

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

PAULO DONIZETTI DE OLIVEIRA JÚNIOR

**SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA DETECÇÃO DE
FALHAS EM PLACAS FOTOVOLTAICAS**

PATOS DE MINAS - MG

2018

PAULO DONIZETTI DE OLIVEIRA JÚNIOR

**SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA DETECÇÃO DE
FALHAS EM PLACAS FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial de avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Patos de Minas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Elise Saraiva

Patos de Minas - MG

2018

PAULO DONIZETTI DE OLIVEIRA JÚNIOR

**SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA DETECÇÃO DE
FALHAS EM PLACAS FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial de avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Patos de Minas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Elise Saraiva.

Patos de Minas, 13 de dezembro de 2018

Banca Examinadora

Prof.^a Dr.^a Elise Saraiva – FEELT/UFU (Orientadora)

Prof. Msc. Tiago de Souza Teixeira – FPM (Membro 1)

Prof. Dr. Daniel Costa Ramos – FEELT/UFU (Membro 2)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, meu guia e protetor, que me fez mais forte a cada batalha.

Agradeço a minha família, amigos e namorada por todo apoio, companheirismo e compreensão que tiveram durante a minha jornada acadêmica.

Aos meus professores, que jamais mediram esforços para me ensinar e me ajudar, e contribuíram de forma grandiosa na minha formação profissional e humana.

À minha orientadora Prof.^a Dra. Elise Saraiva, que além de professora e orientadora é uma grande amiga e sempre disposta a ajudar.

À minha tutora Prof.^a Dra. Karine Barbosa Carbonaro que me aconselhou e acompanhou meu processo de formação com bastante empenho e dedicação.

RESUMO

Este trabalho descreve uma proposta de um sistema de detecção de falhas que possam ocorrer em painéis solares. Sabe-se que em pequenos sistemas de geração de energia fotovoltaica, como os residenciais, a falha de um dos painéis pode trazer um impacto significativo na potência gerada, isso ocorre devido à pequena quantidade de painéis instalados nesse tipo de sistema. Por meio desse conhecimento surge a necessidade de um sistema que permita a detecção dessas falhas para posterior correção que acarretará em maior desempenho de geração de energia, com o desafio de suprir essa necessidade surgiu a ideia deste trabalho, que se tornará possível por meio de *hardware* e *software* de uso livre, onde esse *hardware* faz a leitura dos valores de tensão e corrente, e envia esses dados para um *software* executado em um computador pessoal que recebe esses dados e informa ao usuário sobre o *status* de funcionamento do painel fotovoltaico. Uma interface gráfica foi desenvolvida para visualizar os dados recebidos e efetuar o diagnóstico. Durante os testes comprovou-se o funcionamento do software e do hardware incluindo o painel fotovoltaico.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica. Energia solar. Detecção de falhas. Microcontrolador; Sensores.

ABSTRACT

This article describes a photovoltaic panel failures detection system proposal. It's known that in small photovoltaic energy generating systems, as the residential ones, a failure in one of the panels can causes an effective impact in the generated power. This is due to the small quantity of installed panels in this kind of system. There is a necessity of a system which enables these failures detection, for further correction, resulting in better power generating performance. Whith the challenge of meeting this demand, the idea of this work emerged, which is based on using hardware and freeware software, where the hardware is responsible for measuring the voltage and electric current values and sending this information for a software running in a personal computer that receives the collected data and reports to the user the photovoltaic panel functioning status. A graphic interface was developed for viewing the received data and make the diagnosis. Both the software and the photovoltaic panel were tested, and the correct functioning of both was proven.

Keywords: Photovoltaic energy. Solar energy. Failure detection. Microcontroller. Sensors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimentação dos elétrons na junção.....	24
Figura 2 - Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.....	24
Figura 3 - Composição do painel fotovoltaico	26
Figura 4 - Arduino MEGA2560	33
Figura 5 - Pinagem do Arduino MEGA2560	33
Figura 6 - Divisor de tensão do sensor	35
Figura 7 – Sensor de tensão.....	35
Figura 8 - Sensor de corrente.....	36
Figura 9 – Placa de identificação do painel.....	40
Figura 10 - Imagem do painel fotovoltaico	41
Figura 11 - Conexões elétricas	42
Figura 12 - Funções básicas do <i>software</i>	43
Figura 13 - Interface do <i>software</i>	46
Figura 14 - Painel de conexão	47
Figura 15 - Painel dispositivos	47
Figura 16 - Painel recursos	47
Figura 17 - Painéis arquivo e gravação	48
Figura 18 - Painel de parâmetros.....	48
Figura 19 - Painel de diagnóstico	49
Figura 20 - Conexão com o Arduino	50
Figura 21 - Parâmetros da fonte	51
Figura 22 - Dados do primeiro teste	51
Figura 23 - Diagnóstico do primeiro teste.....	52
Figura 24 - Dados do segundo teste.....	52
Figura 25 - Diagnóstico do segundo teste	53
Figura 26 - Dados do terceiro teste.....	53
Figura 27 - Diagnóstico do terceiro teste	54
Figura 28 - Dados do quarto teste.....	54
Figura 29 - Diagnóstico do quarto teste	55
Figura 30 - Dados do quinto teste.....	55
Figura 31 - Diagnóstico do quinto teste	56

Figura 32 - Dados do sexto teste	56
Figura 33 - Diagnóstico do sexto teste	57
Figura 34 - Painel dispositivos no dia 11/11	60
Figura 35 – Painel monitoramento no dia 11/11	60
Figura 36 - Painel dispositivos no dia 12/11	62
Figura 37 - Painel monitoramento no dia 12/11	63
Figura 38 - Painel dispositivos no dia 14/11	65
Figura 39 - Painel monitoramento no dia 14/11	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aproveitamento da radiação em células de silício cristalino	15
Quadro 2 - Aproveitamento da radiação por tipo de célula fotovoltaica.....	16
Quadro 3 - Normas e regulamentos para painéis fotovoltaicos.....	27
Quadro 4 - Dados contidos na etiqueta.....	30
Quadro 5 - Dados adicionais da etiqueta	31
Quadro 6 - Especificações técnicas dos Arduinos MEGA2560 e UNO.....	34
Quadro 7 - Custos dos materiais.....	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo de energia por estágio	20
Gráfico 2 - Comparação dos tipos de fontes das matrizes energéticas.....	21
Gráfico 3 - Comparação entre os tipos de fontes das matrizes elétricas	22
Gráfico 4 - Demonstrativo das horas de sol pico.....	23
Gráfico 5 - Efeito da irradiância nos painéis fotovoltaicos	28
Gráfico 6 - Influência da temperatura nos painéis fotovoltaicos.....	29
Gráfico 7 – Tensão x Horário do dia 11/11	58
Gráfico 8 - Corrente x Horário do dia 11/11	59
Gráfico 9 - Potência x Horário do dia 11/11	59
Gráfico 10 - Tensão x Horário do dia 12/11.....	61
Gráfico 11 - Corrente x Horário do dia 12/11	61
Gráfico 12 - Potência x Horário do dia 12/11	62
Gráfico 13 - Tensão x Horário do dia 14/11.....	63
Gráfico 14 - Corrente x Horário do dia 14/11	64
Gráfico 15 - Potência x Horário do dia 14/11	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Conversor analógico para digital
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EVA	Acetato-vinilo de etileno
GND	<i>Ground</i> ou terra
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultravioleta
VCC	Tensão de corrente contínua

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
mA	miliAmpere
mV	miliVolt
S	<i>Signal</i> ou sinal
V	Volt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	15
INTRODUÇÃO.....	15
1.1 TEMA DO PROJETO.....	16
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO.....	16
1.3 HIPÓTESES.....	17
1.4 OBJETIVOS	18
1.4.1 OBJETIVOS GERAIS	18
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.5 JUSTIFICATIVAS.....	18
1.6 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	19
1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
CAPÍTULO 2	20
REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	20
2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA	22
2.3 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO	23
2.4 ARDUINO MEGA2560.....	32
2.5 MICROSOFT VISUAL STUDIO COMMUNITY.....	34
2.6 SENSOR DE TENSÃO	35
2.7 SENSOR DE CORRENTE	36
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
CAPÍTULO 3	38
MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	38
3.2 METODOLOGIA	39
3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45

CAPÍTULO 4	46
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
4.1 SOFTWARE DESENVOLVIDO	46
4.2 TESTES COM FONTE.....	50
4.3 TESTES COM O PAINEL	57
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
CAPÍTULO 5	67
CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO E TRABALHOS FUTUROS ..	67
REFERÊNCIAS	69

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica aumenta cada vez mais e sabe-se que a maior parte dessa energia vem dos combustíveis fósseis, que estão cada dia mais escassos. O planeta encontra-se em um momento onde as energias renováveis estão sendo discutidas em inúmeras pautas como alternativa ao futuro esgotamento de alguns recursos. No Brasil a maior fonte de energia é gerada nas turbinas das hidrelétricas, e esse cenário pretende ser ocupado também pela energia fotovoltaica [1].

As pesquisas de energia proveniente da luz solar em sua maior parte estavam nas mãos de universidades e centros de pesquisas. As primeiras produções de módulos fotovoltaicos no Brasil ocorreram em meados de 1979, porém a energia térmica solar esteve mais presente por ter um custo menor e pouca tecnologia envolvida [2].

O painel fotovoltaico é constituído principalmente de um semicondutor, que geralmente é o silício. O Brasil possui uma das maiores reservas, e é um dos maiores produtores de silício bruto [1].

Em qualquer sistema de geração de energia existem perdas, não há um projeto perfeito e sem perdas. Esse fato não seria diferente com a geração fotovoltaica que apresenta aproveitamento de aproximadamente 13% como mostra a Tabela 1 [3].

Quadro 1 - Aproveitamento da radiação em células de silício cristalino

100%	Irradiação Solar Total
-3,0%	Reflexão e sombreamento dos contatos frontais
-23,0%	Fótons com energia insuficiente na Irradiância de ondas compridas
-32,0%	Fótons com energia excedente na Irradiância de ondas curtas
-8,5%	Recombinação de elétrons
-20,0%	Gradiente elétrica, especialmente na região do campo elétrico
-0,5%	Resistência em série (perdas térmicas na condução elétrica)
= 13,0%	Energia elétrica utilizável.

Fonte: [3].

A eficiência está relacionada também ao material com o qual as células são fabricadas. A Tabela 2 relaciona os vários tipos de materiais com as respectivas eficiências de geração.

Quadro 2 - Aproveitamento da radiação por tipo de célula fotovoltaica

Material	Eficiência em laboratório	Eficiência em produção	Eficiência em produção em série
Silício Mono	24,7%	18%	14%
Silício Poly	19,8%	15%	13%
Silício Amorfo	13%	10,5%	7,5%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
CdTe	16,4%	10%	9%

Fonte: [3], Adaptado.

Os sistemas de geração fotovoltaica podem ser isolados ou conectados à rede elétrica, autônomos (que usam somente a energia solar, e que podem ou não armazenar a energia gerada para períodos sem sol), e sistemas híbridos que combinam dois sistemas de geração como solar e eólica, por exemplo [3].

Após o estudo de projeto, é realizado o desenvolvimento, fabricação e a distribuição dos painéis. Quando chegam ao seu destino, são instalados por empresas com profissionais capacitados. Durante o seu funcionamento os painéis estão sujeitos a sofrerem danos e avarias, que aumentam a possibilidade de ocorrência de algumas falhas. Este trabalho visa desenvolver um sistema para detectar falhas, de modo que possa ser realizado um diagnóstico que leve a uma correção do problema do sistema [4].

1.1 TEMA DO PROJETO

Este projeto possui como tema a energia fotovoltaica.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

No processo de geração de energia fotovoltaica é possível que aconteçam falhas nas placas. Assim como nos grandes parques de geração, nos pequenos sistemas de geração de energia como os residenciais a diferença é logo notada e o impacto na potência gerada pode ser grande.

São vários os problemas que podem surgir nos sistemas de geração de energia fotovoltaica, dentre eles:

- Painéis cobertos por sujeira;
- Má disposição dos painéis que podem estar recebendo pouca radiação;

- Sujeira nos contatos elétricos dos painéis;
- Sombreamento das placas;
- Defeitos de fabricação.

Dentre vários problemas estes ocupam posição de destaque. Estes problemas acontecem por fatores naturais e também por instalação feita de forma incorreta.

Os problemas na geração de energia impactam diretamente os resultados econômicos, quando se trata de concessionárias que dependem da venda dessa energia e clientes residenciais que desejam reduzir gastos, e também as atividades que usam sistemas desconectados da rede elétrica e dependem exclusivamente da energia fotovoltaica.

Os problemas muitas vezes influenciam na decisão de implantar esse tipo de sistema, por isso torna-se necessário trazer eficiência e como consequência um aumento na viabilidade de utilização.

1.3 HIPÓTESES

Quando se conhece as principais causas de falhas nos painéis fotovoltaicos a correção se torna mais fácil, porém é necessário identificar quando essas falhas ocorrem, a partir de então é possível identificar o fator responsável pelo problema.

Para identificar as falhas no momento em que elas ocorrem é indispensável então que o sistema seja monitorado, e como as falhas podem ocorrer em uma ou mais placas, o ideal seria monitorá-las individualmente.

Então são levantadas as seguintes hipóteses:

- Monitorar a tensão para verificar se realmente há geração de energia;
- Monitorar a corrente para verificar se o circuito não está aberto, e se a luminosidade que incide no painel é suficiente;
- Monitorar a potência para verificar se realmente esse parâmetro se encontra próximo do esperado ou se há alguma insuficiência ocasionada por falhas.

O uso do monitoramento pode trazer várias possibilidades, como por exemplo:

- Maior velocidade na correção de problemas, ou seja, os problemas são corrigidos assim que são detectados;

- Maior chance de acerto quanto ao problema ocorrido;
- Elimina a necessidade de acesso aos painéis para medição de tensão e corrente, tudo pode ser feito de forma remota e computadorizada;
- Dados podem estar disponíveis na *Internet* e também acessados por dispositivos *mobile* e a partir de qualquer lugar;
- Possibilita também o monitoramento de estações implantadas em campo.

1.4 OBJETIVOS

O foco deste trabalho não é estudar os sistemas de geração em si, mas sim entender o funcionamento de cada painel de forma que seja possível detectar falhas que realmente ocorrem. Tudo isso com o intuito de poder utilizar essa detecção em sistemas conectados à rede elétrica ou não, e com ou sem armazenamento de energia.

1.4.1 OBJETIVOS GERAIS

Este projeto foi elaborado com a pretensão de detectar falhas em painéis, de modo que seja possível um posterior diagnóstico e correção do problema.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que se torne possível a concretização do projeto os objetivos específicos são:

- Desenvolvimento de um *software* de aquisição de dados que será executado em um computador;
- Desenvolvimento de um *software* para o microcontrolador escolhido, para que os dados sejam adquiridos por meio de sensores;
- Aplicação de sensores de tensão e corrente compatíveis com as características do projeto.

1.5 JUSTIFICATIVAS

O desenvolvimento desse projeto se justifica com a possibilidade de otimizar os pequenos sistemas de geração de energia fotovoltaica, como os residenciais urbanos e rurais, e também em áreas remotas que alimentam sensores e transmissores de dados.

Pensando em resolver esse tipo de problema alguns trabalhos foram desenvolvidos e inclusive um deles serviu como base para o desenvolvimento deste, porém é um sistema com

o mesmo intuito basicamente, difere deste pois opera de forma remota com um sistema que transmite os dados coletados [22].

Existem no mercado sistemas de monitoramento que inclusive se conectam com a Internet permitindo que a geração de energia seja monitorada remotamente, porém o sistema deste trabalho tem como foco o monitoramento de cada um dos painéis, enquanto o sistema disponível no mercado monitora diretamente o conjunto de painéis que está conectado ao inversor [27].

