



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

FRANCISCO JONATHAM ROCHA OLIVEIRA

**TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE DISPOSITIVO PARA OBTENÇÃO DE
DADOS CLIMÁTICOS UTILIZANDO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

PAU DOS FERROS – RN

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

FRANCISCO JONATHAM ROCHA OLIVEIRA

**TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE DISPOSITIVO PARA OBTENÇÃO DE
DADOS CLIMÁTICOS UTILIZANDO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção da aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em cumprimento às exigências legais como requisito para à obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Dr. Hidalyn Theodory Clemente Mattos de Souza

Coorientador: Dr. Jorge Luis de Oliveira Pinto Filho

PAU DOS FERROS – RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

048t Oliveira, Francisco Jonatham Rocha .
 Técnicas de construção de dispositivo para
 obtenção de dados climáticos utilizando sistemas
 fotovoltaicos / Francisco Jonatham Rocha
 Oliveira. - 2019.
 36 f. : il.

 Orientador: Hydalin Theodory Clemente Mattos
 de Souza.
 Coorientador: Jorge Luis de Oliveira Oliveira.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
 Tecnologia, 2019.

 1. Efeito fotovoltaico . 2. Sustentabilidade
 solar. 3. Plataforma Arduino. 4. Monitoramento
 ambiental. 5. Fontes alternativas de energia. I.
 Souza, Hydalin Theodory Clemente Mattos de ,
 orient. II. Oliveira, Jorge Luis de Oliveira, co-
 orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO JONATHAM ROCHA OLIVEIRA

**TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE DISPOSITIVO PARA OBTENÇÃO
DE DADOS CLIMÁTICOS UTILIZANDO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

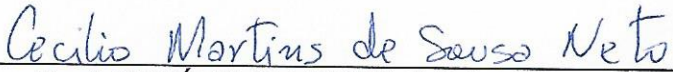
Relatório final, apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi
Árido, como parte das exigências para a
obtenção do título de Bacharel em Ciência
e Tecnologia.

Pau dos Ferros (RN), 22 de março de 2019.

BANCA EXAMINADORA


Prof. HIDALYN THEODORY CLEMENTE MATTOS DE SOUZA
UFERSA


Prof. MARCO DIEGO AURELIO MESQUITA
UFERSA


Prof. CECÍLIO MARTINS DE SOUSA NETO
UFERSA

A minha família em especial aos meus dois avós Antônio de Oliveira Brito e Antônio Rocha da Silva que não estão caminhando mais nesse plano, mas que contribuíram grandiosamente na construção do meu caráter.

AGRADECIMENTOS

Ao grande mestre criador do universo por me dar a vida e a coragem para batalhar por meus objetivos, aos meus pais Francisco Hélio Oliveira e Antônia Cacioneide Rocha Oliveira por todo o amor, incentivo, orientações e por oferecerem condições para que eu possa estudar, a minha irmã Mayara Rocha Oliveira pelo apoio em várias dificuldades durante a graduação e aos meus primos Francisco Cleiton de Queiroz e Patrício Junior da Silva por todo companheirismo e apoio moral que me proporcionaram nessa caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Hidalyn Theodory Clemente de Sousa Mattos por toda disponibilidade que ofereceu quando precisei, pelo apoio e aprimoramento das minhas ideias, por me ensinar a solucionar problemas de forma estratégica. Com certeza aprendi muito com suas orientações e ensinamentos. E por trabalhar de forma interessada, formidável e contínua para a realização deste trabalho, agradeço ao meu coorientador Prof. Dr. Jorge Luis de Oliveira pela sua ajuda e disponibilidade no desenvolvimento do trabalho.

A todos os professores da UFERSA que me passaram parte de seus conhecimentos, especialmente ao Dr. Otavio Paulino Lavor, Dr. Francisco Ernandes Matos Costa e Bel. Rosana Cibely Batista Rego, que fizeram por mim mais que sua obrigação como docentes, contribuindo grandiosamente para minha formação profissional e humana.

A todos meus companheiros de labuta que estiveram comigo nessa longa e cansativa jornada, principalmente a Francisco Eduardo Duarte da Silva, José Bruno Furtado de Sousa, John David dos Santos Belém, José Lira de Oliveira Júnior, William Viera Gomes, Yago Daniel Souto e Raito Francisco de Ne, que me deram força e motivação para não desistir em meio as várias adversidades que enfrentamos juntos.

Agradeço também aos professores Dr. Cecílio Martins de Sousa Neto e Me. Marco Diego Aurélio Mesquita pela disponibilidade de avaliar este trabalho.

TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE DISPOSITIVO PARA OBTENÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS UTILIZANDO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

por

Francisco Jonatham Rocha Oliveira

Submetida à *Universidade Federal Rural do Semi-Árido* em 22 de **Março** de 2019, como requisito parcial à obtenção do grau de **Bacharel** em Ciência e Tecnologia.

RESUMO

Frente a importância de se investigar parâmetros climáticos como temperatura e umidade do ar, e a partir disso fazer previsões pluviométricas, auxiliar a inserção de políticas urbanas, e prevenção de doenças advindas das variações desses parâmetros, existe uma demanda por dispositivos capazes de coletar dados sobre essas variáveis. No alto oeste potiguar a pouca pesquisa nessa área justifica o presente trabalho, que tem por objetivo desenvolver um dispositivo de baixo custo e uso livre, que colete dados de forma contínua e ininterrupta. Nesse contexto, a utilização do microcontrolador Arduino e a utilização da energia solar se tornam alternativas viáveis. Nossa pesquisa visa apresentar o estudo e a construção de um protótipo envolvendo conhecimentos na área de programação, eletrônica, física, matemática, e engenharia ambiental. Com a calibração do sensor e utilização do painel solar utilizados no protótipo desenvolvido neste trabalho será possível coletar dados de forma autônoma, com baixo custo e fácil utilização.

Palavras-chave: Efeito fotovoltaico. Sustentabilidade solar. Plataforma arduino. Monitoramento ambiental. Fontes alternativas de energia.

DEVICE CONSTRUCTION TECHNIQUES FOR OBTAINING CLIMATE DATA USING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

by

Francisco Jonatham Rocha Oliveira

Submitted to the *Federal University Rural of the Semi-Arid* on
March 22, 2019, as a partial requirement to obtain a Bachelor's
Degree in Science and Technology.

ABSTRACT

In view of the importance of investigating climatic parameters such as temperature and humidity of the air, and to make rainfall forecasts, help in the insertion of urban policies, and prevention of diseases arising from the variations of these parameters, there is a demand for devices capable of collecting data on these variables. In the potiguar upper west, the small research in this area justifies the present work, which aims to develop a low cost and free use device that collects data in a continuous and uninterrupted way. In this context, the use of the Arduino microcontroller and the use of solar energy become viable alternatives. Our research aims to present the and environmental engineering. With the calibration of the sensor and the use of the solar panel used in the prototype developed in this work it will be possible to collect data autonomously, with low cost and easy to use.

