



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

LUAN SALES SILVA

**ANÁLISE DE UMA PLATAFORMA DE MONITORAMENTO DE CONDIÇÕES
CLIMÁTICAS PARA FOMENTAR DADOS VISANDO O DESENVOLVIMENTO DO
DISCENTE DA UFC - CAMPUS CRATEÚS**

CRATEÚS

2022

LUAN SALES SILVA

ANÁLISE DE UMA PLATAFORMA DE MONITORAMENTO DE CONDIÇÕES
CLIMÁTICAS PARA FOMENTAR DADOS VISANDO O DESENVOLVIMENTO DO
DISCENTE DA UFC - CAMPUS CRATEÚS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Vagner de Lima

CRATEÚS

2022

LUAN SALES SILVA

ANÁLISE DE UMA PLATAFORMA DE MONITORAMENTO DE CONDIÇÕES
CLIMÁTICAS PARA FOMENTAR DADOS VISANDO O DESENVOLVIMENTO DO
DISCENTE DA UFC - CAMPUS CRATEÚS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental
e Sanitária da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Ambiental e
Sanitária.

Aprovada em: 25 de Maio de 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sandro Vagner de Lima (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Luana Viana Costa e Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Pedro Dias Pinto
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S581a Silva, Luan Sales.
Análise de uma plataforma de monitoramento de condições climáticas com o intuito de fomentar dados visando o desenvolvimento do discente da ufc - campus crateús / Luan Sales Silva. – 2022.
82 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Ambiental, Crateús, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Sandro Vagner de Lima.

1. Plataforma arduino. 2. Condições climáticas. 3. Diretrizes curriculares. I. Título.

CDD 628

Aos meus pais, Ismênia e Valtemir, pela força e trabalho árduo durante toda a minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ismênia e Valtemir, pelo incentivo e força durante toda a minha jornada acadêmica.

Aos meus irmãos, Brendha e Bergson, pelo apoio de sempre.

Ao Sandro, meu orientador e minha grande referência como profissional, um apoiador da ciência e um dos seres humanos com maior força de vontade e inteligência já conhecido por mim. Apoiou minhas ideias complicadas e assim obtemos sucesso.

Ao Landson, que esteve sempre disponível a me ajudar no laboratório de Física, dividindo seu tempo e seus conhecimentos que foram imprescindíveis para a execução do projeto.

Ao Doutorando em Engenharia Elétrica, Ednardo Moreira Rodrigues, e seu assistente, Alan Batista de Oliveira, aluno de graduação em Engenharia Elétrica, pela adequação do *template* utilizado neste trabalho para que o mesmo ficasse de acordo com as normas da biblioteca da Universidade Federal do Ceará (UFC).

À Gabriela, Ivo, Fabrinny (Bia) , Isabel, e Jenilson, que estiveram ao meu lado durante todo o percurso, fazendo tudo se tornar mais divertido e com mais sentido.

Ao Jefferson, William (Pernambuco), Gildânio e Professor Dr. Miranda, meus companheiros de Engenharia de Minas, que me acolheram como um bom amigo, compartilharam de inúmeros momentos, bons e ruins, e se tornaram amigos para a vida.

A Mara, que com sua doçura se tornou uma grande amiga da faculdade e de vida, sempre com os melhores conselhos e puxões de orelha.

A Leyanne, que mesmo com todas as nossas divergências sempre me proporcionou momentos incríveis.

A todos os meus amigos de Tauá, que sempre me apoiaram em minhas decisões e estiveram comigo em todas as fases. A vida é bem melhor na companhia de vocês!

“Faça as coisas o mais simples que você puder,
porém não se restrinja às mais simples.”