Assim como outros trabalhos serviram como base, esse trabalho surge com a intenção de que os conhecimentos sejam aprimorados e, no futuro, o processo de geração de energia fotovoltaica em pequenos sistemas se torne ainda mais eficiente, garantindo para as futuras gerações um mundo sustentável a custos mais acessíveis.

1.6 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

O primeiro capítulo descreve uma breve introdução sobre o conteúdo do trabalho e os objetivos. No segundo capítulo tem-se uma base teórica que permite o entendimento de todo o trabalho. No terceiro capítulo estão descritos os materiais e métodos indispensáveis para a execução do trabalho. No quarto capítulo se encontram os resultados e discussões. E no quinto capítulo encontra-se a conclusão de tudo que foi executado.

1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste capítulo é possível entender o que se pretende com este trabalho. O próximo capítulo traz toda a teoria necessária para o bom entendimento e execução do trabalho.

CAPÍTULO 2

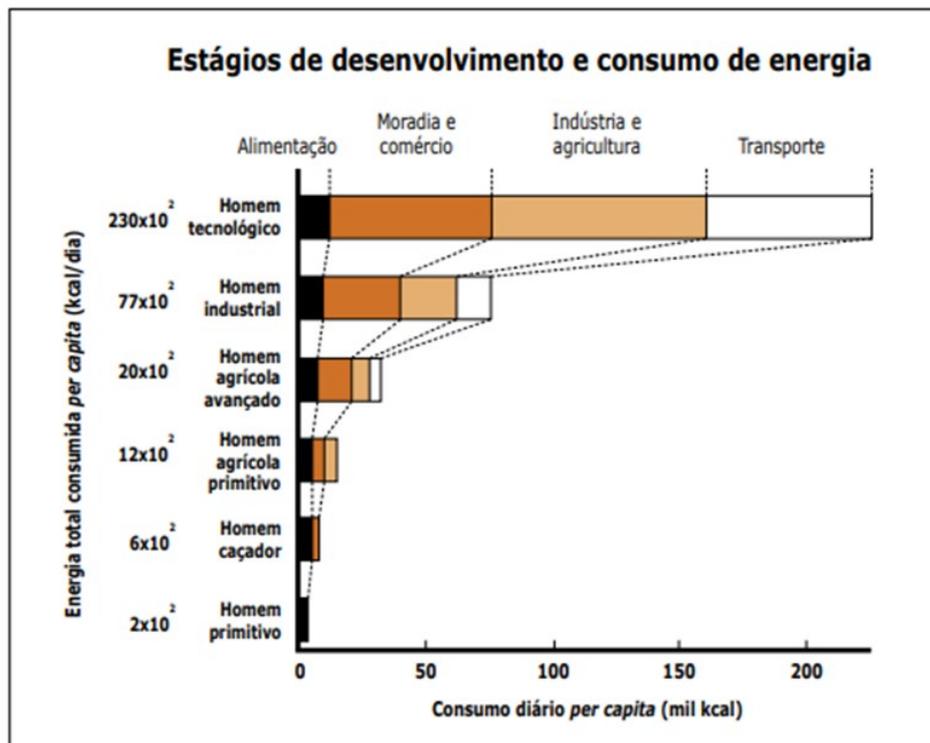
REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Mesmo nos tempos do homem primitivo a busca pela energia já se fazia necessária para que fosse possível a realização de várias tarefas. Desde então o homem já fazia uso de fogo, animais de tração, moinhos de vento e rodas d'água. Na sequência vieram energias oriundas de combustíveis fósseis e seus derivados [5].

No Gráfico 1 é possível verificar a crescente demanda por energia, conforme o homem e a sociedade foram se desenvolvendo.

Gráfico 1 - Consumo de energia por estágio



Fonte: [5].

Em um período de tempo a lenha foi amplamente utilizada, durante esse tempo não se pensava em preservação de recursos naturais, por isso grandes áreas foram devastadas para se obter lenha [5]. Com a revolução industrial vieram as máquinas a vapor, depois máquinas a combustão, máquinas elétricas, e por fim as máquinas nucleares. No entanto, o cenário atual depende cada vez mais de energia elétrica, nas residências, indústrias, setor de transportes, etc.

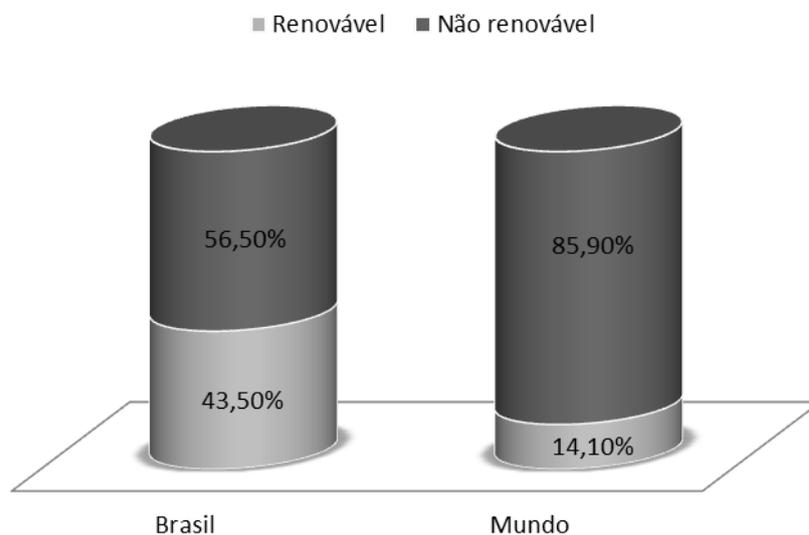
No ano de 2001, 80% da energia que foi consumida pelas atividades era oriunda de combustíveis fósseis, enquanto 7% era energia nuclear e apenas 13% de energias de fontes renováveis [5]. A humanidade está abrindo os olhos e já está vendo que as reservas estão se esgotando e o novo desafio é transformar as energias renováveis na principal fonte de energia consumida [1].

Por efeito do atual cenário que se aprimoraram os estudos de fontes de energias renováveis, um exemplo que vem se destacando é a energia solar, aproveitada através de conversão térmica que utiliza o calor proveniente do sol para aquecimento, e também conversão fotovoltaica, que obtém eletricidade através da luz do sol [1].

É importante citar também que cada tipo de energia provém de uma fonte diferente, e o conjunto dessas fontes é chamado de matriz energética. Há também a matriz elétrica que ao contrário da energética, mostra apenas as fontes de geração de energia elétrica [16].

Comparando as matrizes energéticas do Brasil e do mundo nota-se evidentemente que o uso de fontes renováveis no Brasil está acima da média mundial, como revela o Gráfico 2 [16].

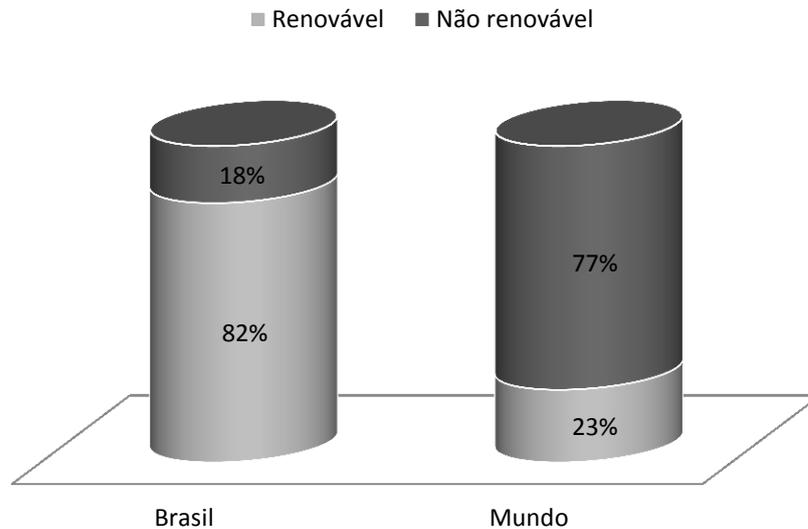
Gráfico 2 - Comparação dos tipos de fontes das matrizes energéticas



Fonte: [16], Adaptado.

De forma idêntica à que ocorre na matriz energética observa-se também que na matriz elétrica brasileira o uso de fontes renováveis no Brasil supera a média mundial, o Gráfico 3 mostra isso claramente [16].

Gráfico 3 - Comparação entre os tipos de fontes das matrizes elétricas



Fonte: [16], Adaptado.

Além de revelar que a maior parte da energia elétrica brasileira é gerada por fontes de recursos renováveis, nota-se que a emissão de gases de efeito estufa em geral é bem menor que no restante do mundo. A vantagem principal é que a cada dia diminui a chance de que o setor energético do país seja afetado pela escassez das fontes de combustíveis fósseis [16].

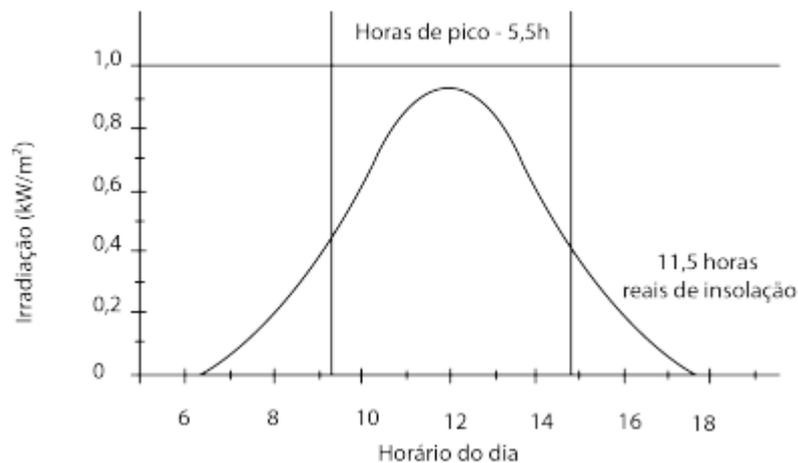
O foco deste trabalho é a energia fotovoltaica gerada em residências, e de acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no ano de 2015 girava em torno de 5437 sistemas de micro geração, onde 78% deste valor são sistemas residenciais. Existem algumas estimativas de que a energia fotovoltaica já cresceu 70% nos últimos dois anos e que até o ano de 2030 essa energia seja responsável 10% ou mais do valor de toda a matriz energética brasileira [17].

2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

Atualmente já é possível notar os avanços do mercado de energia solar, são várias empresas que já fazem a montagem de pequenos sistemas de geração para residências. A quantidade de energia proveniente do Sol é 10000 vezes maior que a demanda da humanidade, mas o seu aproveitamento não é feito de forma satisfatória principalmente devido a sua irregular distribuição por sobre o globo terrestre, o que limita algumas de suas aplicações à determinadas regiões. O Brasil é um país privilegiado devido a sua localização que recebe bastante emissão de radiação solar [1].

Para projetos comerciais é indispensável um estudo da radiação solar do local escolhido, esse estudo demanda algum tempo, de forma que consiga avaliar tudo em conjunto com as variações climáticas. Um exemplo desse estudo é o Gráfico 4 das horas de sol pico, que revela os horários onde a radiação incidente será maior e a geração de energia poderá atingir seu auge [3].

Gráfico 4 - Demonstrativo das horas de sol pico



Fonte: [3].

2.3 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

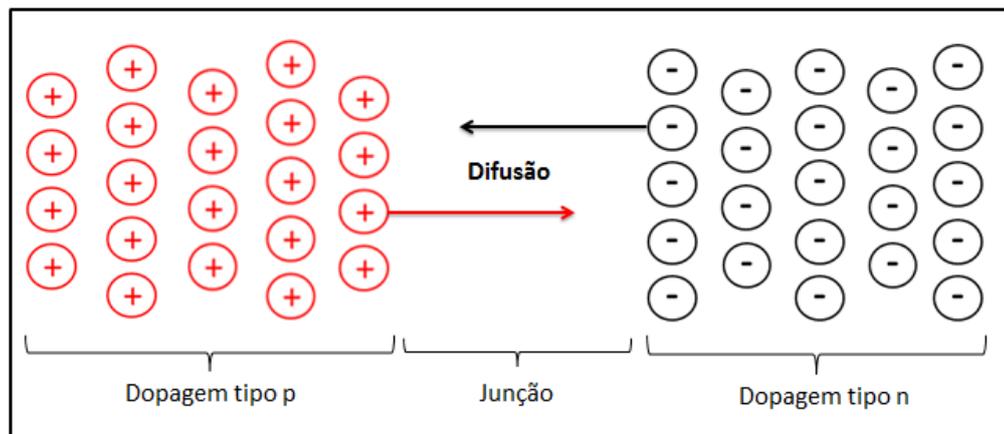
O painel fotovoltaico geralmente é feito de silício, porém pode ser fabricado com outro semicondutor. Esses materiais apresentam uma característica de terem seus elétrons excitados por fótons do espectro visível e com energia que satisfaça a excitação. Porém sem a dopagem necessária os elétrons voltam a se recombinar e não funcionam, portanto, como fotovoltaicos. Para que eles se comportem como tal é necessário que se faça uma dopagem do tipo p e outra do tipo n [3].

Para uma dopagem de tipo n, é misturado arsênio ou fósforo (que apresentam 5 elétrons na camada de valência) ao silício (que possui 4 elétrons na camada de valência), de modo que a incidência de uma baixa energia faça com que um dos elétrons do material dopante se liberte e pule para a banda de condução. Já na dopagem de tipo p, o material adicionado pode ser alumínio ou boro, que possuem 3 elétrons na camada de valência e

através de ligação covalente vão gerar uma lacuna, e com a incidência da energia um elétron tenderá a ocupar essa lacuna e causar uma movimentação desta [3].

Combinando então o material de dopagem tipo n com o material tipo p, a incidência de luz causará a liberação de vários de elétrons e lacunas que posteriormente irão criar uma corrente elétrica na área dessa junção [3]. A difusão desses elétrons e lacunas através da junção é mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Movimentação dos elétrons na junção

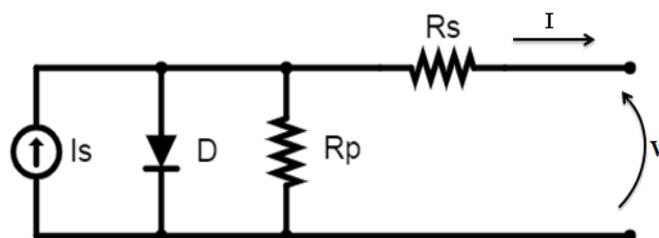


Fonte: [3], Adaptado.

As células de padrão comercial são capazes de gerar algo em torno de 0,46 a 0,56V com correntes que variam entre 1 até 7A. Para obter um painel que gere uma tensão de 12V são conectadas em média de 30 a 40 células. Os painéis construídos geralmente por maquinário automatizado recebem uma moldura de alumínio e são levados a um simulador para vários testes como os de resistência a intempéries [3].

As células fotovoltaicas podem ser modeladas como um circuito elétrico [20]. O circuito equivalente de uma célula fotovoltaica é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica



Fonte: [20], Adaptado.

Quando exposta à iluminação a célula funciona como uma fonte de corrente, já no escuro ela se comporta como um diodo. No circuito equivalente tem-se dois resistores [20]:

- R_p que é um resistor em paralelo e representa as perdas por correntes parasitas ocasionadas por imperfeições oriundas do processo de fabricação;
- R_s que é o resistor que está posicionado em série e representa a resistência dos condutores e conectores, essa resistência é responsável por algumas perdas de energia no sistema.