Keywords: Photovoltaic effect. Solar sustainability. Arduino platform. Environmental monitoring. Alternative energy sources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estação Meteorológica da UFERSA, Campus Pau dos Ferros (RN).....	3
Figura 2: Semicondutor: modelo de bandas dopado com fósforo	9
Figura 3: Semicondutor: modelo de bandas dopado com boro	9
Figura 4: Semicondutor e efeito de termalização da energia, geração de pares elétron-lacuna.....	11
Figura 5: Esquema de uma junção <i>PN</i> ressaltando a concentração de lacunas nos materiais tipo N e tipo P, assim como o comportamento do campo elétrico	12
Figura 6: Corrente e potência elétrica em função da tensão externa aplicada a célula de silício	14
Figura 7: Influência da temperatura da célula no comportamento da curva corrente x tensão, com irradiância padrão de 1000 W/m ² e espectro AM 1,5.....	15
Figura 2.10: Influência da variação de irradiação solar no comportamento da corrente e tensão em célula de silício cristalino, a temperatura de 25 graus Celsius	16
Figura 9: Conexão do sensor DHT22	20
Figura 10: Conexão do display	21
Figura 2.13: Inicialização do DHT	22
Fonte: Próprio autor.....	22
Figura 12: Código principal.....	23
Figura 13: Protótipo do dispositivo	23
Figura 14: Detalhes do protótipo do dispositivo	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 DISPOSITIVOS PARA PREVENÇÃO E COLETA DE DADOS	2
1.2 DESAFIOS DA SUSTENTABILIDADE E ENERGIAS RENOVÁVEIS	3
1.3 OBJETIVOS DESTE TRABALHO.....	5
2 EFEITO FOTOVOLTAICO.....	7
2.1 MATERIAIS SEMICONDUTORES	7
2.1.1 Semicondutor intrínseco e extrínseco	7
2.1.2 Silício dopado tipo N.....	8
2.1.3 Silício dopado tipo P	9
2.1.4 Junção PN.....	9
2.2 ESTUDO DO EFEITO FOTOVOLTAICO	10
2.2.1 Células fotovoltaicas de Silício.....	10
2.2.2 Amperagem, voltagem e eficiência de conversão em placas fotovoltaicas de silício dopado	12
3 MONITORAMENTO AMBIENTAL VIA DISPOSITIVO FOTOVOLTAICO.....	16
3.1 TEMPERATURA DO AR E SUAS OSCILAÇÕES	16
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.3.1 Viabilidade econômica.....	21
3.3.2 Programação do microcontrolador.....	22
3.3.3 Protótipo do dispositivo.....	23
4 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS.....	25
REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

Diante do crescente índice de poluição e consequente degradação do meio ambiente observada em nosso planeta, a utilização da luz solar como fonte de energia renovável tornou-se um tema de discussão corrente, contextualizado na amenização de desastres ambientais, eficiência energética no cenário mundial e desenvolvimento sustentável caracterizado por uma fonte inesgotável de energia considerada limpa¹.

Fundamentado na análise do crescente nível de consumo energético do mundo, é notório que o Sol apresente um potencial de produção de energia necessário para suprir a demanda do limiar energético do planeta. O aproveitamento energético solar é, sem dúvida, uma das alternativas energéticas mais viáveis para a humanidade (PINHO, 2014).

O Sol por ano difundi cerca de 10.000 vezes a energia consumida mundialmente nesse mesmo período; ainda que toda essa energia não chegue integralmente a Terra, mais de 1.500 quatrilhões de quilowatts-hora de potência chega ao planeta no período de um ano.

Simultâneo a esfera da busca por melhorias, surgiram investimentos e pesquisas em recursos naturais renováveis visando diversificar a matriz energética que vem aumentando consideravelmente, possibilitando que a energia solar fotovoltaica ganhasse lugar de destaque e competitividade no mercado econômico e acadêmico.

É notório que devido o crescente índice de poluição atmosférica advindas das ações humanas, principalmente da queima de combustíveis fósseis e desmatamento exagerado, a dinâmica climática venha sofrendo cada vez mais significantes variações, trazendo essas uma série de problemas ambientais, tais como períodos de estiagem e doenças cardiorrespiratórias provenientes da variação da umidade do ar, o que ameaça a existência de várias espécies, inclusive a humana.

Nesse contexto, painéis fotovoltaicos podem ser utilizados para gerar a energia necessária para alimentar eletricamente um dispositivo eletrônico fotovoltaico constituído de um circuito com microcontrolador que pode fazer registros baseados em dados obtidos por sensores de umidade e temperatura, decodificados por um Arduino, assim havendo a possibilidade de avaliação de dados climáticos ambientais, que venham a auxiliar a aplicação de políticas públicas urbanas de modo mais eficaz e menos custoso, fazer previsões pluviométricas e com isso auxiliar a agricultura local, além de contribuir para a saúde coletiva

¹ O Conceito de **Energia Limpa** está relacionado aos processos de produção e consumo de energia onde não há (ou a taxa de produção é pequena) geração de gases ou resíduos poluentes e catalizadores do efeito estufa e aumento da temperatura da Terra.

por meio de previsões de sensação térmica, transpiração e outros fatores que influenciam doenças respiratórias.

1.1 DISPOSITIVOS PARA PREVENÇÃO E COLETA DE DADOS

O clima de uma região é caracterizado através de variáveis meteorológicas como a umidade relativa do ar e a variação de temperatura, parâmetros que fornecem informações fundamentais até para a orientação de atividades econômicas, nível de recursos e qualidade hídrica e o alcance de uma agricultura de precisão.

A mudança brusca de temperatura, ou mesmo da umidade do ar às condições de precipitação, pode ser apontada como agente causador de vários problemas. Intempéries, infecções de garganta, gripe, tosse e resfriados podem ser causados devido à falta de umidade no organismo e variação da temperatura de um ambiente. Nesse contexto, surge a necessidade de desenvolver pesquisas que busquem elaborar dispositivos que sejam capazes de dimensionar esses parâmetros de modo a auxiliar na prevenção dessa adversidade.

O registro dos dados ambientais pode ser obtido basicamente a partir de **plataformas de coleta de dados** e de um **sensoriamento remoto orbital**, onde uma série de aplicações podem ser encontradas na página da Agência Espacial Brasileira (AEB, 2018).

Em uma plataforma de coleta de dados os registros são obtidos a partir de sensores e transmitidos a centros de processamento localizados a pequenas e grandes distâncias, com o auxílio de satélites ou de redes com Sistema Global para Comunicações Móveis (*GSM - Groupe Special Mobile*), ou seja, a partir da tecnologia móvel utilizadas nos aparelhos celulares.

Entre essas plataformas, podemos citar as Estações Meteorológicas, que por suas vez, são classificadas em convencional, em que um observador em campo realiza a leitura dos dados no equipamento, ou em automáticas, onde uma central de processamento recebe os dados da estação via rede GSM. Esse é o caso, por exemplo, da Estação Meteorológica da UFERSA, localizado no Campus Pau dos Ferros (figura 1), na qual está configurada para registrar diariamente dados a cada hora (EMUFERSA, 2019).



Figura 1: Estação Meteorológica da Ufersa, Campus Pau dos Ferros (RN)
Fonte: Próprio Autor

Por intermédio do monitoramento sensorial remoto orbital, realizados com o auxílio de imagens multiespectrais de satélites, a capacidade e a intensidade de investigações obteve grandes avanços, proporcionando uma observação da dinâmica de recursos e fenômenos naturais em nosso planeta repletas de informações locais e globais.

1.2 DESAFIOS DA SUSTENTABILIDADE E ENERGIAS RENOVÁVEIS

Fontes naturais como os ventos e a radiação solar configuram hoje entre as mais importantes alternativas às fontes de energias tradicionais, principalmente devido ao baixo grau de agressividade poluente e comprometimento do meio ambiente.

A necessidade de encontrar e dominar as técnicas de conversão de fontes alternativas de energia em formas de energia úteis para os seres humanos, portanto, dá-se principalmente pela necessidade de eliminar problemas ambientais, como por exemplo, o aumento do buraco da camada de ozônio pelos resultados da queima de combustíveis fósseis. Dentro desse contexto, apresentamos abaixo um conjunto de várias energias alternativas possíveis para contornar esses problemas (em pequena ou em grande escala hoje):

i) Energia solar

É a energia proveniente da radiação luminosa do Sol, captada por placas fotovoltaicas e convertida diretamente em energia térmica ou elétrica. É uma fonte de energia limpa e renovável, pois não produz gases tóxicos, além de ser uma fonte inesgotável de energia, pelo menos por grande intervalo de tempo. Suas principais vantagens são: ocupa um espaço relativamente pequeno para microgeração e minigeração, não emite poluentes, acessível a lugares remotos e manutenção em grandes intervalos de tempo. Suas principais desvantagens estão relacionadas ao seu custo de implementação elevado, sua dependência climática, baixa capacidade de armazenamento, baixo rendimento e prejuízos ambientais.

ii) Energia eólica

Consiste na conversão de energia cinética do vento em energia mecânica e posteriormente em elétrica. O vento faz com que as pás dos aerogeradores girem, de modo que essa rotação produz um torque em sua turbina, produzindo energia elétrica. Sua aplicação necessita de uma área aberta e suas principais vantagens são: é uma fonte inesgotável, não emite gases poluentes nem resíduos, a área dos parques eólicos pode ser utilizada para agricultura e criação de animais, geração de investimentos em locais desfavorecidos de outras fontes de energia e reduz a elevada dependência energética. Suas principais desvantagens são: a intermitência, existe uma certa velocidade do vento que pode produzir energia eólica, provoca impactos visuais, impacto sonoro e gera um movimento caótico que interage com o sonar de morcegos, fazendo com que eles morram, além de atrapalhar a migração de aves.