(Albert Einstein)

RESUMO

A concepção de atividades práticas que representam a realidade enfrentada pelos egressos da UFC em Campus Crateús é uma necessidade pedagógica atual na prática da docência no Campus. Geralmente, embora seja necessário a realização de atividades práticas durante o ciclo formativo do egresso, como demonstra o Projeto Pedagógico do Curso (PPC) de Engenharia Ambiental e Sanitária, os instrumentos comerciais usados para executar tais atividades possuem um alto custo de aquisição e manutenção, dificultando a consolidação de um currículo mais contextualizado com as necessidades atuais e com as Novas Diretrizes Curriculares dos Cursos de Engenharias. Portanto, o objetivo desse trabalho foi analisar a viabilidade técnica da construção de um sistema de baixo custo para monitoramento e caracterização de sistemas fotovoltaicos para fins educacionais e científicos. Dessa forma, o uso da plataforma Arduino viabilizou a realização do presente projeto de graduação, tendo em vista o seu baixo custo de aquisição e operação e a sua prototipação que detém a capacidade de executar trabalhos simples ou complexos com o uso de sensores específicos. Assim, este projeto é um *design science* baseado na validação dos dados coletados no protótipo projetado. A metodologia do projeto foi dividida em 3 etapas, sendo elas : a) Procedimento de coleta de dados, onde foi realizada a conexão dos sensores com a plataforma e sua programação de funcionamento, sendo estes: sensor de chuva YL-83, sensor de temperatura e umidade DHT11, sensor de temperatura DS18B20, sensor de tensão e corrente e um módulo fotovoltaico para que os dados possam ser obtidos; b) Análise dos dados, onde ocorreu o tratamento e calibração dos dados e; c) Liberação para o uso, onde foi liberado em forma digital uma planilha no formato *.xlsx* na plataforma *google sheets* para consulta gratuitamente. A partir dos dados coletados pode-se concluir que a plataforma usada retornou um resultado positivo dado sua boa reprodutividade ao se comparar os dados obtidos com os fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), comprovando a eficiência da plataforma arduino com sensores de baixo custo, devido à ocorrência de variações pequenas quando comparadas aos sistemas de alto custo. Constatou-se assim, a viabilidade do uso de sistemas automáticos de captação de informações atmosféricas como ferramenta pedagógica para a qualificação dos egressos na área de gestão energética e monitoramento das condições climáticas.

Palavras-chave: Plataforma Arduino. Condições Climáticas. Diretrizes Curriculares.

ABSTRACT

The conception of practical activities that represent the reality faced by UFC graduates on Campus Crateús is a current pedagogical need in the practice of teaching on the Campus. Generally, although it is necessary to carry out practical activities during the graduate's training cycle, as demonstrated by the Pedagogical Project of the Environmental and Sanitary Engineering Course (PPC), the commercial instruments used to carry out such activities have a high acquisition and maintenance cost, making it difficult to consolidate a curriculum that is more contextualized with current needs and with the New Curriculum Guidelines for Engineering Courses. Thus, the objective of this work was to analyze the technical feasibility of building a low-cost system for monitoring and characterizing photovoltaic systems for educational and scientific purposes. In this way, the use of the Arduino platform made it possible to carry out the present graduation project, in view of its low acquisition and operation cost and its prototyping that has the ability to perform simple or complex works with the use of specific sensors. Thus, this project is a design science based on the validation of the data collected in the designed prototype. The project methodology was divided into 3 stages: a) Data collection procedure, where the sensors were connected to the platform and its operating schedule, namely: YL-83 rain sensor, temperature sensor and humidity DHT11, temperature sensor DS18B20, voltage and current sensor and a photovoltaic module so that the data can be obtained; b) Data analysis, where data processing and calibration took place and; c) Release for use, where a spreadsheet in .xlsx format was released on the google sheets platform for consultation free of charge. From the data collected it can be concluded that the platform used returned a positive result given its good reproducibility when comparing the data obtained with those provided by the National Institute of Meteorology (INMET), proving the efficiency of the Arduino platform with low cost sensors, due to the occurrence of small variations when compared to high cost systems. Thus, the feasibility of using automatic systems for capturing atmospheric information as a pedagogical tool for the qualification of graduates in the area of energy management and monitoring of climatic conditions was verified.