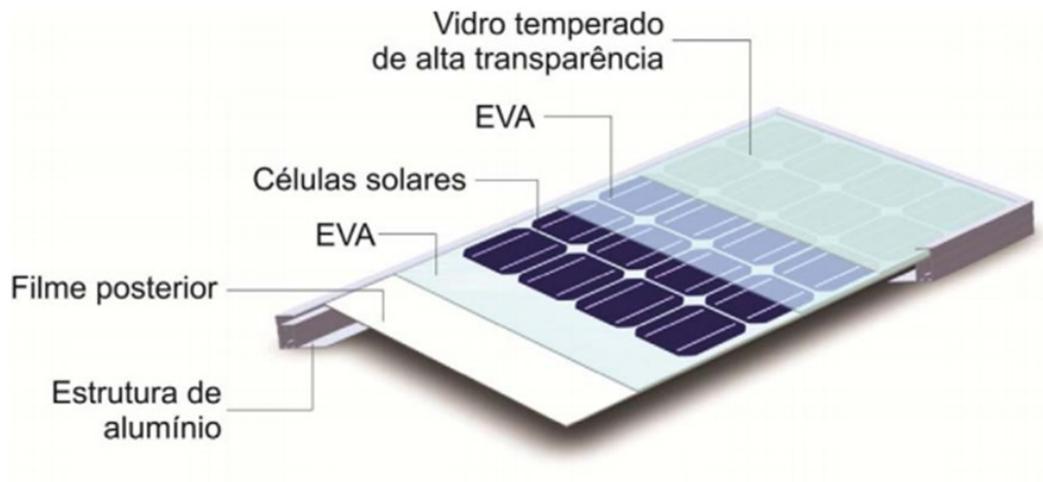
Devido ao seu local de instalação, os painéis fotovoltaicos estarão sempre expostos às intempéries que podem ocasionar destruição das células e/ou painéis. Por isso durante a construção são empregados alguns materiais com a intenção de aumentar a eficiência e também a proteção [18].

Durante a construção do painel, além das células fotovoltaicas, são usados os seguintes materiais [18]:

- Vidro, usado para proteger as células de chuvas de granizo, e construído com material antirreflexo para aumentar a absorção de luz;
- Filme de EVA (acetato-vinilo de etileno), usado para proteger a célula dos raios UV (ultravioleta), altas temperaturas e humidade;
- *Backsheet*, material plástico que é usado como isolante elétrico e também como protetor dos demais componentes do painel;
- Caixa de junção, usada para abrigar e interconectar eletricamente os arranjos de células fotovoltaicas;
- Moldura do painel, usada para dar firmeza ao painel e evitar que ele torça quando exposto a fortes ventanias. Dessa forma evita a quebra das células, que são bastante frágeis.

A Figura 3 mostra de forma simplificada a composição de um painel fotovoltaico e o posicionamento de seus componentes.

Figura 3 - Composição do painel fotovoltaico



Fonte: [19].

Resumidamente as etapas de fabricação dos painéis são descritas abaixo [18].

- Limpeza do vidro;
- Interconexão elétrica em série das células fotovoltaicas de modo a formar arranjos;
- Coleta, posicionamento e alinhamento das células interconectadas sobre o vidro e o filme de EVA, tudo feito de forma cuidadosa devido à fragilidade das células;
- Interconexão elétrica manual de arranjos de células, onde eles são conectados e soldados de forma a criar entre eles algumas conexões elétricas;
- A segunda camada de EVA é posicionada e logo em seguida recebe o *Backsheet*;
- O painel entra na laminadora para que o EVA seja fundido e se junta às células para protegê-las dos agentes externos;
- As bordas excedentes de EVA e *Backsheet* são removidas em um processo denominado corte de rebarba;
- Por fim são instaladas a caixa de junção e moldura do painel.

Após estas etapas de fabricação o painel é levado para testes que vão assegurar sua qualidade e pleno funcionamento, os painéis aprovados são separados de acordo com sua categoria de potência, embalados e prontos para serem vendidos e entregues [18].

Os painéis fabricados devem seguir normas e regulamentos tanto nacionais quanto internacionais [19]. A Tabela 3 mostra algumas dessas normas e regulamentos.

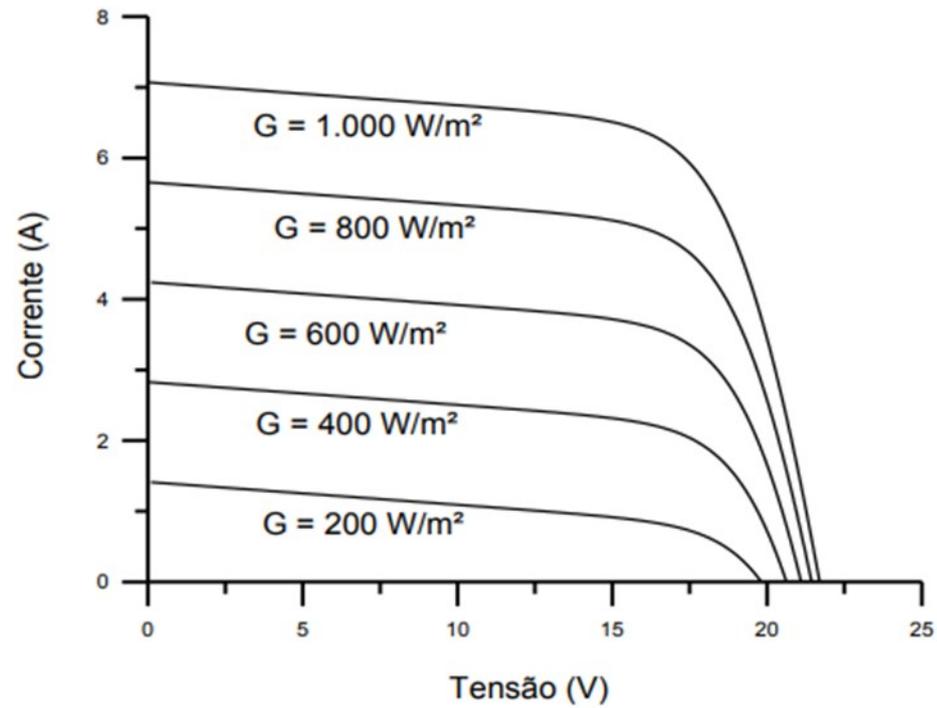
Quadro 3 - Normas e regulamentos para painéis fotovoltaicos

Org.	Código	Título	Descrição	Aplicação
IEC - International Electrotechnical Comissions	61215: 2005	Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval; Edition 2.0;	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos	Módulos de Silício monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si)
	61646: 2008	Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval; Edition 2.0;	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos	Módulos de filmes finos (a-Si, CdTe, CIGS, etc)
	61730-2: 2004	Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction; Part 2: Requirements for testing.	A Parte 2 estabelece ensaios para verificação da segurança elétrica e mecânica de módulos fotovoltaicos	Módulos fotovoltaicos
	61701: 2011	Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules; Edition 2.0	Estabelece o procedimento de ensaio da resistência de módulos fotovoltaicos à corrosão por névoa salina	Módulos fotovoltaicos
	62108: 2007	Concentrator photovoltaic (CPV) modules and assemblies - Design qualification and type approval; Edition 1.0	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos	Módulos fotovoltaicos com concentração
ABNT	NBR 11876:2010	Módulos Fotovoltaicos - Especificação; Segunda Edição	Estabelece requisitos e critérios de aceitação de módulos fotovoltaicos de uso terrestre	Módulos fotovoltaicos
INMETRO	Portaria nº 004, de 04 de janeiro de 2011;	Anexo - Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (Módulo, Controlador de Carga, Inversor e Bateria).	Especifica os procedimentos de ensaio para etiquetagem de módulos fotovoltaicos (e outros equipamentos)	Módulos fotovoltaicos (e outros equipamentos)

Fonte: [19], Adaptado.

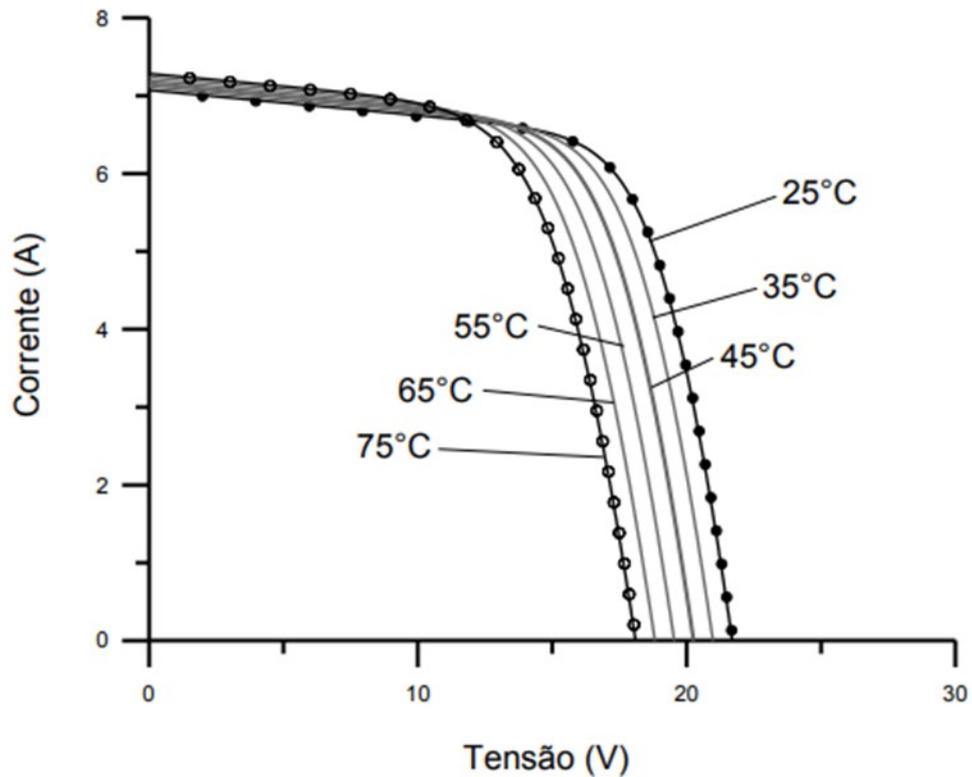
Os painéis apresentam alguns fatores que interferem diretamente na sua potência gerada, como a irradiância e a temperatura. A irradiância afeta a corrente gerada, de modo que quanto mais irradiância o painel recebe, mais corrente ele é capaz de gerar [19]. O Gráfico 5 demonstra isso com clareza.

Gráfico 5 - Efeito da irradiância nos painéis fotovoltaicos



Fonte: [19].

O aumento da temperatura no painel acarreta uma queda na tensão gerada e um leve aumento na corrente, porém esse pequeno aumento da corrente não é capaz de suprir as perdas causadas pela queda de tensão [19]. O Gráfico 6 mostra como a geração de tensão é influenciada pela temperatura.

Gráfico 6 - Influência da temperatura nos painéis fotovoltaicos

Fonte: [19].

Pela norma do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), os módulos comercializados no Brasil devem conter uma etiqueta com algumas especificações técnicas, e algumas etiquetas podem conter algumas informações adicionais [19]. A Tabela 4 mostra algumas dessas especificações contidas na etiqueta enquanto a Tabela 5 mostra alguns dados adicionais que podem constar na etiqueta.

Quadro 4 - Dados contidos na etiqueta

Informação	Significado ou importância da informação
Nome do fabricante	Identificação do responsável pela qualidade do módulo
Identificação do modelo	Pelo modelo pode-se identificar a folha de dados técnicos com informações sobre tecnologia, potência e tolerância
Número de série	O número de série é obrigatório para registro, qualificação, rastreabilidade e garantia do produto
Tensão máxima do sistema	Indica o maior valor de tensão de circuito aberto de um arranjo onde o módulo pode ser instalado
Tensão de circuito aberto (Voc)	Multiplicando-se Voc de cada módulo pelo número de módulos em série em um arranjo, obtém-se Voc do arranjo
Corrente de curto-circuito (Isc)	Multiplicando-se Isc de cada módulo pelo número de módulos em paralelo em um arranjo, obtém-se Isc do arranjo
Tensão de máxima potência (Vmp)	Multiplicando-se Vmp de cada módulo pelo número de módulos em série em um arranjo, obtém-se Vmp nominal do arranjo
Corrente de máxima potência (Imp)	Multiplicando-se Imp de cada módulo pelo número de módulos em paralelo em um arranjo, obtém-se Imp nominal do arranjo
Potência nas condições-padrão de ensaio (STC)	Potência máxima nominal do módulo nas condições de 1000 W/m ² , espectro AM 1,5 e temperatura de célula de 25°C
Temperatura nominal da célula nas condições de operação (NOCT)	Temperatura das células do módulo nas condições de irradiância de 800 W/m ² , temperatura ambiente de 20°C e velocidade do vento de 1 m/s

Fonte: [19], Adaptado.

Quadro 5 - Dados adicionais da etiqueta

Informação	Significado ou importância da informação
Potência nas condições de operação (Pmp)	Potência máxima do módulo nas condições de irradiância de 800 W/m ² , e temperatura de célula NOCT
Tensão de máxima potência nas condições de operação (Vmp)	Tensão no ponto de máxima potência do módulo, medida com o módulo sob irradiância de 800 W/m ² e temperatura NOCT
Corrente de máxima potência nas condições de operação (Imp)	Corrente no ponto de máxima potência do módulo, medida com o módulo sob irradiância de 800 W/m ² e temperatura NOCT
Coeficiente de temperatura para tensão	Coeficiente de variação da tensão de circuito aberto com a temperatura (β), em volts por grau Celsius
Coeficiente de temperatura para corrente	Coeficiente de variação da corrente de curto-circuito com a temperatura (α), em amperes por grau Celsius
Coeficiente de temperatura para potência	Coeficiente de variação da potência máxima do módulo com a temperatura (γ), em watts por grau Celsius
Dimensões externas	Dimensões de largura, comprimento e espessura do módulo, incluindo a moldura
Número de células	Número de células associadas no módulo
Tecnologia das células	Tipo de célula fotovoltaica e materiais envolvidos
Desenho indicando furações	Desenho com localização das perfurações da moldura, para instalação dos módulos em painéis

Fonte: [19], Adaptado.

Percebe-se então que existe uma série de parâmetros e normas que devem ser seguidas para o correto dimensionamento do sistema de geração [19].

Alguns dos principais componentes dos sistemas fotovoltaicos são [23]:

- Painéis fotovoltaicos cujo papel já foi anteriormente descrito;
- Controladores de carga que são responsáveis por equilibrar a carga das baterias, evitando sobrecargas ou descargas que podem prejudicar a bateria;
- Inversores que são responsáveis por transformar a tensão de corrente contínua gerada nos painéis em tensão de corrente alternada com amplitude compatível com os aparelhos e/ou a rede elétrica. Em sistemas conectados a rede é ele quem faz a sincronia entre as fases das tensões (gerada e a da rede);
- Baterias que armazenam parte da energia gerada para que ela possa ser utilizada nos momentos em que os painéis não estão recebendo luz solar.

Esta seção trouxe os conhecimentos necessários para o bom entendimento do funcionamento do painel fotovoltaico, já as seções seguintes descreverão os componentes que juntos compõem o sistema de detecção de falhas.

2.4 ARDUINO MEGA2560

Para que a falha seja detectada é preciso que a tensão e corrente de um painel sejam constantemente medidas, para tal é necessário sensores e um microcontrolador que fará a leitura e transmitirá os dados para o computador. O microcontrolador escolhido foi o Arduino devido ao seu uso em prototipação e seu excelente desempenho.

Arduino é uma plataforma de *hardware* livre que conta com um *software* próprio, esse conjunto permite uma fácil prototipação de alguns sistemas eletrônicos, o que torna seu uso interessante para os que estão apenas iniciando no mundo da eletrônica e da programação [6].