iii) Energia geotérmica

É a energia gerada no interior da Terra; o planeta é formado por camadas que nos isolam de seu interior, sendo nestas encontrados rochas derretidas chamadas de magma, onde a temperatura aumenta com a profundidade. No entanto, existem zonas chamadas de intrusão magmática, que são locais de elevado potencial geotérmico acessível para a geração de energia elétrica e que independem da profundidade. Suas principais vantagens são: é uma fonte de energia limpa, não prejudica a Terra, podem funcionar o dia inteiro e durante todo ano, flexível (podendo ter uma estética modular) e ser incrementada para suprir a demanda por eletricidade do local vinculado. Suas principais desvantagens são: custo inicial elevado, emissão de gases poluentes, poluição sonora e elevado aquecimento local, possível contaminação de rios e lagos, opera apenas em alguns lugares específicos.

iv) Maremotriz

É a geração de energia através do movimento das marés; as ondas do mar possuem energia cinética provinda do movimento das águas, e energia potencial devido o desnível do solo, sendo por causa dessas energias que é possível a geração de eletricidade. Existe geração nos dois sentidos, tanto na maré alta como na baixa. Suas principais vantagens são: a possível verificação da ocorrência das ondas, a constância da geração, é uma fonte inesgotável de energia e não é poluente. Suas principais desvantagens são: seu custo de instalação é elevado, é necessário um desnível no solo de no mínimo 15 metros e 5,5 metros entre as marés. Devido a irregularidades das amplitudes das ondas, há também a dificuldade de obter um máximo de eficiência.

v) Energia hídrica

É a energia gerada pela diferença de potencial de uma quantidade de água, implementada onde há fluxos de água aproveitada por meio dos desníveis da queda d'água. Suas principais vantagens são: produção contínua, não polui o meio ambiente e é de baixo custo de produção. Suas principais desvantagens são: exigem a criação de grandes reservatórios de água, o que acaba por comprometer a existência de vários ecossistemas, podendo provocar o deslocamento da população que vive em torno do local, além do alargamento das terras.

1.3 OBJETIVOS DESTE TRABALHO

Este Trabalho de Conclusão de Curso investiga um conjunto de parâmetros climáticos utilizando a plataforma microcontroladora arduino, alimentado eletricamente por uma placa solar, visando um monitoramento contínuo e ininterrupto da variação da umidade do ar utilizando uma fonte de energia limpa e que venha a agregar valor a diversificação da matriz energética.

Para isso, construímos um dispositivo de medição de parâmetros climáticos ambientais e qualificador de dados para o auxílio de políticas urbanas, para apoio da agricultura local, por meio previsões pluviométricas obtidos de um dispositivo eletrônico fotovoltaico.

A disponibilidade de nossos resultados auxiliará, por exemplo, na qualidade do plantio local, assim como no controle e combate de males que atingem e comprometem a saúde da região, por meio da transpiração, níveis de sensação térmica e outros fatores que influenciam em doenças respiratórias.

Apresentaremos no segundo capítulo todo o processo de conversão fotovoltaica, a utilização e características do Arduino, a definição de sensores e os tipos utilizados, bem como sua especificação técnica e a contribuição para o monitoramento ambiental destinado no capítulo seguinte. O capítulo quatro é destinado para a apresentação e descrição dos resultados desse trabalho, obtidos através do programa de bibliotecas e códigos, como também o uso do software *Fritizing* para esquematizar o circuito dos sensores de temperatura e umidade do ar e a construção do circuito final para o funcionamento do dispositivo.

Imagens serão utilizadas para argumentar os resultados esperados. Por fim, as conclusões e perspectivas futuras serão abordadas no quinto e último capítulo desse trabalho de conclusão de curso.

2 EFEITO FOTOVOLTAICO

2.1 MATERIAIS SEMICONDUTORES

Materiais semicondutores têm características elétricas intrinsecamente importantes, uma vez que em temperatura ambiente não conduzem eletricidade como os condutores, mas também não são isolantes como os dielétricos. Localizam-se na coluna IV, família 4A da tabela periódica, numa classificação de elementos químicos caracterizada por possuírem quatro elétrons na camada de valência².

Segundo Teixeira (2003) em um semicondutor cristalino os átomos estão presentes em uma estrutura bem organizada onde os elétrons da última camada são compartilhados com os átomos vizinhos realizando a chamada ligação covalente. Os semicondutores apresentam uma resistência elétrica maior que as dos materiais condutores e menor do que a dos isolantes, sendo o mais utilizado o silício, por sua abundância na natureza e custo relativamente baixo.

2.1.1 Semicondutor intrínseco e extrínseco

O silício na sua forma cristalina é eletricamente neutro, ou seja, não possui elétrons livres. É determinado por possuir entre as faixas de valência e de condução uma faixa intermediária denominada zona proibida, conhecida como hiato energético, onde a largura desse hiato define se o material é um semicondutor ou um isolante. De acordo com Braga (2008), materiais isolantes possuem a largura do hiato maior, cerca de 6eV , já os semicondutores é de 1eV , e dessa forma pode-se excitar os elétrons e fazê-los passarem da faixa de valência para a faixa de condução por meio da incidência de fótons na frequência da luz visível.

Encontrando-se a temperatura próximas do zero absoluto, materiais isolantes e semicondutores não conduzem corrente elétrica, porque nesse estado as bandas de valência se encontraram totalmente preenchidas, e as bandas de condução vazias. Segundo Swart(2008), à uma temperatura acima do zero absoluto em materiais semicondutores há a possibilidade de alguns elétrons adquirirem energia térmica, podendo alcançar a banda de condução, e assim haver portadores de carga tanto na banda de valência como na banda de condução, sendo possível que haja transporte de corrente elétrica. Com isso fica evidente que a quantidade de portadores cresce tanto com o aumento da temperatura do material, como também depende da

²Os semicondutores são formados pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons que são capazes de efetuar ligações químicas com elétrons de outros átomos. A essas bandas de energia dar-se o nome de camada de valência.

largura da banda proibida, assim pode-se concluir que a proporção da geração de portadores é função da temperatura e da largura da banda proibida. Já os semicondutores extrínsecos, não são puros. Trata-se de materiais dopados de impurezas que modificam as características elétricas do semicondutor, alterando seu número de portadores de carga (elétrons e lacunas). Para os semicondutores rudimentares como o silício e o germânio, são adicionados elementos das famílias IIIA e VA da tabela periódica de classificação dos elementos químicos.

2.1.2 Silício dopado tipo N

O silício é um material que está entre os mais abundantes da natureza. É extraído na forma de areia e submetido a métodos que o deixam livre da maioria das impurezas; como já discutido, o silício “puro” não contém elétrons livres, sendo um mau condutor de energia elétrica (NASCIMENTO, 2004).

O processo de dopagem do silício consiste na adição de impurezas, sendo os mais empregados o fósforo da família 5A e o boro da família 3A, que gera características elétricas diferentes do silício puro. De acordo com Teixeira (2003), ao dopar o silício com fósforo obtém-se um material com os elétrons fracamente ligados ao silício. Praticamente livres, esses materiais são caracterizados por conterem portadores de carga negativos. Isso ocorre porque o silício é um elemento da família 4A, logo contém 4 elétrons na sua camada mais energética.

Quando adicionado o fósforo, elemento da família 5A da tabela periódica, ocorre uma ligação covalente caracterizada pelo compartilhamento de elétrons. Como o átomo de silício se estabiliza com 8 elétrons na sua camada de valência, um portador de carga negativa ficando fracamente ligado, considerado um elétron livre. Swart (2008) afirma que há uma consternação na estrutura das bandas do silício, e com isso, o surgimento de um estado de energia entre as bandas de condução e valência dentro da banda proibida.

Para facilitar a análise, considera-se o modelo de Borh do átomo de hidrogênio para descrever esse quinto elétron fracamente ligado. Assim, se $E_D = -0,1 \text{ eV}$, a linha tracejada representará uma distribuição não linear de impurezas no silício, como mostra a (figura 2) (SWART, 2008).

