Acesso em: 26 out. 2017.
- [10] PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL, 2014.

- [11] HARRINGTON, Steve; DUNLOP, James. **Battery charge controller characteristics in photovoltaic systems**. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, v. 7, n. 8, p. 15-21, 1992.
- [12] CHIVELET, N. et al. **Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica**. Serie Ponencias, Editorial CIEMAT. Capítulos 20, v. 23, 2009.
- [13] MATLAB®. **Implement PV Array Modules**. Math Works Inc.
- [14] GONZÁLEZ-LONGATT, Francisco M. et al. **Model of photovoltaic module in MATLAB®**. Ii Cibelec, v. 2005, p. 1-5, 2005.
- [15] TSAGARIS, A.; TRIANTAFYLLIDIS, D. G. **Data monitoring system for supervising the performance assessment of a photovoltaic park**. In: Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 2012 IEEE 13th International Symposium on. IEEE, 2012. p. 385-389.
- [16] ASHTON, Kevin et al. That ‘internet of things’ thing. **RFID journal**, v. 22, n. 7, p. 97-114, 2009
- [17] JAMOUSSEI, Bilel. **IoT Prospects of Worldwide Development and Current Global Circumstances**. Presentation Slides in the, 2010.
- [18] PANDIARAJAN, Natarajan; MUTHU, Ranganath. **Mathematical modeling of photovoltaic module with Simulink**. In: International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES 2011). 2011
- [19] TAN, Rodney HG; TEOW, Matthew YW. **Comprehensive Modelling of Photovoltaic Module Characteristic Curve in MATLAB®/Simulink**. 2016.
- [20] FONSECA, Felipe Augusto da; SCHMITZ, Luiz. **Sistema microcontrolado para estufas**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [21] TEJWANI, Ravi; KUMAR, Girish; SOLANKI, Chetan. **Remote monitoring for solar photovoltaic systems in rural application using GSM voice channel**. Energy Procedia, v. 57, p. 1526-1535, 2014.

[22] BELGHITH, Oussama Ben; SBITA, Lasaad. **Remote GSM module monitoring and Photovoltaic system control**. In: Green Energy, 2014 International Conference on. IEEE, 2014. p. 188-192.