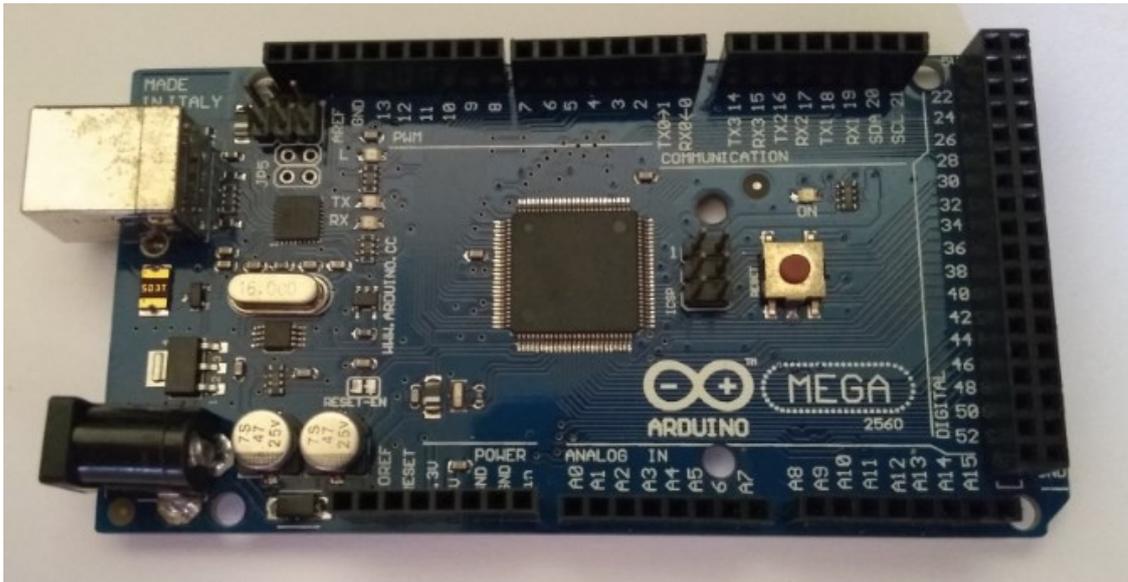
Atualmente, o Arduino vem sendo utilizado principalmente por pessoas que buscam criar seus projetos, seja por *hobby*, quanto por necessidade, ou até para fins comerciais. Por se tratar de um conjunto completo, basta apenas que o ambiente de desenvolvimento integrado esteja instalado na máquina onde se pretende trabalhar, pelo fato de que o *hardware* conta com um microcontrolador, interface serial USB, e algumas entradas e saídas digitais e as restantes analógicas [6].

No mercado encontra-se com facilidade diversos modelos para as mais variadas aplicações, como educação, internet das coisas e um segmento para quem desejar criar protótipos de *gadgets* vestíveis [7].

No próprio site do Arduino é possível encontrar alguns exemplos e tutoriais para que os usuários tenham suporte para aprender e desenvolver [8].

Dentre os variados modelos, o escolhido para o projeto é o Arduino MEGA2560 que conta com um microcontrolador ATmega2560, ele se destaca por possuir boa quantidade de portas, sendo 54 digitais que funcionam tanto para entrada quanto saída, e 16 portas analógicas de entrada, no entanto, apenas duas portas analógicas foram utilizadas neste trabalho [10]. A conversão dos sinais fica a cargo de um conversor A/D (analógico para digital) de 10 bits, obtendo 1024 possibilidades de valores, com uma resolução de 4,88mV para uma referência de 5V [9][10]. A Figura 4 ilustra um Arduino MEGA2560.

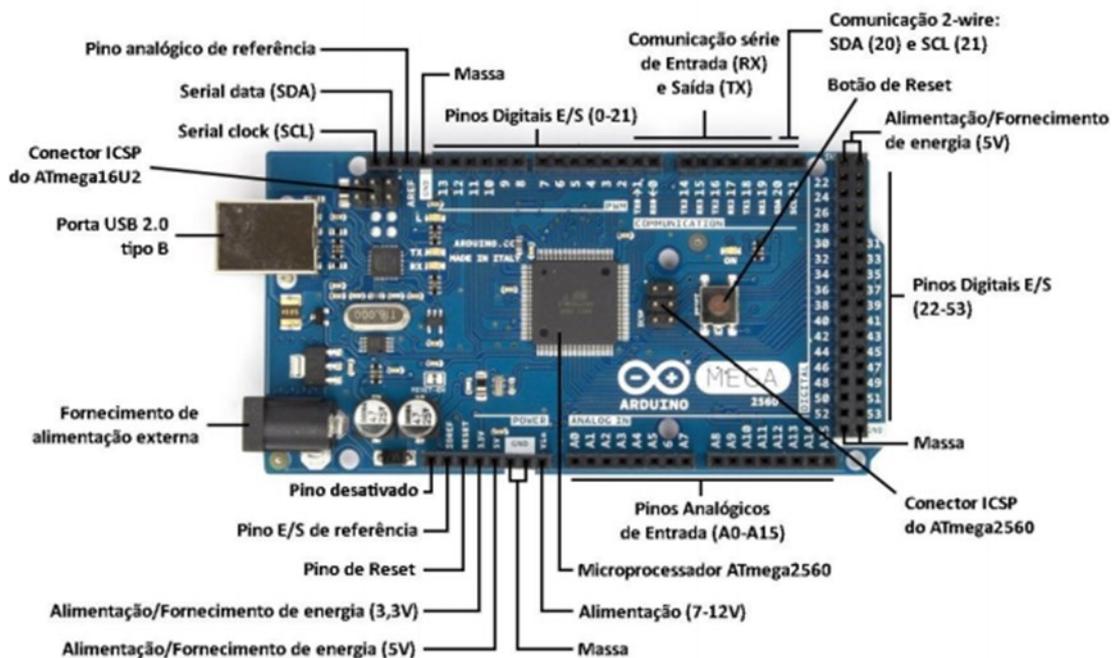
Figura 4 - Arduino MEGA2560



Fonte: O Autor.

Uma das vantagens do Arduino MEGA2560 é a possibilidade de ser alimentado com tensões de corrente contínua entre 7 a 12 V, pois conta com um regulador de tensão no seu *hardware*. A preferência por esse modelo se deve à uma maior quantidade de pinos, maior poder de processamento e maior memória. A figura 5 mostra a pinagem de um Arduino MEGA2560 e a tabela 6 compara o Arduino MEGA2560 com o Arduino Uno [21].

Figura 5 - Pinagem do Arduino MEGA2560



Fonte: [21].

Quadro 6 - Especificações técnicas dos Arduinos MEGA2560 e UNO

Características	Arduino Mega 2560 R3	Arduino Uno
Microcontrolador	ATmega2560	ATmega328
Velocidade de clock	16 MHz	16MHz
Tensão operacional	5V	5V
Tensão de entrada (recomendada)	7-12V	7-12V
Tensão de entrada (limite)	6-20V	6-20V
Pinos digitais de entrada/saída	54 (15 dos quais suportam um sinal de saída PWM)	14 (6 dos quais suportam um sinal de saída PWM)
Pinos analógicos de entrada	16	6
Corrente DC por pino de entrada/saída	40mA	40mA
Corrente DC no pino de 3,3V	50mA	50mA
Memória Flash	256 kB (dos quais 8 kB são utilizados pelo bootloader)	32 kB (dos quais 0,5 kB são utilizados pelo bootloader)
Memória SRAM	8 kB	2 kB
EEPROM	4 kB	1 kB
Dimensões	101,53 x 53,3 mm	68,6 x 53,4 mm

Fonte: [21], Adaptado.

Na próxima seção será comentado o *software* que foi usado para desenvolver a aplicação responsável por exibir na tela do computador os dados adquiridos pelo Arduino.

2.5 MICROSOFT VISUAL STUDIO COMMUNITY

O Visual Studio Community é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), disponibilizado gratuitamente pela Microsoft para usuários que pretendem colocar em prática seus projetos, desde que não sejam projetos de caráter corporativo [11].

Esse *software* se torna indispensável ao trabalho pois é por meio dele que a aplicação para o computador será desenvolvida.

Essa IDE dá ao usuário liberdade para desenvolver variados tipos de projetos, como aplicações web, mobile, jogos e programas para o próprio Windows. O desenvolvimento é feito utilizando linguagens como C#, .NET, entre outras [11].

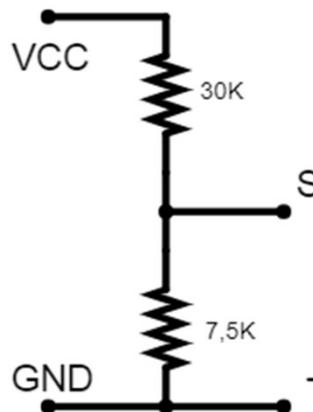
Acima de tudo o Visual Studio possui uma interface amigável, sistema de sugestão, correção e teste de códigos, controle de versões, e pode ser personalizado de acordo com o desejo do desenvolvedor [11].

A Microsoft disponibiliza também algumas versões mais robustas do Visual Studio para aqueles que desejam desenvolver produtos para o mercado, incluindo várias funcionalidades que agregam enorme produtividade [12].

2.6 SENSOR DE TENSÃO

Para que seja mensurada a tensão de um painel fotovoltaico se faz necessário o uso de um sensor de tensão de corrente contínua conectado à uma das portas analógicas do Arduino. Esse sensor tem a capacidade de medir tensões que vão de 0 a 25 Volts, visto que cada entrada do Arduino recebe tensões de até 5 Volts, o sensor portanto se baseia em um divisor de tensão de escala 5:1 como pode ser notado na Figura 6 [13].

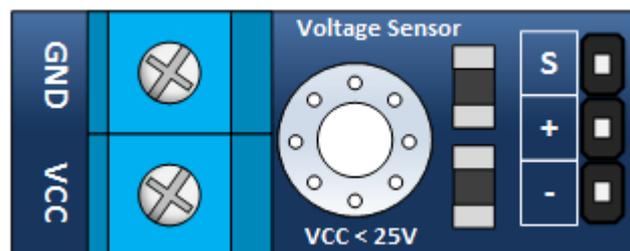
Figura 6 - Divisor de tensão do sensor



Fonte: [13], Adaptado.

A Figura 7 é meramente ilustrativa e representa o corpo do sensor de tensão.

Figura 7 – Sensor de tensão



Fonte: [13].

Na Figura 7, que foi mostrada acima, é possível notar a presença de cinco pinos, e suas respectivas conexões são [13]:

- GND – Conectado ao polo negativo do painel fotovoltaico;

- VCC – Conectado ao polo positivo do painel fotovoltaico;
- S – Conectado à porta analógica que fara a leitura no Arduino;
- + – Não é conectado a nada;
- - – Ligado a uma porta GND do Arduino.

A porta analógica que fara a leitura deverá ser previamente definida no código que será escrito e gravado no Arduino.

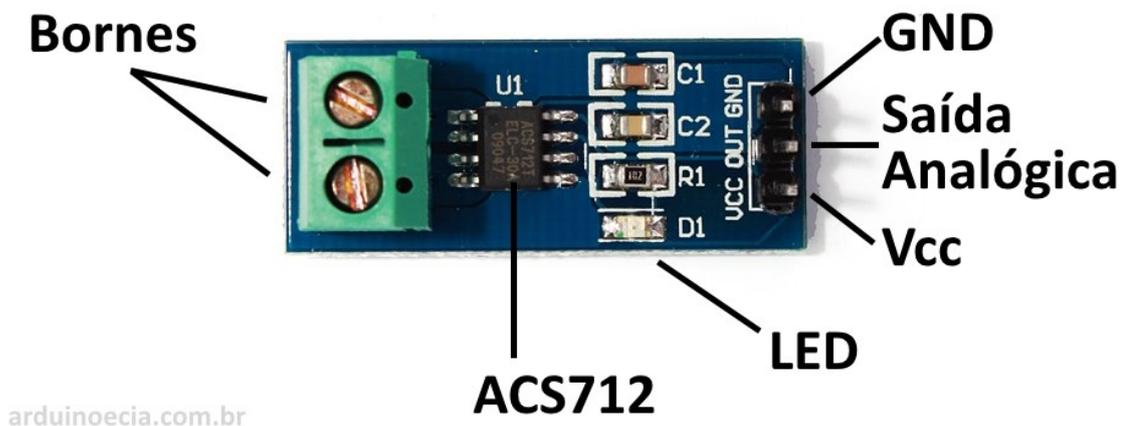
2.7 SENSOR DE CORRENTE

De forma semelhante ao sensor de tensão, o sensor de corrente também precisa ser conectado à uma porta analógica do Arduino, porém seu processo de medição se baseia no efeito Hall [14].

O sensor utilizado conta um chip embarcado de numeração (ACS712ELCTR-30A-T) capaz de medir correntes de até 30A com uma sensibilidade de 66mv/A [15].

O sensor utilizado é indicado na Figura 8.

Figura 8 - Sensor de corrente



arduinoecia.com.br

Fonte: [14].

As conexões feitas pelos pinos do sensor da figura 8, mostrada acima, são [14]:

- Bornes – Conectados ao fio por onde flui a corrente a ser medida;
- GND – Conectado a uma porta GND do Arduino;
- VCC – Conectado a uma porta 5V do Arduino;

- OUT – Conectado à porta analógica que fara a leitura no Arduino;

2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo trouxe uma base de conhecimentos que se farão necessários para o desenvolvimento dos capítulos seguintes, dos desenvolvimentos e testes deste trabalho. O capítulo a seguir faz uma explicação dos materiais necessários e dos procedimentos de execução do trabalho.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Tendo os conhecimentos adquiridos, por meio das referências, foi feito um levantamento dos materiais necessários para a montagem do protótipo aqui proposto, onde destacam-se:

- Um computador pessoal;
- *Software* Visual Studio Community da Microsoft;
- IDE específica do Arduino;
- Um Arduino MEGA2560;
- Um sensor de tensão;
- Um sensor de corrente;
- Um painel fotovoltaico Komaes KM(P)20;
- Cabo USB para Arduino;
- Uma fonte de tensão regulável;
- Fios e jumpers para as conexões elétricas.

A fonte regulável de corrente contínua foi utilizada para simular um painel fotovoltaico, durante testes iniciais para a coleta de dados com o intuito de verificar a capacidade de diagnóstico que o *software* deve apresentar.

O Quadro 7 apresenta os custos dos materiais utilizados durante a realização deste trabalho.

Quadro 7 - Custos dos materiais

Material	Valor
Computador pessoal	R\$ 2.250,00
Visual Studio Community	-
IDE do Arduino	-
Arduino MEGA2560	R\$ 98,00
Sensor de tensão	R\$ 10,50
Sensor de corrente	R\$ 19,90
Painel fotovoltaico Komaes KM(P)20	R\$ 128,65
Cabo USB para Arduino	R\$ -
Fonte de tensão regulável	R\$ -
Fios e jumpers	R\$ 15,00
Total	R\$ 2.522,05

Fonte: O Autor.

3.2 METODOLOGIA

Por meio do referencial teórico foi possível entender o funcionamento de um painel fotovoltaico, tendo conhecimento dos seus princípios de funcionamento, e visando a detecção de falhas, conforme proposto, iniciou-se o projeto com o desenvolvimento de um *software* usando a IDE do *Visual Studio Community* da *Microsoft*. Esse *software* deverá ser capaz de ler, através da porta USB, os dados adquiridos pelos sensores conectados ao Arduino e a placa fotovoltaica, e ainda apresentar uma interface gráfica de fácil entendimento dos dados apresentados.

O Arduino estará conectado ao computador através de uma porta USB e os dados serão transmitidos usando uma comunicação serial. Para que o Arduino seja capaz de efetuar a leitura da tensão e corrente do painel fotovoltaico um código será planejado, escrito e carregado para a memória do Arduino, usando a IDE exclusiva para este microcontrolador.

Os sensores serão conectados ao painel fotovoltaico e aos pinos analógicos do Arduino.