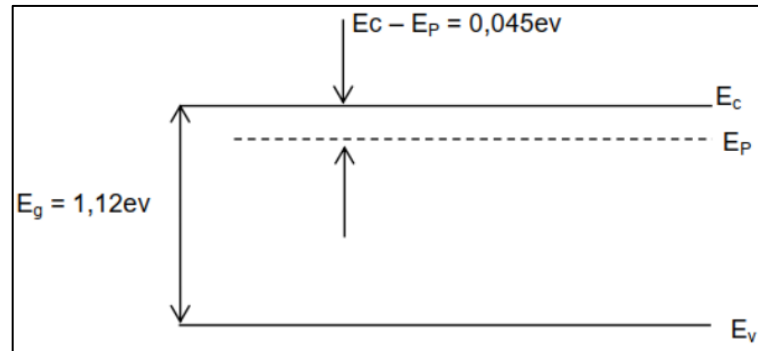


Figura 2: Semicondutor: modelo de bandas dopado com fósforo
Fonte: (SOUZA, 2016)

2.1.3 Silício dopado tipo P

Neste caso, o processo de dopagem é feito com a adição de elemento da família 3A, sendo os mais utilizados o boro e o alumínio. Ao unir o silício ao boro, por exemplo, ocorre uma ligação covalente, porém nesse caso obtém-se um material com lacunas, ou seja, com carência de elétrons, que são considerados como sendo cargas positivas. De acordo com Texeira (2003), isso modifica também as estruturas das bandas de condução e valência, aparecendo um estado de energia intermediário, dentro da zona proibida, mas que neste caso será acima da banda de valência (**figura 3**).

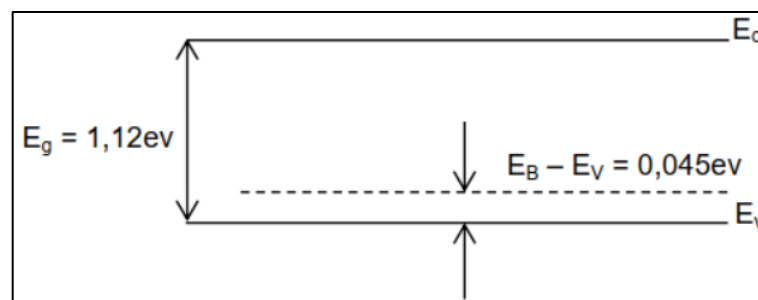


Figura 3: Semicondutor: modelo de bandas dopado com boro
Fonte: (SOUZA, 2016)

2.1.4 Junção PN

Uma junção PN consiste na combinação de um material tipo N e um tipo P, de modo que parte dos elétrons presentes na região N migram por difusão para as lacunas na região P. Assim, formam-se íons negativos na região P e esses elétrons deixam cargas positivas nas posições ocupadas pelas impurezas N como consequência do abandono dos seus átomos de origem (TEIXEIRA, 2003).

Teixeira (2003) ainda diz que há a formação de uma carga negativa na posição do átomo receptor. Na região N ficou para trás uma carga positiva, na posição do doador. Assim, cria-se uma região de depleção. Uma vez que a carga espacial aumenta, essa região de depleção também chamada de barreira de potencial que impossibilita a transferências de elétrons. É importante ressaltar que a diferença de potencial na região de depleção a temperatura de 25°C é de 0,7V para o silício e 0,3V para o germânio.

2.2 ESTUDO DO EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico foi estudado por Edmund Bequerel em 1939 e é caracterizado pela diferença de potencial entre dois semicondutores de características elétricas diferentes (BUHLER, 2011). Nos últimos anos vem sendo desenvolvidas e aplicadas tecnologias na fabricação de células fotovoltaicas. De acordo com Pinho (2014), existem células feitas em filtros finos tradicionais, a partir da junção de semicondutores dopados e as baseadas em corantes, porém, as que dominam o mercado mundial no quesito fabricação e comercialização são as compostas de silício cristalino.

Baseado em Buhler (2011), as células fotovoltaicas podem ser divididas em células de primeira, segunda e terceira geração; as de primeira geração são enfatizadas neste trabalho, pois elas são as ideias para o critério de alimentação elétrica do projeto, além de serem as mais comercializadas e representarem em torno de 90% do mercado mundial. As células de segunda geração geralmente constituídas de silício amorfo, têm um menor custo de fabricação, porém, sua eficiência é muito baixa em relação as de silício cristalino e suas espessuras também são inferiores. As de terceira geração são células de baixa eficiência e são usadas em aplicações que englobam células orgânicas e pequenos cristais, e se encontram em fase de pesquisa e desenvolvimento.

2.2.1 Células fotovoltaicas de Silício

Como já exposto, o silício é um material semicondutor que se encontra em abundância na natureza, e a temperatura próxima de 0K não é um bom condutor de eletricidade, pois possui sua banda de condução completamente vazia. O acréscimo de impurezas ao silício, no caso o fósforo e boro, formam silício tipo P e tipo N respectivamente, e a união desses materiais gera uma junção PN que constitui a célula fotovoltaica de silício cristalino. Quando esse material é exposto a luz solar, seus elétrons vão absorver energia dos fótons que possuem energia maior ou igual a do gap (zona proibida) e com isso saltar para a banda de condução,

gerando assim pares elétron-lacuna no semicondutor. Quando a energia do fóton é maior que a do gap, o restante da energia é emitido na forma de calor, e com isso, há o aquecimento do material. Esse fenômeno recebe o nome de termalização da energia, como ilustrado na (figura 4).

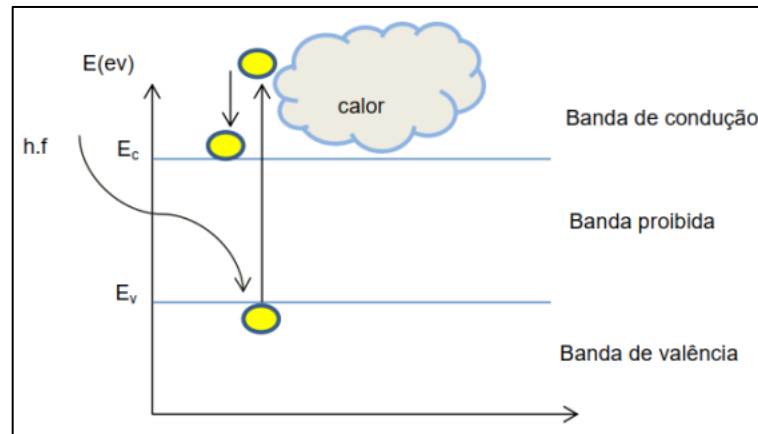


Figura 4: Semicondutor e efeito de termalização da energia, geração de pares elétron-lacuna

Fonte: (BUHLER, 2011)

Para realizar o balanço de energético com base na figura 4, é trivial ver que a energia do gap (E_g) é a diferença entre a energia mínima da banda de condução (E_c) e a banda de valência (E_v).

Segundo Pinho (2008), as células fotovoltaicas se comportam como diodos, pois na junção PN é permitida a passagem de corrente em apenas um sentido, e a uma diferença de potencial de no mínimo 0,7 volts, elas são preparadas essencialmente para que ocorra o efeito fotovoltaico.

A função dessas células é converter a energia que irradia do Sol em energia elétrica. Esse processo é caracterizado pelo efeito fotovoltaico, onde células constituídas por junções PNs fazem esse processo de conversão direta e os elétrons-lacuna gerados serão separados pela barreira de potencial da junção, por causa do campo elétrico gerado (figura 5).