Com os *softwares* do computador e do Arduino prontos e em pleno funcionamento, cabos conectados e conexões elétricas feitas os testes serão iniciados. O sistema deverá ter a capacidade de verificar os momentos em que, mesmo havendo incidência de luz no painel, a tensão e a corrente que são geradas não estão dentro das normalidades e, portanto, o painel apresenta falha na geração. Como base para essa averiguação, serão usadas as especificações

de tensão e corrente do pequeno painel fotovoltaico, cujas especificações são mostradas na Figura 9, que ilustra a placa de identificação do mesmo.

Figura 9 – Placa de identificação do painel

		
Model No.:		KM(P)20
Peak Power	(Pmax):	20W
Maximum Power Current	(Imp):	1.14A
Maximum Power Voltage	(Vmp):	17.56V
Short-Circuit Current	(Isc):	1.23A
Open-Circuit Voltage	(Voc):	21.56V
Power Tolerance:		± 5 %
Application Class:		A
Weight:		2.3KG
Dimension	(mm):	500x350x25
Maximum System Voltage:		750 V
All technical data at standard test condition AM=1.5 E=1000W/m ² Tc=25°C		
WARNING ELECTRICAL HAZARD THIS UNIT PRODUCES DC ELECTRICITY WHEN EXPOSED TO LIGHT. COVER GLASS BEFORE REMOVING TERMINAL JUNCTION BOX LID.		
     		
NINGBO KOMAES SOLAR TECHNOLOGY CO.,LTD www.komaes-solar.com		

Fonte: O Autor

A Figura 10, apresentada a seguir, é uma imagem do painel solar fotovoltaico utilizado neste trabalho.

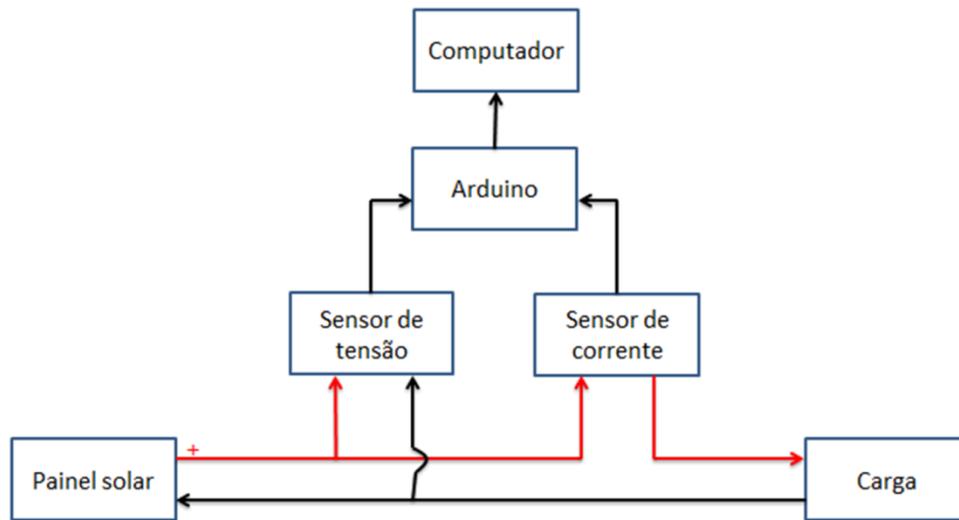
Figura 10 - Imagem do painel fotovoltaico



Fonte: O Autor.

Conforme os testes foram sendo executados os dados foram coletados e organizados para melhor compreensão e facilidade para se chegar a uma conclusão satisfatória, a respeito do funcionamento do painel fotovoltaico e do *software* desenvolvido.

A Figura 11 mostra de forma simplificada as conexões elétricas que foram feitas para a coleta dos dados.

Figura 11 - Conexões elétricas

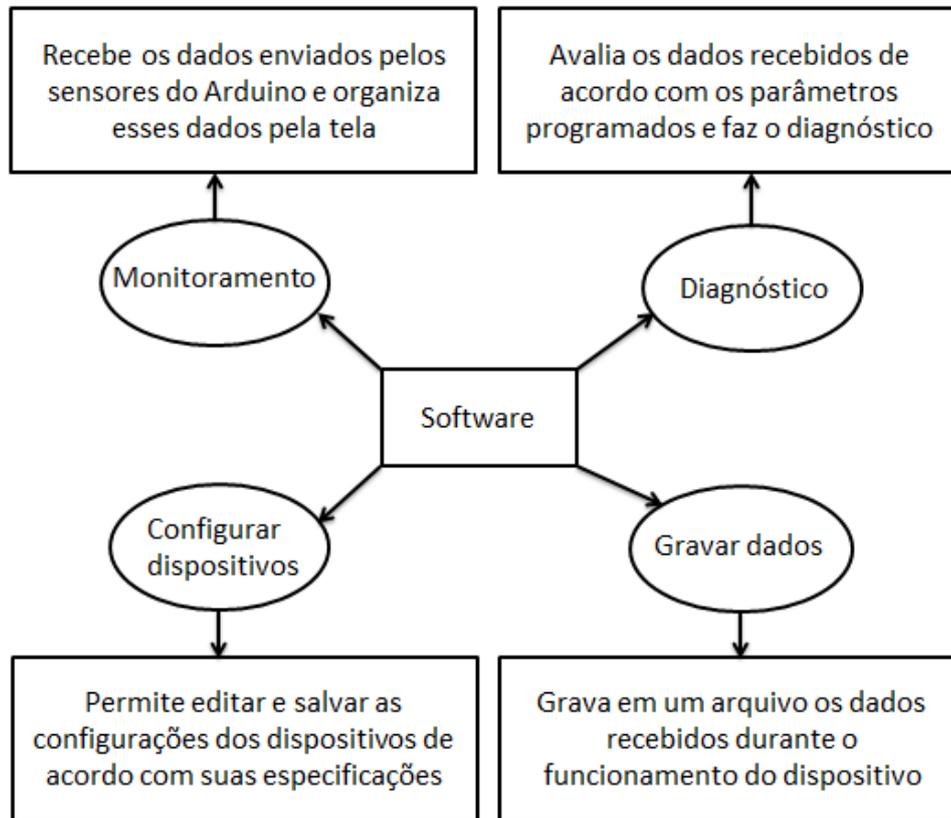
Fonte: O Autor.

A operação do *software* desenvolvido se baseia em quatro funções básicas sendo elas:

- Monitoramento dos painéis;
- Diagnóstico a respeito do funcionamento;
- Configuração de dispositivos;
- Gravação de dados.

A Figura 12 traz mais informações sobre cada uma das quatro funções acima descritas.

Figura 12 - Funções básicas do *software*



Fonte: O Autor.

A função de monitoramento recebe os valores de tensão e corrente, esses valores são mensurados pelo Arduino nos dispositivos conectados, e dispõe esses valores na tela de forma organizada para que o usuário possa visualizar.

A função de configuração de dispositivos recebe do usuário os parâmetros de tensão e corrente de funcionamento dos mesmos, o nome para possibilitar a identificação e informa ainda se este está ativo ou não.

A função de diagnóstico avalia os dados recebidos pelo sistema de acordo com alguns parâmetros definidos durante a programação, e os dados de configuração dos dispositivos inseridos pelo usuário, retornando mensagens que mostram o comportamento do dispositivo naquele momento.

Os parâmetros de diagnóstico são meras estimativas que serão usadas apenas para efeitos de testes, uma vez que, não existem parâmetros definidos para tal, e principalmente pela necessidade de pesquisa em laboratório especializado para que se definam parâmetros

definitivos e confiáveis. Definiram-se os seguintes parâmetros, com margem de erro de 5% para erros de leitura:

- Quando a tensão lida tem valor acima de 70% do valor da tensão máxima do dispositivo o sistema exibe a mensagem “PAINEL FUNCIONANDO SATISFATORIAMENTE”;

- Quando a tensão lida tem valor entre 70% e 50% do valor da tensão máxima do dispositivo, o sistema exibe a mensagem “PAINEL SUJO, SOMBREADO OU CÉU NUBLADO”;

- Quando a tensão lida tem valor entre 50% e 5% do valor da tensão máxima do dispositivo, o sistema exibe a mensagem “PAINEL SOMBREADO”;

- Quando a tensão lida tem valor abaixo de 5% do valor da tensão máxima do dispositivo, o sistema exibe a mensagem “PAINEL SOMBREADO, DESCONECTADO OU HORÁRIO COM POUCA LUZ”;

Para esse projeto considerou-se que a carga funcionará com máxima potência que o painel puder fornecer, portanto, a corrente também foi avaliada e seus parâmetros estão apresentados abaixo:

- Quando a corrente lida tem valor acima de 50% do valor da corrente máxima do dispositivo, o sistema exibe a mensagem “PAINEL FUNCIONANDO SATISFATORIAMENTE”;

- Quando a corrente lida tem valor entre 50% e 5% do valor da corrente máxima do dispositivo, o sistema exibe a mensagem “PAINEL SUJO, SOMBREADO OU CÉU NUBLADO”;

- Quando a corrente lida tem valor abaixo de 5% do valor da corrente máxima do dispositivo, o sistema exibe a mensagem “PAINEL DESCONECTADO OU HORÁRIO COM POUCA LUZ”;

A função responsável pela gravação dos dados permite que se escolha um ou mais dispositivos, e durante a execução do *software* os dados de funcionamento desses dispositivos são gravados em um arquivo de texto para uso posterior como, por exemplo, a geração do gráfico de horas de sol pico.

A fonte de tensão regulável foi utilizada apenas para testar a lógica de diagnóstico do *software* e assegurar o funcionamento da leitura, transmissão e recepção dos dados entre o Arduino e o *software*.

Sabe-se que o painel fotovoltaico deve ser instalado com a face virada para o norte e o ângulo de inclinação do painel é preferencialmente o mesmo ângulo da latitude do local onde ele será instalado [24]. Durante os testes o painel esteve instalado na cidade de Vazante, município do noroeste do estado de Minas Gerais, onde a latitude é de 17° 59' 13" S [25]. Portanto, o painel estava posicionado verticalmente, com a face virada para o norte e com angulação de 17°.

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intuito deste capítulo foi apresentar todos os materiais e etapas necessárias para colocar em prática os testes que permitiram chegar a uma conclusão acerca do trabalho. O capítulo seguinte foi escrito com a pretensão de discutir e apresentar os resultados obtidos.

CAPÍTULO 4

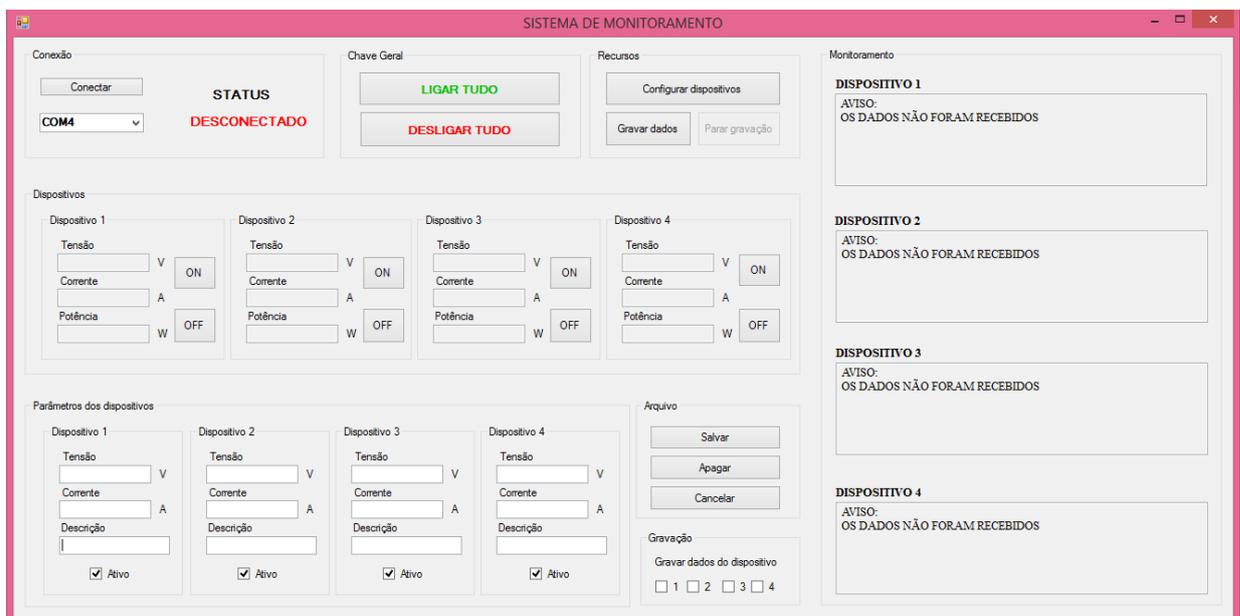
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante toda a execução deste trabalho, ou seja, o processo do desenvolvimento do *software*, os testes efetuados usando a fonte de tensão regulável, e aqueles realizados com o painel fotovoltaico.

4.1 SOFTWARE DESENVOLVIDO

O primeiro resultado deste trabalho foi a conclusão do desenvolvimento do *software*, que evidentemente é a parte principal. A interface desenvolvida será apresentada na Figura 13, e cada uma das partes da interface será explicada na sequência.

Figura 13 - Interface do *software*



Fonte: O Autor.

O painel de conexão do sistema é exibido na Figura 14, onde indica-se a porta serial com a qual o Arduino está se comunicando com o computador, e o botão “Conectar” estabelece a comunicação entre o Arduino e o sistema. O *software* foi desenvolvido para monitorar até quatro dispositivos desde que eles estejam conectados ao mesmo Arduino.

Figura 14 - Painel de conexão



Fonte: O Autor.

O painel dos dispositivos é exibido na Figura 15 onde podem ser visualizados os dados das leituras dos sensores de tensão e corrente, que previamente foram enviados ao sistema pelo Arduino.

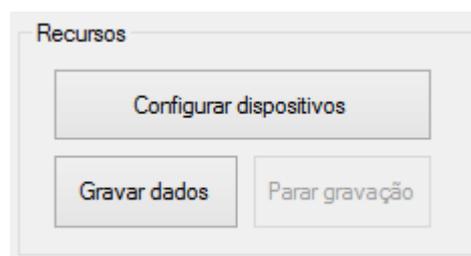
Figura 15 - Painel dispositivos



Fonte: O Autor.

Os painéis de recursos, arquivo e gravação são exibidos nas Figuras 16 e 17 respectivamente. O painel de recursos é responsável por ativar o painel dos parâmetros de dispositivos que será comentado a seguir, já o painel de arquivo permite salvar os dados dos parâmetros dos dispositivos e o painel de gravação permite selecionar os dispositivos que serão as fontes dos dados a serem gravados.

Figura 16 - Painel recursos



Fonte: O Autor.

Figura 17 - Painéis arquivo e gravação

The image shows two panels. The top panel, titled 'Arquivo', contains three buttons stacked vertically: 'Salvar', 'Apagar', and 'Cancelar'. The bottom panel, titled 'Gravação', contains a label 'Gravar dados do dispositivo' and four checkboxes labeled '1', '2', '3', and '4'.

Fonte: O Autor.

O painel de parâmetros dos dispositivos que foi citado acima está ilustrado na Figura 18. Esse painel é responsável por receber do usuário os dados de funcionamento do dispositivo, como tensão e corrente máxima, que no caso dos painéis estão escritos na etiqueta que vem colada na parte traseira, e também um nome para que o usuário possa identificar o dispositivo. Há ainda um *checkbox* que quando marcado informa ao sistema que a função de diagnóstico está habilitada para aquele dispositivo.

Figura 18 - Painel de parâmetros

The image shows a panel titled 'Parâmetros dos dispositivos' with four columns for 'Dispositivo 1', 'Dispositivo 2', 'Dispositivo 3', and 'Dispositivo 4'. Each column contains three input fields: 'Tensão' (with a 'V' unit), 'Corrente' (with an 'A' unit), and 'Descrição'. Below each column is a checkbox labeled 'Ativo'.

Fonte: O Autor.

O painel de diagnóstico está ilustrado na Figura 19, que irá mostrar ao usuário as mensagens geradas pela função que faz o diagnóstico dos dados recebidos. Quando nenhum dado for recebido, a mensagem informada será “OS DADOS AINDA NÃO FORAM RECEBIDOS”, e para os dispositivos que não foram marcados como ativos a mensagem exibida será “DISPOSITIVO INATIVO”.

Figura 19 - Painel de diagnóstico



Fonte: O Autor.

Visualiza-se na interface alguns botões de comando “liga” e “desliga”, esses botões encontram-se desativados, eles foram adicionados à interface com o intuito de criar uma nova funcionalidade no futuro, funcionalidade esta que permitiria desligar e isolar eletricamente dispositivos com problemas, para evitar que eles interfiram no restante do arranjo e prejudiquem a geração de energia.

4.2 TESTES COM FONTE

Para essa etapa de testes foi utilizada a fonte de tensão regulável de 1,5 a 35V e corrente máxima de 1A, que foi desenvolvida pelo autor em trabalhos de graduação anteriores. O código que faz a leitura dos dados dos sensores foi desenvolvido e carregado para a memória do Arduino. As conexões foram feitas sendo que o sensor de tensão foi conectado à porta analógica A1 e o sensor de corrente conectado à porta A2.

As conexões elétricas foram realizadas de forma anteriormente ilustrada na Figura 11, porém substituindo o painel pela fonte.

A fonte foi utilizada com o intuito de verificar a reação do sistema, mediante as quedas de tensão, de tal maneira que possa ser observado a mudança nas mensagens exibidas no painel de diagnóstico, e assegurando-se que a mensagem correta para cada tipo de situação esteja sendo exibida. Esta foi uma forma eficaz de testar a lógica de programação com rapidez e confiabilidade, simulando vários tipos de cenário e problemas que realmente possam ocorrer com painéis.

Dando início aos testes, o Arduino foi conectado à porta USB, no painel de conexão do *software* selecionou-se a porta serial “COM3”, porta na qual ele se comunicava com o computador e abriu-se a conexão com o microcontrolador, esse procedimento está ilustrado na Figura 20. Na sequência definiu-se que o valor de tensão máximo para a fonte seria de 12V, ou seja, tensão esta compatível com a carga. Para efeito de testes definiu-se o valor de 0,6A para a corrente máxima da fonte. A carga foi conectada e foram simuladas algumas situações.

Figura 20 - Conexão com o Arduino



Fonte: O Autor.

As Figuras 21, 22 e 23 ilustram a primeira situação, onde a fonte é regulada com uma tensão próxima de 12V, e a corrente está em um valor razoável de 0,6A, simulando assim, uma situação normal de funcionamento. A Figura 21 mostra o painel com as configurações, e as Figuras 22 e 23 mostram os painéis de monitoramento e diagnóstico respectivamente.

Figura 21 - Parâmetros da fonte

Parâmetros dos dispositivos

Dispositivo 1	Dispositivo 2
Tensão 12 V	Tensão V
Corrente 0,6 A	Corrente A
Descrição Fonte	Descrição
<input checked="" type="checkbox"/> Ativo	<input type="checkbox"/> Ativo

Fonte: O Autor.

Figura 22 - Dados do primeiro teste

Dispositivos

Dispositivo 1	Dispositivo 2
Tensão 11,33 V	Tensão V
Corrente 0,44 A	Corrente A
Potência 4,9852 W	Potência W
ON	ON
OFF	OFF

Fonte: O Autor.

Figura 23 - Diagnóstico do primeiro teste

Monitoramento

DISPOSITIVO 1

DIAGNÓSTICO DE TENSÃO:
PAINEL FUNCIONANDO SATISFATORIAMENTE
DIAGNÓSTICO DE CORRENTE:
PAINEL FUNCIONANDO SATISFATORIAMENTE

DISPOSITIVO 2

AVISO:
OS DADOS NÃO FORAM RECEBIDOS

Fonte: O Autor.

O segundo teste simula a situação em que a tensão “do painel” está entre 50% e 70% do valor da tensão máxima que ele conseguiria gerar, nesse caso como a fonte estava configurada para 12V, a tensão lida deveria estar entre 6 e 8,4V, portanto, a tensão da fonte foi regulada para um valor dentro deste intervalo e os resultados obtidos podem ser vistos nas Figuras 24 e 25 a seguir.

Figura 24 - Dados do segundo teste

Dispositivos

Dispositivo 1		Dispositivo 2	
Tensão	7,79 V	Tensão	ON
Corrente	0,30 A	Corrente	A
Potência	2,337 W	Potência	OFF

Fonte: O Autor.

Figura 25 - Diagnóstico do segundo teste

Monitoramento

DISPOSITIVO 1

DIAGNÓSTICO DE TENSÃO:
PAINEL SUJO, SOMBREADO OU CÉU NUBLADO
DIAGNÓSTICO DE CORRENTE:
PAINEL FUNCIONANDO SATISFATORIAMENTE

DISPOSITIVO 2

AVISO:
OS DADOS NÃO FORAM RECEBIDOS

Fonte: O Autor.

O terceiro teste simula a situação em que a tensão do painel está entre 5% e 50% do valor da tensão máxima que ele conseguiria gerar. Nesse caso, a tensão da fonte deveria estar entre 0,6 e 6V, sendo então regulada para um valor dentro deste intervalo, e os resultados obtidos podem ser vistos nas Figuras 26 e 27 a seguir.

Figura 26 - Dados do terceiro teste

Dispositivos

Dispositivo 1		Dispositivo 2	
Tensão	5,93 V	Tensão	V
Corrente	0,30 A	Corrente	A
Potência	1,779 W	Potência	W
	ON		ON
	OFF		OFF

Fonte: O Autor.

Figura 27 - Diagnóstico do terceiro teste

Monitoramento

DISPOSITIVO 1

DIAGNÓSTICO DE TENSÃO:
PAINEL SOMBREADO
DIAGNÓSTICO DE CORRENTE:
PAINEL FUNCIONANDO SATISFATORIAMENTE

DISPOSITIVO 2

AVISO:
OS DADOS NÃO FORAM RECEBIDOS

Fonte: O Autor.

O quarto teste simula a situação em que a tensão do painel está abaixo de 5% do valor da tensão máxima, nesse caso a fonte deveria ser ajustada para um valor abaixo 0,6V, optou-se por desligá-la, para que fosse obtido um valor que satisfizesse essa condição. Os resultados obtidos podem ser vistos nas Figuras 28 e 29 a seguir.

Figura 28 - Dados do quarto teste

Dispositivos

Dispositivo 1		Dispositivo 2	
Tensão	0,00 V	Tensão	V
Corrente	0,00 A	Corrente	A
Potência	0 W	Potência	W
	ON		ON
	OFF		OFF

Fonte: O Autor.

Figura 29 - Diagnóstico do quarto teste

Monitoramento

DISPOSITIVO 1

DIAGNÓSTICO DE TENSÃO:
PAINEL SOMBREADO, DESCONECTADO OU HORÁRIO COM POUCA LUZ

DIAGNÓSTICO DE CORRENTE:
PAINEL DESCONECTADO OU HORÁRIO COM POUCA LUZ

DISPOSITIVO 2

AVISO:
OS DADOS NÃO FORAM RECEBIDOS

Fonte: O Autor.

Por meio das Figuras 28 e 29 foi possível observar o que aconteceu em uma situação de desconexão da parte elétrica de um painel, essa situação afeta a tensão e também a corrente, isso reforça a importância de avaliar o comportamento do painel de acordo com a corrente que ele está gerando.

O quinto teste simula a situação em que a corrente do painel está entre 5% e 50% do valor da corrente máxima que ele conseguiria gerar. Nesse caso, como a fonte estava configurada para 0,6A, a corrente lida deveria estar entre 0,3 e 0,30A, portanto, parte da carga foi desconectada para se obter um valor dentro deste intervalo de corrente e os resultados obtidos podem ser vistos nas Figuras 30 e 31 a seguir.

Figura 30 - Dados do quinto teste

Dispositivos

Dispositivo 1

Tensão
11,74 V ON

Corrente
0,15 A

Potência
1,761 W OFF

Dispositivo 2

Tensão
V ON

Corrente
A

Potência
W OFF

Fonte: O Autor.

Figura 31 - Diagnóstico do quinto teste

Monitoramento

DISPOSITIVO 1

DIAGNÓSTICO DE TENSÃO:
PAINEL FUNCIONANDO SATISFATORIAMENTE
DIAGNÓSTICO DE CORRENTE:
PAINEL SUJO, SOMBREADO OU CÉU NUBLADO

DISPOSITIVO 2

AVISO:
OS DADOS NÃO FORAM RECEBIDOS

Fonte: O Autor.

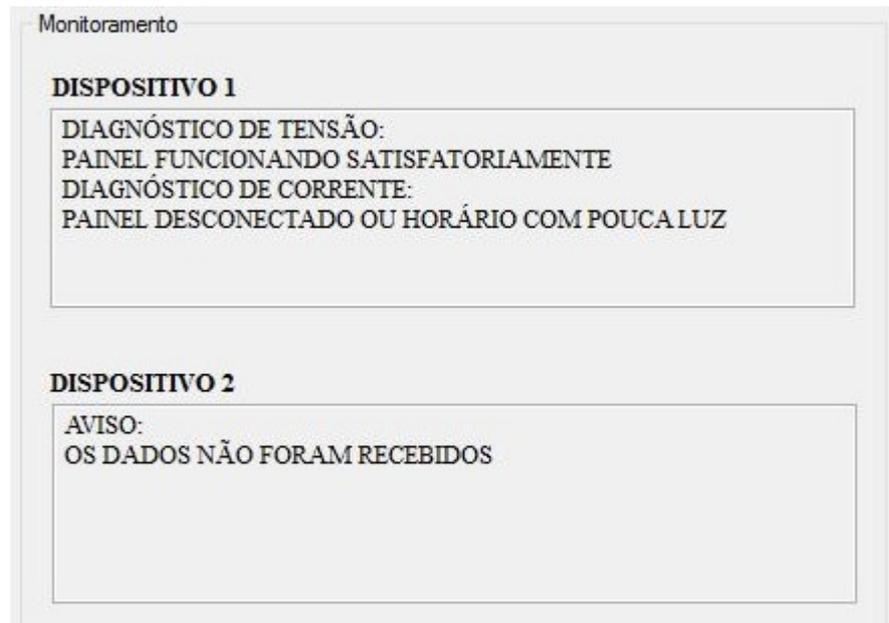
O sexto e último teste simula uma situação onde a corrente gerada pelo painel está abaixo de 5% do valor máximo que se pode gerar. Para esta situação a carga foi desconectada, simulando assim, um circuito aberto. Nota-se através das Figuras 32 e 33 que a tensão manteve-se normalizada enquanto a corrente estava zerada.

Figura 32 - Dados do sexto teste

Dispositivos

Dispositivo 1		Dispositivo 2	
Tensão	11,86 V	Tensão	[] V
Corrente	0,00 A	Corrente	[] A
Potência	0 W	Potência	[] W
	ON		ON
	OFF		OFF

Figura 33 - Diagnóstico do sexto teste



Fonte: O Autor.

Como foi possível observar os testes com a fonte retornaram resultados satisfatórios e que eram esperados. Por meio dos testes foi possível comprovar o correto funcionamento do algoritmo do *software*, sendo assim foram iniciados os testes com o painel.

4.3 TESTES COM O PAINEL

Desejava-se verificar o comportamento do painel solar, de acordo com a incidência solar durante o dia, e a capacidade de monitoramento e gravação dos dados por meio do *software*. Para tais testes foram efetuadas as conexões elétricas da forma demonstrada anteriormente na seção de testes com a fonte, substituindo apenas a fonte pelo painel.

Os três testes foram efetuados em dias distintos e com condições de luminosidade diferentes, sendo assim foi possível observar como a chuva e a nebulosidade afetam a geração de energia.

Os dados coletados foram armazenados em um arquivo de texto e posteriormente esses dados foram importados no *SciDAVis*, que é um *software* desenvolvido para plotagem de gráficos. Trata-se de um programa de código aberto e disponível gratuitamente para várias plataformas [26].

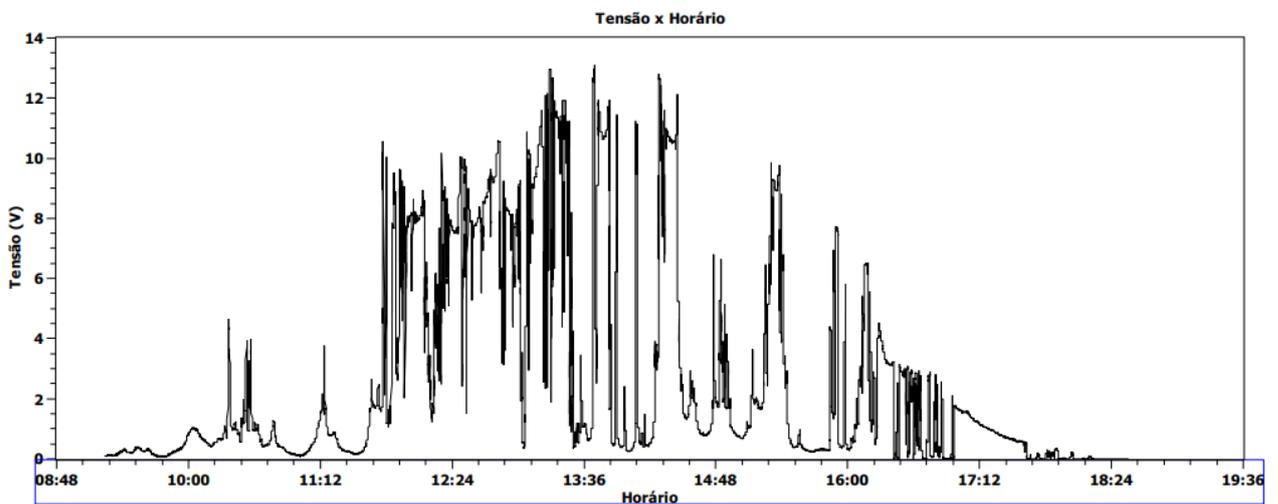
O primeiro teste ocorreu no dia 11 de novembro de 2018, dia esse que se iniciou com céu bastante nublado e com chuva fina, com o decorrer do tempo o céu ficou parcialmente nublado e com alguns períodos ensolarados até o final da tarde.

A coleta dos dados foi iniciada às 9h15 e finalizada às 18h30. Antes e após esse período não havia luminosidade suficiente para geração de energia.

Foram coletados os valores de tensão, corrente e potência a cada minuto. Os gráficos gerados são apresentados abaixo.

O Gráfico 7 mostra a tensão do painel a cada horário.