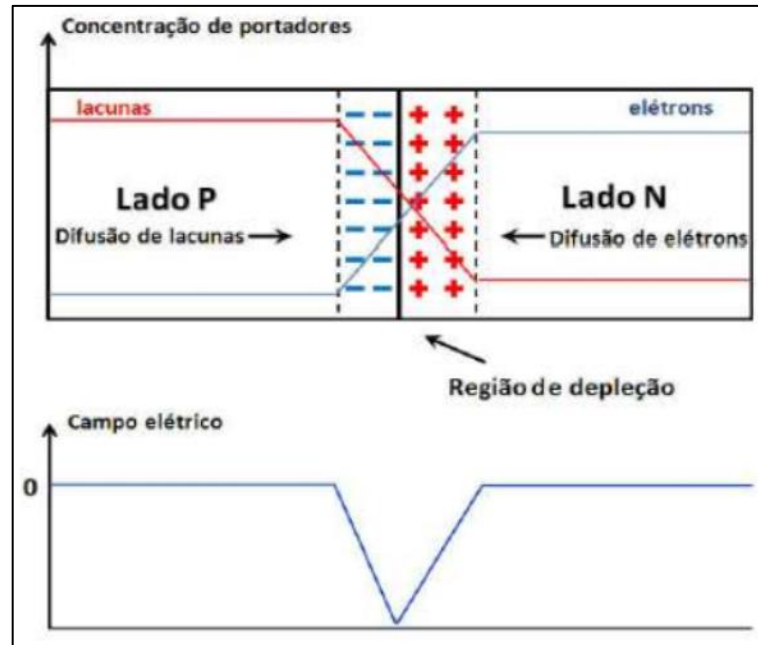


Figura 5: Esquema de uma junção PN ressaltando a concentração de lacunas nos materiais tipo N e tipo P, assim como o comportamento do campo elétrico
Fonte: Zilles et al (2012)

2.2.2 Amperagem, voltagem e eficiência de conversão em placas fotovoltaicas de silício dopado

Para um modelo idealizado de placa fotovoltaica, considerando que não existem qualquer fator que dissipe energia, como exemplo a resistência das barras metálicas acopladas na região externa da junção PN, podemos calcular a amperagem somando a corrente da célula no escuro(pode sofrer influência da temperatura) e a corrente fotogerada pela incidência solar, de acordo com a equação (SWART, 2008)

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{nKT} \right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

em que

I_L = corrente fotogerada pelo diodo;

I_0 = corrente reversa do diodo (pode ser determinada empiricamente) conhecida como corrente de fuga;

n = fator de idealidade do diodo;

q = carga elétrica elementar ($1,60 \times 10^{-19}C$);

K = constante de Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}J \cdot K^{-1}$);

T = temperatura absoluta;

V = diferença de potencial aplicada a célula.

No caso de não haver incidência de radiação, a corrente no circuito será função apenas do potencial externo inserido e será dado por (SWART, 2008)

$$I = I_o \left[\exp \left(\frac{qV}{nKT} \right) - 1 \right] . \quad (2.2)$$

Considerando que a polarização é direta da região de depleção, essa barreira de potencial vai diminuir com a inserção de uma tensão externa. Se a polarização for reversa, a corrente poderá ser considerada nula, pois a região de depleção vai aumentar com uma tensão externa, dificultando gradativamente a passagem de corrente elétrica.

Agora considerando elementos dissipativos, a equação da corrente precisa ser corrigida. Para apenas uma célula, expressamos a corrente pela equação

$$I = I_L - I_o \left[\exp \left(\frac{qV + IR_s}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2.3)$$

em que R_s é a resistência em serie e R_p resistência em paralelo.

A potência útil inserida ao sistema para um modelo ideal é encontrada utilizando a relação

$$P = V \cdot I . \quad (2.4)$$

Substituindo a equação 2.1 na equação 2.4, obteremos

$$P = \left\{ I_L - I_o \left[\exp \left(\frac{qV}{nKT} \right) - 1 \right] \right\} \cdot V ,$$

o que de forma idealizada nos fornece a seguinte equação para a potência gerada:

$$P = I_L \cdot V - I_o \cdot V \left[\exp \left(\frac{qV}{nKT} \right) - 1 \right] . \quad (2.5)$$

Agora considerando os fatores dissipativos, obtemos uma expressão para a potência gerada dada por

$$P = \left\{ I_L - I_o \left[\exp \left(\frac{qV + IR_s}{nKT} \right) - 1 \right] \right\} \cdot V ,$$

deste modo, seque que a potência será dada por:

$$P = I_L \cdot V - I_0 \cdot V \left[\exp \left(\frac{qV + IR_s}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{(V + IR_s) \cdot V}{R_p} \quad (2.6)$$

Para o cálculo da potencia máxima e a tensão máxima é necessário utilizar um recurso do cálculo diferencial: aplicar um limite que é considerado a derivada; no entanto aqui sem dar ênfase a essa aplicação, é possível através dos gráficos $I \times V$ e $I \times P$ expressar a máxima tensão e potência, de acordo com o comportamento da corrente e potência ao se aplicar uma tensão externa a célula, e com isso analisar para quais valores de corrente e tensão a potência é máxima (**figura 6**).

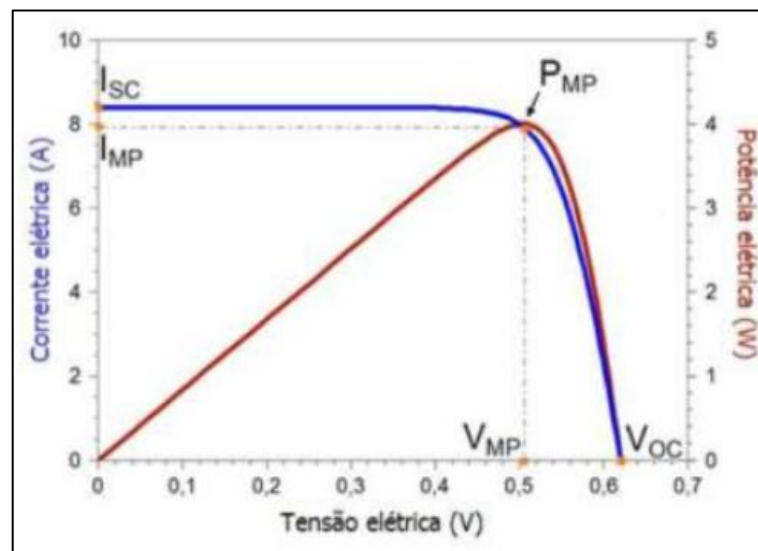


Figura 6: Corrente e potência elétrica em função da tensão externa aplicada a célula de silício
Fonte: (PINHO, 2014)

No presente trabalho é importante ressaltar a eficiência de conversão de uma célula solar. É trivial pensar que o rendimento depende da área da célula exposta a radiação e do nível de insolação diária, assim como os valores das células. De acordo com Gasparin (2012), o rendimento da conversão de uma célula fotovoltaica é dado pela razão entre a potência máxima entregue ao sistema e a potência da radiação solar incidente, sendo expressa isso pela equação

$$\eta = \frac{P_{mp}}{A \cdot G} \quad (2.7)$$

em que η é a eficiência de conversão, P_{mp} a potência máxima entregue a carga, A a área da célula e G a irradiação solar.

2.2.3 Influência da temperatura e irradiação solar no comportamento da voltagem nas células solares

A temperatura e a irradiação são parâmetros de suma importância para geração de corrente elétrica em semicondutores dopados. Está ilustrado nas figuras 7 e 8 o comportamento da corrente com a variação desses parâmetros sobre um módulo dopado.