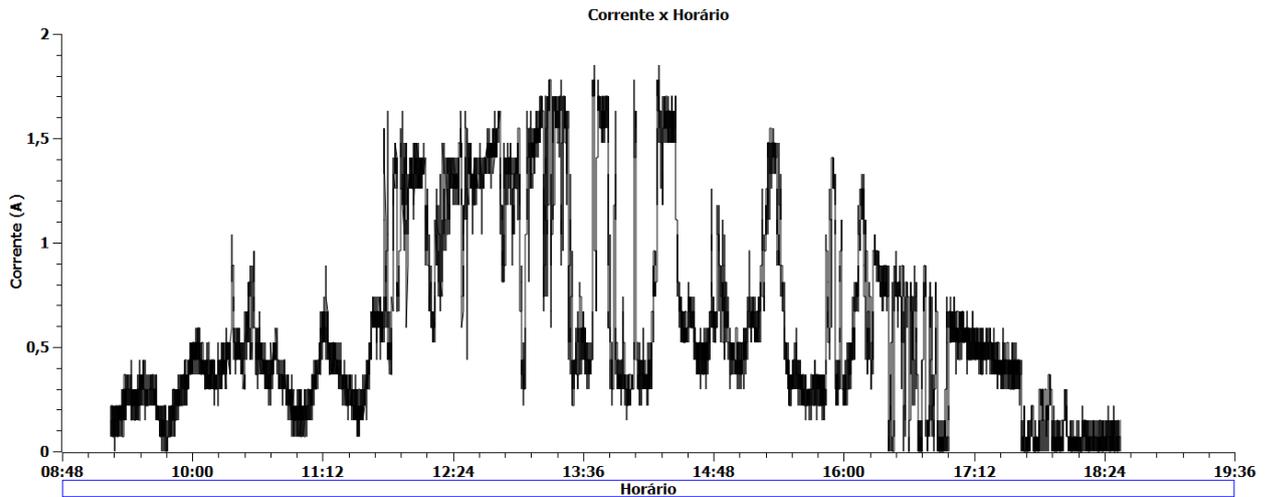
Gráfico 7 – Tensão x Horário do dia 11/11



Fonte: O Autor.

O Gráfico 8 mostra a corrente gerada a cada horário. Neste gráfico é possível notar um “ruído” nos valores medidos, esse ruído ocorre devido às flutuações de leitura do sensor de corrente.

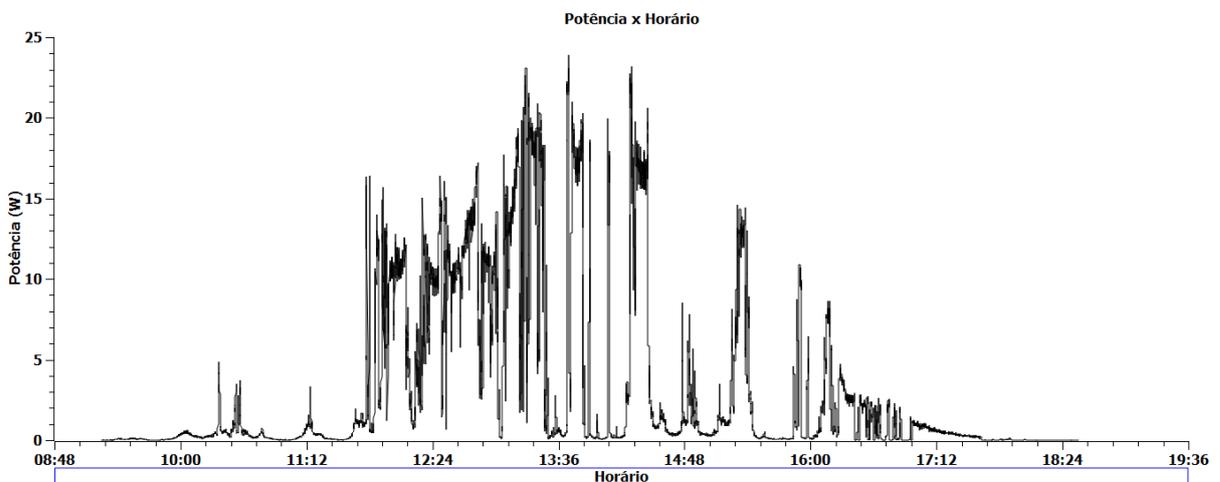
Gráfico 8 - Corrente x Horário do dia 11/11



Fonte: O Autor.

O Gráfico 9 mostra a potência gerada no período mencionado.

Gráfico 9 - Potência x Horário do dia 11/11



Fonte: O Autor.

É possível observar no Gráfico 9 as quedas de potência que acontecem em alguns horários, essas quedas ocorrem quando grandes e densas nuvens passam pela frente do sol, impedindo que o painel receba a luminosidade necessária.

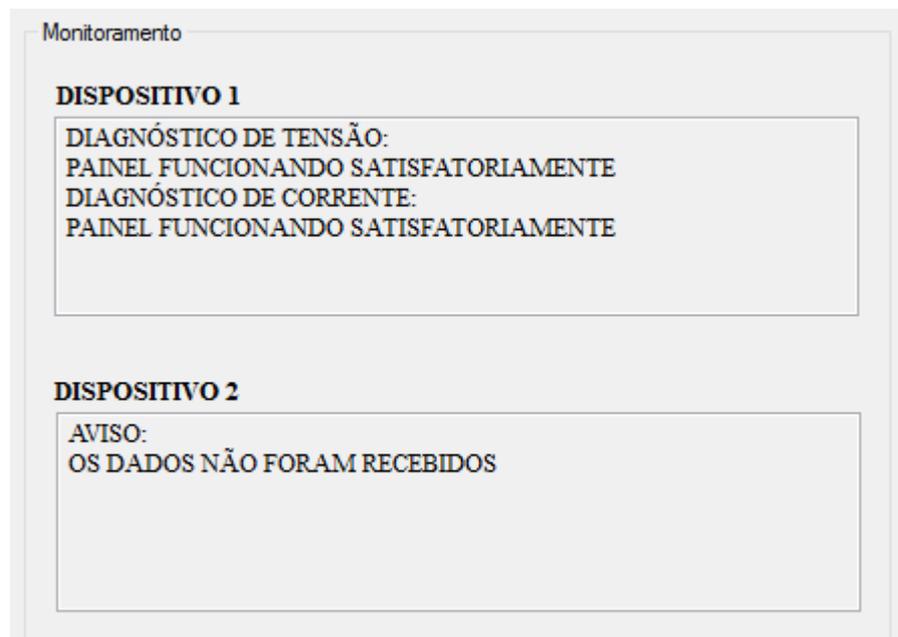
A maior potência gerada foi de 23,88W às 13h42. As Figuras 34 e 35 mostram, respectivamente, o painel de dispositivos e o painel de diagnóstico no referido horário.

Figura 34 - Painel dispositivos no dia 11/11



Fonte: O Autor.

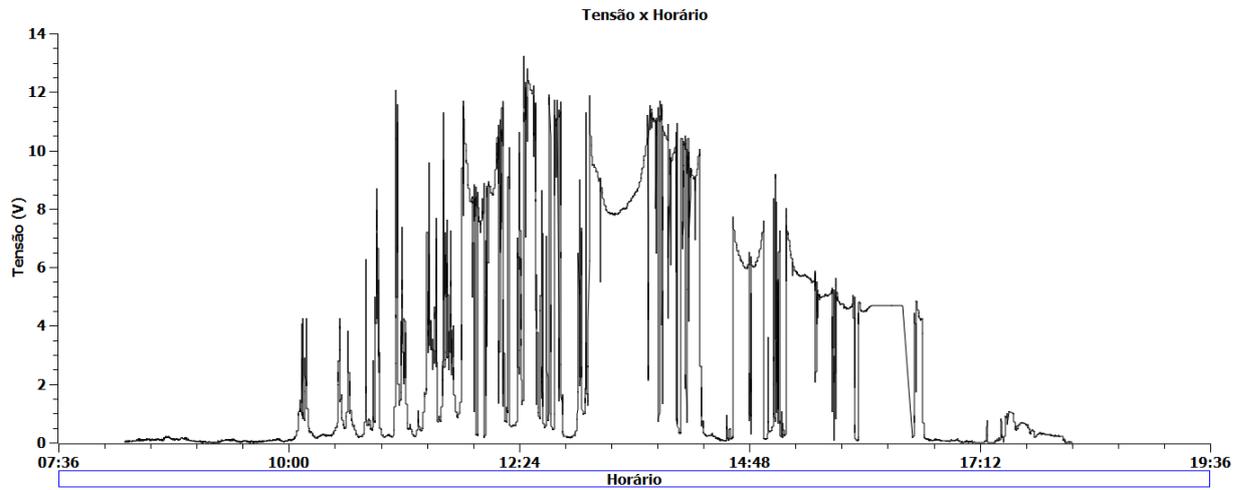
Figura 35 – Painel monitoramento no dia 11/11



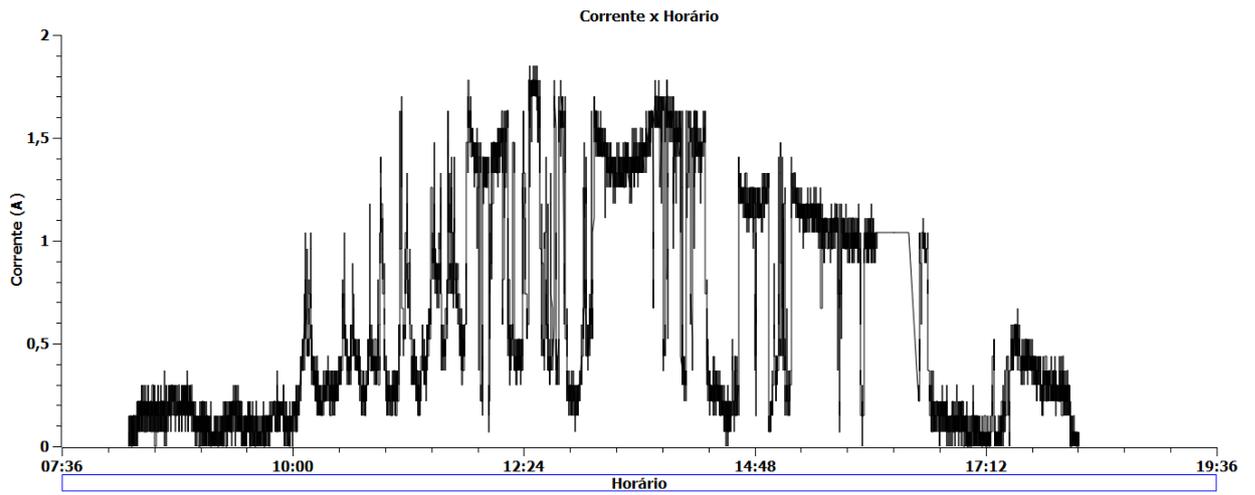
Fonte: O Autor.

O segundo dia de coleta ocorreu em 12 de novembro de 2018, o tempo estava ensolarado e em alguns períodos apareceram pequenas nuvens, foi um dia com uma ótima incidência de luz no painel.

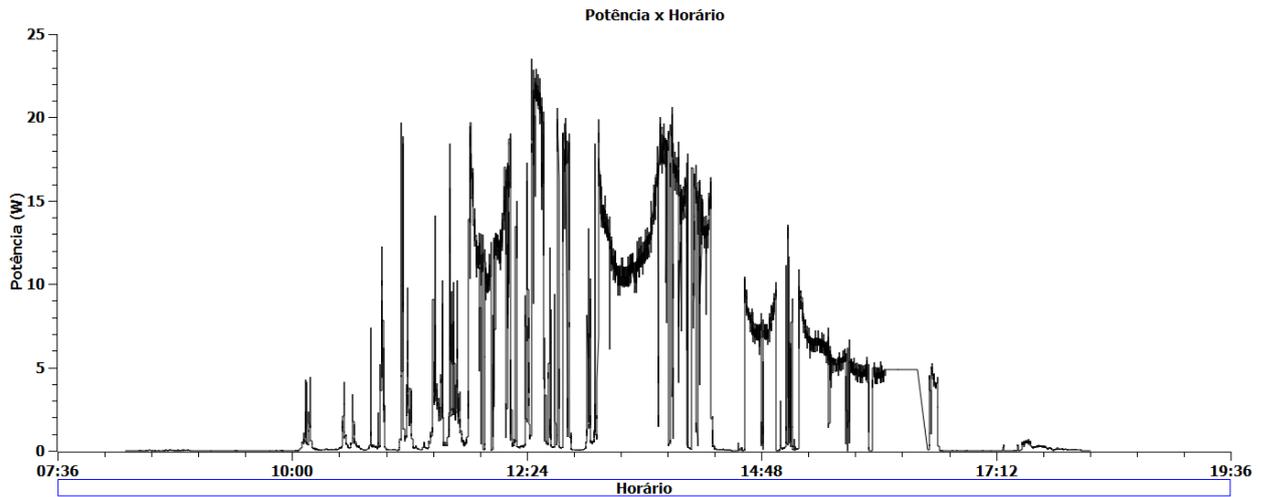
Os Gráficos 10, 11 e 12 mostram, respectivamente, a tensão, corrente e a potência geradas a cada horário. O período de gravação teve início em 8h15 e foi finalizado em 18h10.

Gráfico 10 - Tensão x Horário do dia 12/11

Fonte: O Autor.

Gráfico 11 - Corrente x Horário do dia 12/11

Fonte: O Autor.

Gráfico 12 - Potência x Horário do dia 12/11

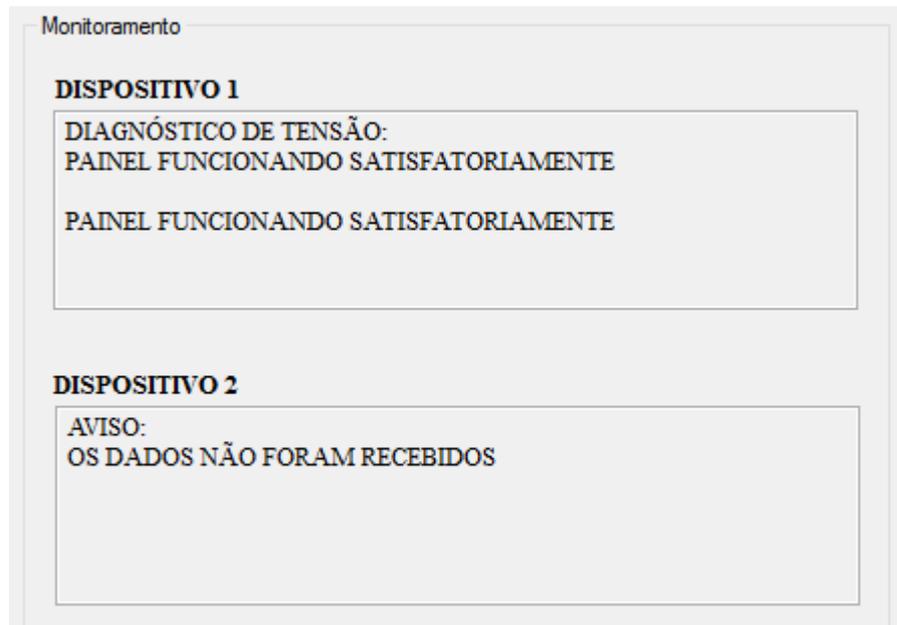
Fonte: O Autor.

Neste segundo dia de testes a potência máxima gerada foi de 23,54W registrada no horário de 12h27. As Figuras 36 e 37 mostram, respectivamente, o painel de dispositivos e o painel de diagnóstico no referido horário.

Figura 36 - Painel dispositivos no dia 12/11

Fonte: O Autor.

Figura 37 - Painel monitoramento no dia 12/11

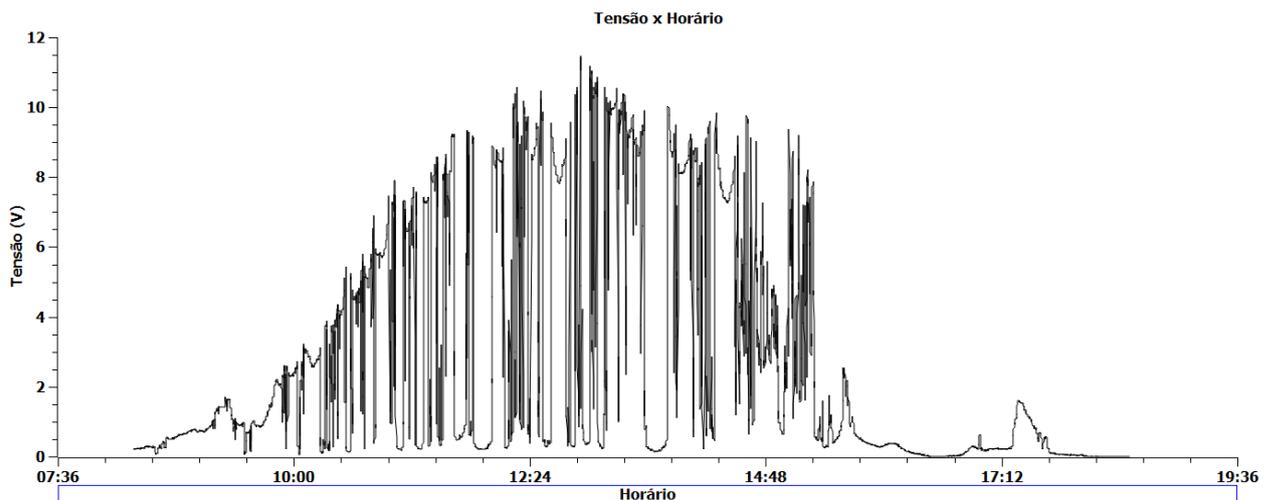


Fonte: O Autor.

O terceiro dia de testes ocorreu em 14 de novembro de 2018. Neste dia o céu estava parcialmente nublado e uma chuva que se iniciou por volta das 15h30.

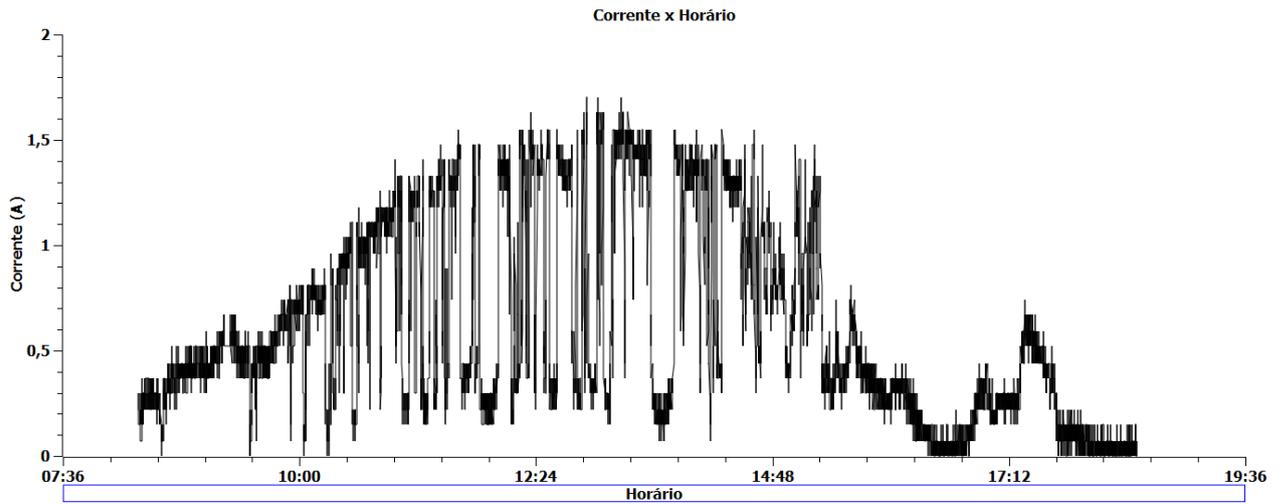
Os Gráficos 13, 14 e 15 mostram, respectivamente, a tensão, corrente e a potência geradas a cada horário. O período de gravação teve início às 8h15 e finalizou às 18h30.

Gráfico 13 - Tensão x Horário do dia 14/11



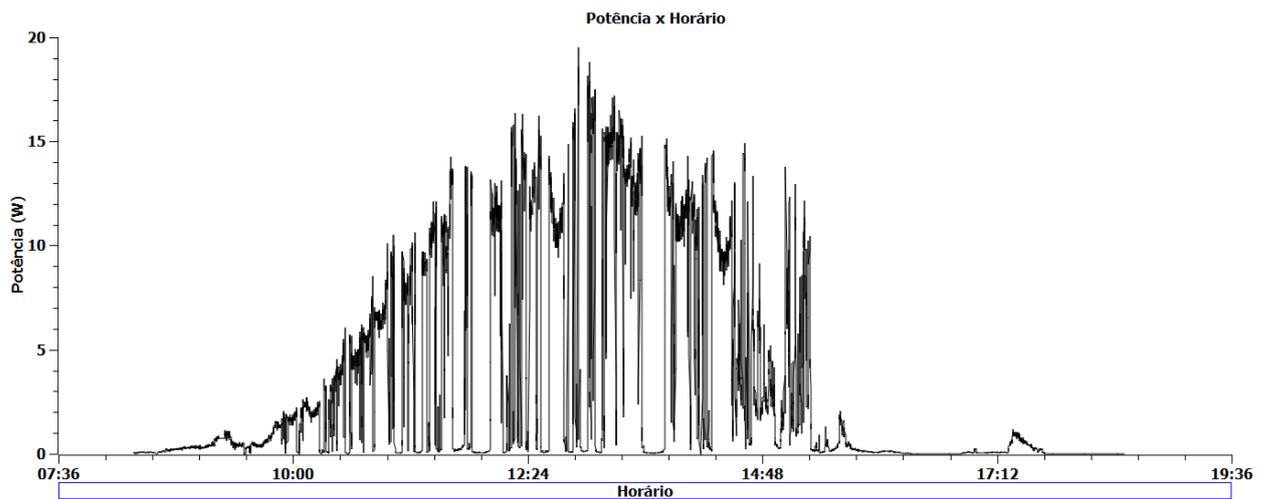
Fonte: O Autor.

Gráfico 14 - Corrente x Horário do dia 14/11



Fonte: O Autor.

Gráfico 15 - Potência x Horário do dia 14/11



Fonte: O Autor.

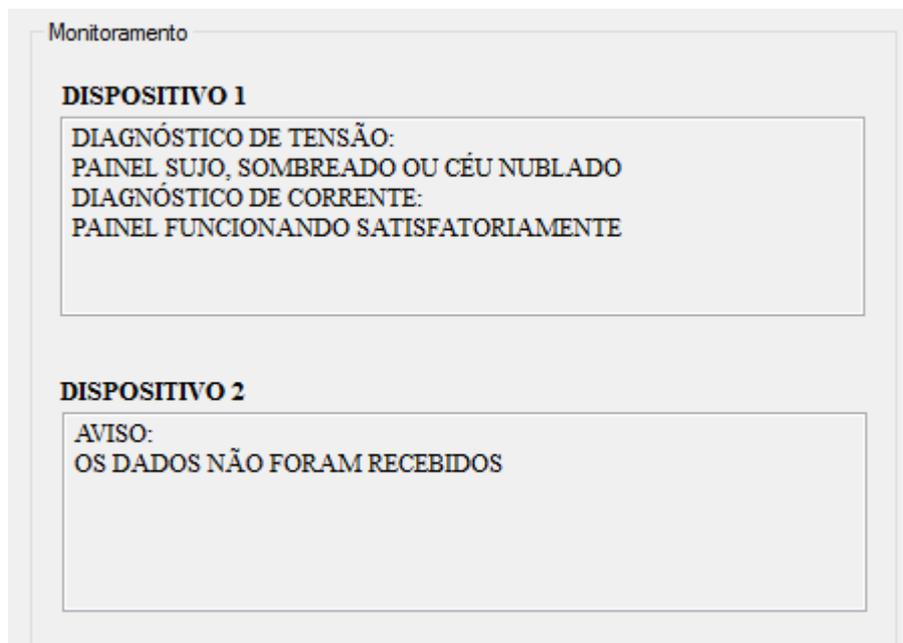
Neste terceiro dia de testes a potência máxima gerada foi de 19,49W registrada no horário de 12h55. As Figuras 36 e 37 mostram, respectivamente, o painel de dispositivos e o painel de diagnóstico no referido horário.

Figura 38 - Painel dispositivos no dia 14/11



Fonte: O Autor.

Figura 39 - Painel monitoramento no dia 14/11



Fonte: O Autor.

Os testes foram conduzidos em diferentes condições climáticas para que fosse possível observar todos os fatores que pudessem interferir na geração de energia, e que fizessem com que o sistema identificasse o que possivelmente estava ocorrendo, assim como visto na Figura 39 que deixa evidente que o sistema identificou o momento no qual o céu estava nublado.

A gravação dos dados recebidos dos sensores foi importante para que fosse possível observar o comportamento do painel durante o dia e inclusive permite descobrir se em algum momento o painel está sombreado.

Por meio dos gráficos 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 nota-se que o painel utilizado nos testes se comportou de forma equivalente àquela que foi mostrada no Gráfico 4 que é um demonstrativo das horas de sol pico.

Os testes também revelaram que em alguns momentos o painel ultrapassou a potência máxima informada pelo fabricante, potência esta que é 20W e chegou a atingir 23,88W. Essa divergência ocorre devido as diferentes condições de operação do painel nos laboratórios de testes e no local onde foi instalado.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou os resultados obtidos com esse trabalho, os testes que foram efetuados e os dados que foram coletados por meio destes. O capítulo a seguir faz a conclusão e discute sobre as contribuições que este projeto pode trazer.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO E TRABALHOS FUTUROS

Conclui-se por meio deste trabalho que os objetivos foram alcançados de forma satisfatória. Os testes efetuados garantiram a funcionalidade almejada para o *software*, permitindo visualizar o funcionamento do painel fotovoltaico, assimilar a teoria com a prática e também notar como as condições climáticas podem influenciar no rendimento da geração de energia fotovoltaica.

Notou-se a eficácia do processamento dos dados e algoritmo de diagnóstico do *software*, e a semelhança entre o gráfico demonstrativo das horas sol pico e os gráficos gerados durante o funcionamento do painel.

Divergências entre os valores de tensão, corrente e potência máxima fornecidas pelo fabricante e os valores obtidos nos testes revelam que, fora dos cenários de testes profissionais o painel pode se comportar de forma diferente, isto ocorre devido a diversos fatores como a carga utilizada, irradiância, a temperatura que ocasiona queda na tensão e leve aumento na corrente, dentre outros fatores.

Este trabalho enfatiza que as falhas em painéis fotovoltaicos afetam de forma agressiva os pequenos sistemas de geração de energia e este projeto traz a possibilidade de detectar essas falhas e aumentar o rendimento do sistema. Nos sistemas residenciais, por exemplo, uma falha representa uma perda muito grande, que pode fazer com que o investimento na montagem do sistema não traga retornos tão positivos como era esperado na etapa do projeto.

Usando como base este trabalho e a capacidade de processamento dos computadores, futuramente, sistemas como esse podem ser adaptados para o controle de atuadores que posicionam os painéis de maneira que se obtenha o melhor aproveitamento possível de irradiância.

Esse trabalho também abre possibilidades de inclusão de mais sensores, como sensor de iluminação para detectar períodos noturnos ou com baixa luminosidade e sensor de umidade para detectar chuva, melhorando assim a capacidade de diagnóstico.

A programação de filtros no software juntamente com a escolha de sensores mais precisos traz menos erros às leituras, aumentando a confiabilidade do monitoramento. Outra possibilidade é a inclusão de uma inteligência artificial que consiga aprender os efeitos causados pelo clima, previsão de valores da geração de energia futuros, diferencie as possíveis falhas e que compare o desempenho entre painéis de diferentes marcas e auxilie na escolha dos mais eficientes.

E no cenário atual é possível desenvolver um aplicativo multiplataforma para acompanhamento remoto, tudo através de uma conexão com a *Internet*. Aperfeiçoar o sistema de gravação para que em sistemas maiores não seja gerado um grande volume de dados e seja possível armazenar informações durante longos períodos.

REFERÊNCIAS

- [1] GALDINO, M. A. E.; LIMA, J. H. G.; RIBEIRO, C. M.; SERRA, E. T.. **O Contexto das Energias Renováveis no Brasil**. Revista da DIRENG – Diretoria de Engenharia Aeronáutica. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [2] FERREIRA, M. J. G. **Inserção da energia solar fotovoltaica no Brasil**. 1993. Dissertação (Mestrado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. doi:10.11606/D.86.1993.tde-05122011-141720. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-05122011-141720/pt-br.php>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [3] DI SOUZA, R. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica: livro digital de introdução aos sistemas solares**. BlueSol Educacional. Disponível em: <<http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [4] CAVENAGHI, G. L. C. **Modelo Ontológico e Método FMEA aplicados à Análise de Falhas em Painéis Fotovoltaicos**. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-02092014-151705/?&lang=br>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [5] GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energias renováveis: um futuro sustentável**. REVISTA USP, São Paulo, n.72, p. 6-15, dezembro/fevereiro 2006-2007.
- [6] **Arduino: Conheça essa plataforma de hardware livre e suas aplicações – Fazedores**. Disponível em : <<http://blog.fazedores.com/arduino-conheca-esta-plataforma-de-hardware-livre-e-suas-aplicacoes/>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [7] **Arduino – Products**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/Products>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [8] **Arduino – Tutorials**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [9] **Entendendo as Entradas Analógicas do Arduino - Embarcados**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-entradas-analogicas/>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.

- [10] **Saiba mais sobre a placa Arduino MEGA 2560.** Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [11] **IDE do Visual Studio.** Disponível em: <<https://www.visualstudio.com/pt-br/vs/>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [12] **Downloads | IDE, Code e Team Foundation Server | Visual Studio.** Disponível em: <<https://www.visualstudio.com/pt-br/downloads/>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [13] **Learn how to use the Arduino voltage sensor module. | Henry's Bench.** Disponível em: <<http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-voltage-measurements/arduino-25v-voltage-sensor-module-user-manual/>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [14] **Como usar o sensor de corrente ACS712 – Arduino e Cia.** Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/2016/04/como-usar-o-sensor-de-corrente-ac712.html>>. Acesso em: 07 de maio de 2018.
- [15] Allegro MicroSystems, LTC. **ACS712-Datasheet.** Electronic Publication, 2017.
- [16] Empresa de pesquisa energética. **MATRIZ ENERGÉTICA.** Disponível em <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 25 de maio de 2018.
- [17] O Globo. **Energia solar cresceu 70% em dois anos.** Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/energia-solar-cresceu-70-em-dois-anos-20715504>>. Acesso em: 25 de maio de 2018.
- [18] Portal Solar – Tudo sobre Energia Solar Fotovoltaica. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em: 25 de maio de 2018.
- [19] CEPEL/CRESESB. **Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2018.

[20] GAMA, J. O. **Painel fotovoltaico de baixo custo**. 2014. Escola politécnica – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010637.pdf>>. Acesso em: 05 de junho de 2018.

[21] FERNANDES, M. F. M. V. **Desenvolvimento de um Sistema Remoto de Monitorização e Análise de Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios**. 2015. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente). Universidade de Lisboa, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/20673/1/ulfc115867_tm_Maria_Francisca_Fernandes.pdf>. Acesso em: 05 de junho de 2018.

[22] HALMEMAN, R. J. **Desenvolvimento de um sistema para monitoramento remoto em centrais de microgeração fotovoltaica**. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2014. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq1123.pdf>>. Acesso em: 05 de junho de 2018.

[23] Neosolar. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: 25 de maio de 2018.

[24] Portal Solar. **A Melhor Direção do Painel Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

[25] Geógrafos. **Coordenadas Geográficas Município Brasileiro Vazante**. Disponível em: <<https://www.geografos.com.br/cidades-minas-gerais/vazante.php>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

[26] **SciDAVis**. Disponível em: <<http://scidavis.sourceforge.net/>>. Acesso em: 19 de novembro de 2018.

[27] T8M Energia Solar. **Sistema de monitoramento**. Disponível em: <<https://t8menergiasolar.com.br/sistema-de-monitoramento/>>. Acesso em: 17 de dezembro de 2018.