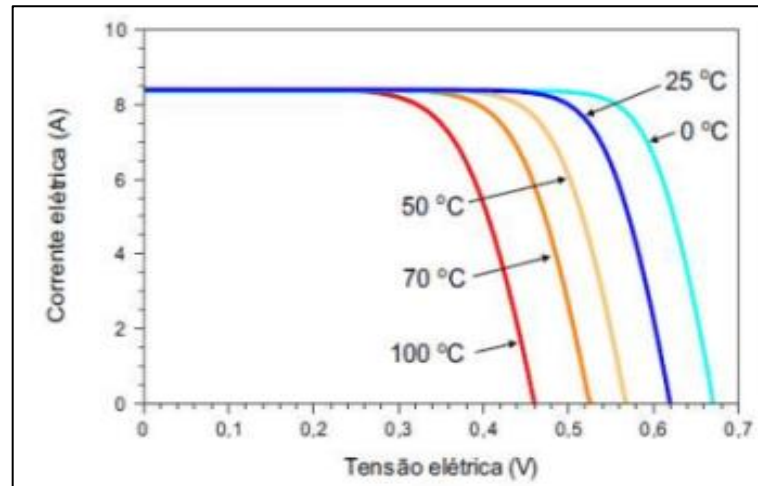


Figura 7: Influência da temperatura da célula no comportamento da curva corrente x tensão, com irradiação padrão de 1000 W/m² e espectro AM 1,5
Fonte: (PINHO, 2014)

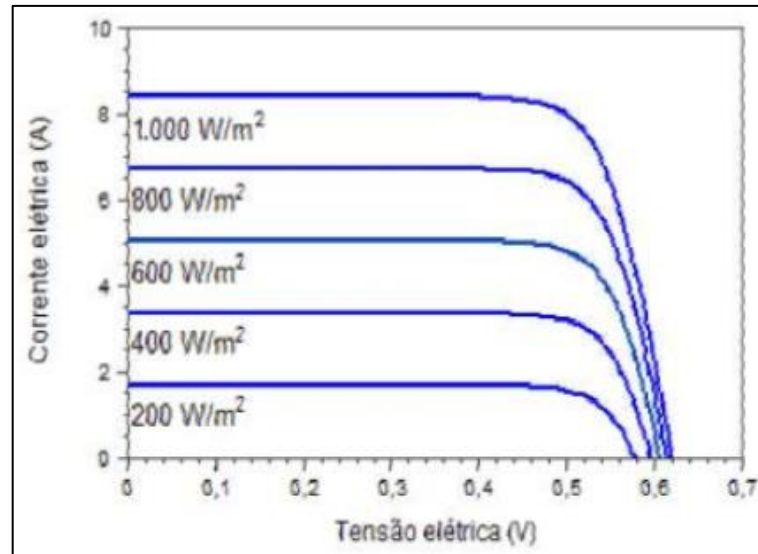


Figura 2.10: Influência da variação de irradiação solar no comportamento da corrente e tensão em célula de silício cristalino, a temperatura de 25 graus Celsius
Fonte: Zilles et al (2012)

3 MONITORAMENTO AMBIENTAL VIA DISPOSITIVO FOTOVOLTAICO

Existem muitos parâmetros ambientais que influenciam no clima gerando variações na temperatura e na umidade do ar, sendo muitos desses parâmetros advindos da intervenção humana na natureza. Um desafio da engenharia e meteorologia é desenvolver tecnologias que venham aquidrir informações e análises destes dados, tanto para a amenização de problemas gerados pela perturbação desses parâmetros, como para fazer previsões que venham a auxiliar políticas urbanas e a agricultura local.

3.1 TEMPERATURA DO AR E SUAS OSCILAÇÕES

A temperatura é uma grandeza física associada ao grau de agitação das moléculas de um corpo, sendo que quanto mais elevada essa temperatura, maior o grau de desordem. Isso ocorre porque a temperatura influencia na trajetória das moléculas fazendo com que suas velocidades aumentem e consequentemente elevam-se a frequência de colisões entre as partículas.

Uma das dificuldades para quantificar o campo térmico está relacionado a baixa densidade de informações conhecidas sobre a temperatura, isso devido ao pequeno número de estações meteorológicas que fazem análise de grandes áreas de maneira geral. Tais fatos são recorrentes na prática e motivam a concepção de técnicas para estimar a temperatura em locais onde esses dados são mais escassos. A temperatura do ar em locais que contêm poucos

dados, mas que possuem características climatológicas semelhantes a áreas que tenham grandes demandas de dados coletados é habitual a utilização de um modelo matemático que leva em consideração a variação da temperatura com a altitude.

3.1.1 Influência da temperatura do ar em seres vivos

A temperatura do ar é um parâmetro fundamental, contextualizado como fator de condicionamento a ambientes, garantindo conforto térmico ao homem, plantas e animais.

Silva (2006) aborda que cada espécie tem exigências diferentes quanto a variações na temperatura. Com isso, há uma faixa ideal, chamada de faixa ótima, uma fronteira onde é possível que haja crescimento e desenvolvimento normal de qualquer espécie. Esta zona está localizada dentro da zona de tolerância que possui limites mínimos e máximos críticos. Quando a temperatura do ar chega a um desses limites há mudanças fisiológicas nos organismos dos seres, fazendo diminuir a taxa de crescimento em função do tempo e do afastamento da faixa ótima, alterando assim a produção de biomassa. Vale ressaltar que variações muito acima ou abaixo da faixa ótima pode levar o organismo ao óbito.

Para os seres humanos a variação de temperatura é um parâmetro intimamente ligado ao bem estar físico. Sabe-se que em temperaturas elevadas há uma diminuição das atividades cognitivas e motoras, assim como se aumenta a taxa de metabolismo.

3.1.2 Composição do ar

De acordo com Silva(2006), o ar é composto por aproximadamente nove gases combinados, sendo que a maior parte é oxigênio e nitrogênio, e um acréscimo de uma pequena fração de água na forma de vapor. A umidade absoluta é a quantidade de vapor d'água contida em um metro cúbico de ar; uma dedução óbvia, pois é absolutamente a quantidade de água contida no ar.

O conceito de umidade relativa é complexo em relação a absoluta precisando de algumas considerações. Assumindo que $1m^3$ de ar pesa em torno de $1Kg$, assim imaginemos um cubo fechado contendo um $1m^3$ de ar. Neste, há presente uma certa proporção de água na forma de vapor. Supondo que essa quantidade seja de $20g$ de vapor, sua umidade absoluta seria de $20g$ de vapor/ m^3 de ar, mas esse ar pode conter mais água na forma de vapor. Considerando que o ar já está a uma certa umidade, e que mais água está evaporando, essa umidade vai se elevar até chegar a um limite. Sendo o máximo que o ar consegue suportar

essas moléculas na forma de vapor, Esta é a condição de saturação com umidade relativa igual a 100%. Caso esse limite seja ultrapassado, as moléculas em excesso irão condensar. Em outras palavras, a umidade relativa é uma grandeza que quantifica quanto o ar está próximo do limite de saturação (SILVA, 2006).

Segundo Silva (2006), levando-se em consideração o sentido físico, não existe um limite superior para a atmosfera, o que verifica-se é apenas uma rarefação progressiva com o aumento da altitude. A meteorologia considera que a atmosfera está compreendida entre 80 a 100Km de espessura. A camada atmosférica é predominantemente gasosa e muito densa em comparação ao raio médio da terra, representando somente cerca 1,6% desse raio. O ponto de vista meteorológico defende a tese que a porção mais importante da atmosfera não chega a 20Km de altitude, distância que representa 0,3% do raio do planeta, isso justifica a importância de preservá-la.

3.1.3 Vapor de água

De acordo com Miller (1971), a concentração de vapor de água na atmosfera é relativamente pequena, sendo que dificilmente ultrapassa 4% em volume. É bem variável e diminui com a altitude. Por exemplo, em regiões de clima tropical quente e úmido, o vapor d'água é encontrado próximo a superfície a uma proporção alta, já em regiões polares frias e secas essa quantidade cai consideravelmente.

Silva (2006) argumenta que o vapor de água apesar de se encontrar em baixa concentração é um constituinte atmosférico de suma importância porque interfere na distribuição de temperatura, pois além de participar dos processos de emissão e absorção de calor sensível a atmosfera, também atua como transportador de energia ao transmitir calor latente de evaporação de uma região para outra, sendo que é liberado como calor sensível, quando há condensação do vapor. O vapor d'água é o único constituinte da atmosfera que muda de estado físico em condições naturais, dando origem a nuvens, chuvas, orvalho e outros fenômenos.

3.2 ARDUINO E SENSOR DHT22

Arduino é uma plataforma que contém um microcontrolador com um canal USB que permite sua conexão a um computador, contendo diversos pinos que permitem sua conexão a circuitos externos, como sensores de umidade e temperatura. Os arduinos podem ser alimentados eletricamente pelo cabo USB ou por uma bateria de 9 Volts. Ele é um software de código aberto que fornece o direito ao usuário de estudar distribuir e fazer alterações no sistema operacional de forma gratuita, sendo que podem ser programados e ligados a um computador, e depois de desconectado pode trabalhar de forma autônoma (MONK, 2017).

Essa plataforma permite a programação de processos de entrada e saída com objetivo premeditado em dispositivos eletrônicos ligados a ele, podendo ser conectado a qualquer dispositivo que receba e/ou envie dados e possam ser controlados (MCROBERTS, 2011).

O Arduino é um dispositivo programado em linguagem C^{++} de baixo custo e com muitas funcionalidades, pois é capaz de receber um sinal da natureza e converter em um sinal elétrico decodificando-o, quantificando e qualificando a informação, que pode ser guardada em sua memória interna ou passada para a interface de um computador.

O sensor DHT22 é um sensor que mensura umidade e temperatura do ar, que efetua medições de umidade variando de 0 a 100% com precisão de 2% a 5%, e temperatura de -40 a $125^{\circ}C$ com uma precisão de ± 5 graus de precisão. Necessita de alimentação elétrica de $3,3V$ a $6V$, e corrente máxima durante a conversão de $2,5mA$, com uma taxa de amostragem de geralmente $0,5Hz$, ou seja, realiza duas leituras por segundo, possui quatro pinos, porém apenas 3 são utilizados: o *Vcc*, *GND* e *Data*. Esse tipo de sensor é fácil de se utilizar, mas requer cuidados com o tempo que vai ser feito as leituras consecutivas, pois é necessário um intervalo de no mínimo 1 segundo entre uma leitura e outra. Vale ressaltar que o sensor por utilizar apenas um pino digital é relativamente lento, com isso é necessário um tempo relativamente elevado entre as leituras.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Existe uma diversidade de projetos que podem ser implementados através de sensores ligados a arduinos. Aqui será exposto um projeto utilizando um arduino e um sensor DHT22, com a função de coletar dados de umidade e temperatura do ar.

Os materiais utilizados foram:

- Uma protoboard;

- Um arduino tipo UNO;
- Um cabo USB;
- Um LCD display I2C;
- Cabos Jumper macho-macho;
- Um resistor de 10K Ω ;
- Conversor buck;
- Pannel solar 10W.

Montagem: Primeiro é conectado os cabos *Vcc* e *GND* do arduino na protoboard, depois conectamos o sensor DHT22, ele possui 4 pinos da esquerda para a direita, sendo respectivamente para alimentação, comunicação, um pino nulo e um *GND*, na linha de comunicação deve ser colocado um resistor de 10K Ω (Figura 9).

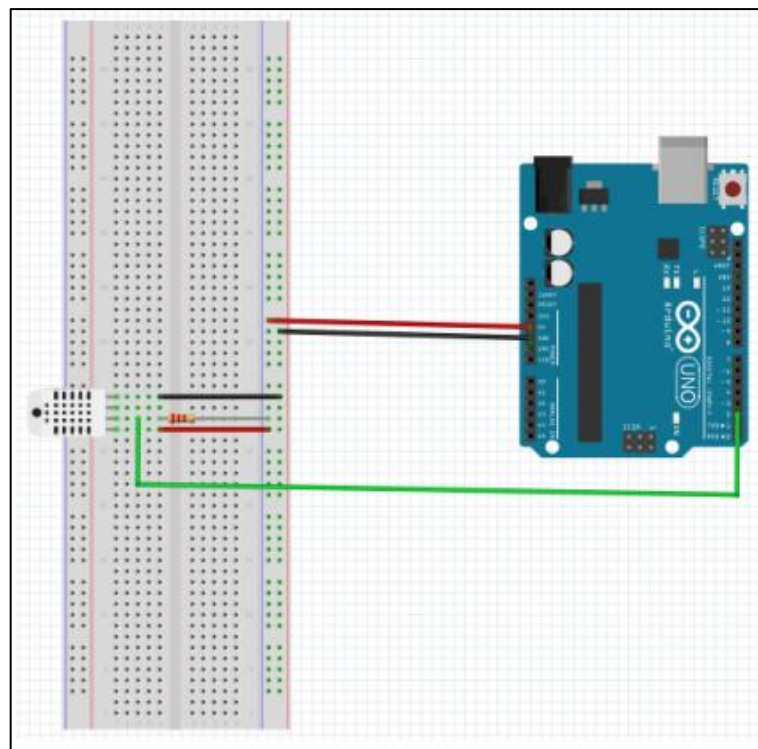


Figura 9: Conexão do sensor DHT22
Fonte: Próprio Autor

Agora conectamos os cabos do display com o Arduino. Este também possui 4 pinos, *Vcc* para a alimentação, um *GND*, um para comunicação(*SDA*), que deve ser conectado ao pino A4 do arduino UNO e um temporizador entre os dispositivos (*SCL*), que funciona como uma referência de tempo para a leitura da informação, devendo ser conectado ao cabo A5 do arduino (**figura 10**).

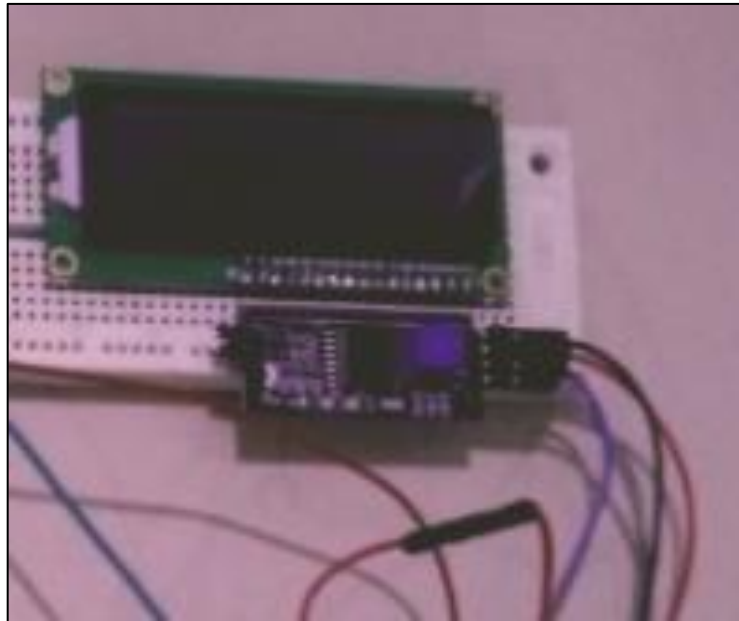


Figura 10: Conexão do display
Fonte: Próprio Autor

O sensor DHT22 e o display precisam ser calibrados, e para isso, é necessário a inserção de bibliotecas. Elas ampliam o ambiente do arduino proporcionando funções extras que permitem o trabalho com hardwares específicos. Existem mais de uma forma de inserir essas bibliotecas no arduino e, neste trabalho, elas foram baixadas via internet e instaladas com o procedimento adequado.

3.3.1 Viabilidade econômica

Economicamente o projeto se mostrou viável, pois o custo dos acessórios para realização da montagem tiveram um investimento inicial baixo comparado com a aquisição de estações meteorológicas mais sofisticadas.

Os gastos foram:

- Paine solar - R\$120,00
- Arduino UNO - R\$50,00
- Sensor de temperatura e umidade DHT22 - R\$37,00
- Protoboard - R\$45,00
- LCD display I2C - R\$16,00
- Cabos jumper macho-macho - R\$13,00
- Conversor buck - R\$24,00

Somando um total de R\$305,00.

3.3.2 Programação do microcontrolador

O objetivo é apenas demonstrar como funciona o sensor, e por este motivo foi utilizado o exemplo adaptado da biblioteca. Primeiro é preciso incluir a biblioteca do sensor DHT22 e do display, em seguida configurar o display e o sensor, e por último definir os pinos utilizados para a comunicação do DHT22 especificando o sensor (**figura 11**).

O passo seguinte é inicializar o display no bloco `void setup()` com a frase "testando o sensor de umidade e temperatura DHT22!", depois é só inicializarmos o DHT com o `dht.begin()`. No `void loop()`, há a necessidade de esperar um certo tempo para mostrar algo no display, visto que o display precisa de um intervalo de tempo para fazer uma leitura, cerca de 250 *milisegundos* para realizar a leitura, assim esperamos 1 segundo no bloco (`delay(1000)`) (**figura 12**).

Depois declaramos variáveis para ler a umidade e a temperatura, `float h = dht.readhumidity();` e `float t = dht.readtemperature();`, respectivamente. As variáveis são do tipo ponto flutuante (`float`) porque os valores obtidos estão em porcentagem e/ou não são inteiros. Para o caso de haver erro na leitura, temos a instrução `if (isnan(h))/isnan(t))lcd.setCursor(0,1);lcd.print("falha na leitura");return;` (**figura 12**). Caso não haja erro, o programa é instruído a escrever no display informações que o sensor leu. Na primeira linha e coluna imprime-se "umidade" e na sexta coluna da primeira linha lê-se o valor da umidade. Para a temperatura o processo análogo.

Estrutura do código:

```
#include <Wire.h> // biblioteca do módulo I2C

#include <LiquidCrystal_I2C.h> // biblioteca do LCD

LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, positive); // configuração do LCD
#define PINODHT 2 //Pino para comunicação com DHT
#define TIPODHT DHT22 //DHT22 (AM2302/ AM2321)

DHT dht(PINODHT, TIPODHT); //Configuração do DHT

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  lcd.begin(16, 2); //inicializa o lcd
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temperatura");
  delay(2500);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Umidade");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("DHT 22!");
  delay(2500);
  lcd.clear();
  dht.begin(); // inicializar DHT
}
```

Figura 2.13: Inicialização do DHT

Fonte: Próprio autor

```

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    delay(1000); // espera 1 segundo para as informações aparecem no display
    float h = dht.readhumidity(); // lê a umidade, leva em cerca de 205 milissegundos.
    float t = dht.readtemperature(); // lê a temperatura em celsius, padrão

    // checar se deu erro em alguma leitura
    if (isnan(h) || isnan(t)) {
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("falha na leitura!");
        return;
    }
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("umidade");
    lcd.setCursor(0, 6);
    lcd.print(h);
    lcd.setCursor(12, 0);
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("temperatura");
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print("°C");
}

```

Figura 12: Código principal

Fonte: Próprio autor

3.3.3 Protótipo do dispositivo

Até este momento foi desenvolvido um protótipo do dispositivo, como ilustrado abaixo (**figuras 13 e 14**). Porém, ainda é necessário coletar dados a m de validar os resultados obtidos neste Trabalho de Conclusão de Curso. Essa tarefa será realizada na próxima fase do projeto de pesquisa.



Figura 13: Protótipo do dispositivo

Fonte: Próprio Autor

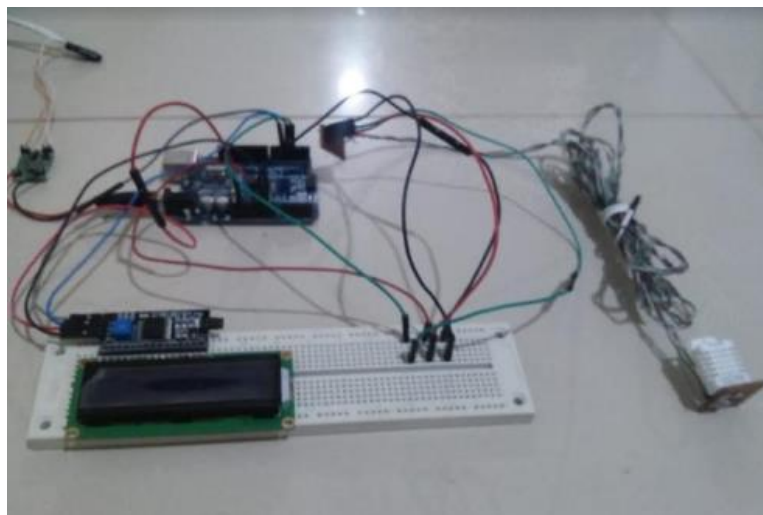


Figura 14: Detalhes do protótipo do dispositivo
Fonte: Próprio Autor

Este protótipo vai coletar dados climáticos continuamente durante o dia, sendo mantido por uma placa solar de 10W de potência, no entanto essa potência é alta para o Arduino e o sensor, por isso foi usado um conversor buck que é um abaixador de tensão *CC – CC* que calibra a tensão, garantindo o funcionamento dos acessórios.

Para a obtenção de dados com o dispositivo é necessário a calibração do sensor, no entanto é notório que o dispositivo é capaz de coletar dados climáticos que podem ser posteriormente analisados e, a partir da análise desses parâmetros, elaborar subsídios de paisagismo, fazer previsões pluviométricas e com isso auxiliar a agricultura local e prevenir, por exemplo, doenças advindas da variação da umidade e da temperatura.

4 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Com base na análise e em conhecimentos empíricos foi evidenciado que redes de sensores com microcontroladores fazem parte de um campo de pesquisa promissor e que se encontra em ascendência, onde há uma constante evolução nos seus constituintes internos, tornando viável análises climáticas que antes eram impossíveis de mensurar.

A proposta deste Trabalho de Conclusão de Curso teve um caráter inicialmente teórico, mas que culminou com elaboração e construção de um dispositivo fotovoltaico pronto para captar dados relacionados ao meio ambiente local, podendo contribuir para a agricultura, saúde local e implementação de políticas urbanas a partir da prática do monitoramento de condições climáticas no auto oeste potiguar.

Sem dúvida, os resultados alcançados na proposta deste trabalho virão a impulsionar outras pesquisas e incentivar o governo e empresários a investir em mais pesquisas nessa região a fim de conhecer e explorar mais ainda os parâmetros climáticos que causam problemas ambientais e danos à saúde pública. O trabalho está embasado na utilização de recursos inovadores e de baixo custo, auxiliando a solução do problema com baixo custo e de forma a não prejudicar o meio ambiente, ou seja, de forma limpa.

Até este estágio foi desenvolvido um protótipo do dispositivo como ilustrado na seção 3.3.3. Porém, ainda é necessário coletar dados a fim de validar os resultados obtidos, essa tarefa será realizada na próxima fase do projeto. Futuramente pode-se implementar ao circuito uma bateria de 9V, para que o sistema funcione também durante a noite, sendo que essa bateria será ligada ao painel, e assim, parte da energia recarregará a bateria e o restante irá alimentar o sistema durante o dia, garantindo a autonomia energética e coleta contínua de dados.

A plataforma Arduino tem compatibilidade com uma variedade de sensores, o que torna possível a implementação de melhorias (upgrades) na parte física e lógica do dispositivo, podendo trazer aprimoramentos na funcionalidade de coleta de parâmetros ambientais. O Arduino é uma ferramenta de fácil utilização e baixo custo capaz de auxiliar a determinação da umidade e temperatura do ar. O monitoramento ininterrupto dessas variáveis é feito de forma autônoma e levará a cumprir todos os objetivos seguintes a esta proposta.

Outra melhoria que poderá ser realizada é através do aumento do número de sensores em diferentes locais para que possam ser obtidos dados mais precisos, aumentando assim o campo de pesquisa nessa área na região do auto oeste potiguar e que até então são escassas.

REFERÊNCIAS

- BUHLER, A. J. **Estudo de técnicas de determinação experimental e pós processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos**. 2008. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2008.
- BRAGA, M. S. **Sensor de imagem para detecção de gases**. 2008. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2008.
- EMUFERSA - Estação Meteorológica da UFERSA Campus Pau dos Ferros. Disponível em: <<https://engcivilpau dosferros.ufersa.edu.br/estacao-meteorologica-cmpf/>>. Acesso em: 01 Mar. 2019 .
- GASPARIN, F. P. **Análise de efeitos transientes na caracterização elétrica de módulos fotovoltaicos**, 2012.
- MCROBERTS, M. **Beginning Arduino**: Apress. New York, USA, 2011.
- MILLER, A. **Meteorology**. Charles E. Merrill Publishing Company, Columbus, Ohio 1971.
- MONK, S. **Programação com Arduino**: começando com Sketches. Bookman Editora, 2017.
- NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 21 f. Monografia (Especialização em Engenharia). Universidade Federal de Lavras, MG, 2004.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: cepel/cresesb, 2014.
- SILVA, M. A. V. **Meteorologia e climatologia**. 2006.
- SOUZA, J. R. P. S.; NETO, A. M. J. C. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações para o ensino médio**. 2016. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.
- SWART, J. W. **SEMICONdutores**: Fundamentos, Técnicas e Aplicações. Ed. UNICAMP, 2008.

TEIXEIRA, I.M.C; TEIXEIRA, J.P.C. **Conceitos Básicos de Electrónica**. 2003.