Keywords: Arduino platform. Climate conditions. Curriculum Guidelines

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Recursos energéticos totais no planeta	25
Figura 2 – Representação de uma Onda Eletromagnética	26
Figura 3 – Intervalos do espectro eletromagnético	27
Figura 4 – Esquema da irradiação em um plano horizontal no globo terrestre.	28
Figura 5 – Distribuição mundial da irradiação global na horizontal	29
Figura 6 – Radiação solar global diária, média anual ($\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$) do Brasil	30
Figura 7 – Comportamento mensal do nível de radiação solar de três capitais brasileiras localizadas a diferentes latitudes	31
Figura 8 – Representação do efeito fotovoltaico em um material semicondutor	32
Figura 9 – Esquema das bandas de condução e valência na dopagem do tipo n e tipo p.	32
Figura 10 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica	33
Figura 11 – Curva característica I-V de um módulo fotovoltaico. Em azul, a curva de corrente elétrica versus a tensão elétrica no módulo, enquanto que em vermelho, é a potência elétrica gerada no módulo em função da tensão elétrica.	35
Figura 12 – Curva I-V do módulo fotovoltaico e definição do fator de forma (FF).	37
Figura 13 – Curvas I-V com diferentes fatores de forma (FF).	37
Figura 14 – Influência da variação da irradiância solar na curva característica I-V de uma célula fotovoltaica de silício cristalino na temperatura de 25°C	39
Figura 15 – Variação do ponto de potência máxima (P_{MP}) de um módulo com a mudança de irradiância	40
Figura 16 – Influência da temperatura da célula fotovoltaica na curva I-V	40
Figura 17 – Comportamento do ponto de potência máxima (P_{MP}) de um módulo fotovoltaico com a mudança de temperatura.	41
Figura 18 – Placa de Arduino UNO e os Pinos de energia	43
Figura 19 – Tabela apresentando as principais placas arduino no mercado.	44
Figura 20 – Traçador de Curva I-V 400 e I-V 500	45
Figura 21 – (a) Esquemático geral do método capacitivo, (b) transiente de carregamento do capacitor onde a curva $I \times V$ é caracterizada	46
Figura 22 – Traçador de curva $I \times V$ produzido com fonte de 4 quadrantes	47
Figura 23 – Representação da placa controladora Arduino utilizado no protótipo construído	50

Figura 24 – Representação do esquema de ligação do sensor de chuva YL-83 na placa controladora Arduino UNO	51
Figura 25 – Representação do esquema de ligação do sensor de umidade e temperatura na placa controladora Arduino	52
Figura 26 – Representação do esquema de ligação do sensor de temperatura DS18B20 na placa controladora Arduino	53
Figura 27 – Representação do método de divisão dos resistores em série	53
Figura 28 – Módulo fotovoltaico utilizado no artefato	54
Figura 29 – Trimpot Linear Horizontal de 10K (10000)	55
Figura 30 – Esquema de montagem dos sensores do artefato	55
Figura 31 – Fluxograma de captação das informações do meio ambiente pela plataforma	56
Figura 32 – Fonte regulável utilizada para calibração do sensor de tensão e corrente . .	57
Figura 33 – Esquema de ligação da fonte regulável para calibração dos sensores de tensão e corrente	57
Figura 34 – Tabela contendo os dados da estação automática de número A305	58
Figura 35 – Localização da estação A305 e local de teste da plataforma	58
Figura 36 – Plataforma construída com os sensores acoplados	64
Figura 37 – Imagem da planilha com dados obtidos na plataforma	65
Figura 38 – Curva I x V obtida de acordo com o método resistivo	66
Figura 39 – Localização de instalação na plataforma na Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Crateús	67
Figura 40 – Áreas de estudo que o protótipo pode oferecer maior aprendizado ao discente	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo unitários da construção da plataforma	59
Tabela 2 – Valores de variação de tensão obtidos pela plataforma	60
Tabela 3 – Valores de variação de corrente obtidos pela plataforma	61
Tabela 4 – Comparação entre dados do site do INMET e os dos sensores acoplados . .	62
Tabela 5 – Erro percentual dos sensores da plataforma comparado a estação A305 . . .	62
Tabela 6 – Comparação entre dados do site do INMET e os dos sensores acoplados . .	63
Tabela 7 – Erro percentual do sensor da plataforma comparado a estação A305	63
Tabela 8 – Dados obtidos de acordo com a curva característica I x V para uma temperatura média de 29 °C e radiação de 876,13 KJ/m ²	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MME	Ministério de Minas e Energia
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PV's	Painéis Solares Fotovoltaicos
SIN	Sistema Interligado Nacional
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Apresentação e organização do trabalho de conclusão de curso	15
1.2	Objetivos	19
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	19
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	19
1.3	Justificativa	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1	Fontes Renováveis e Energia Solar	24
2.2	Radiação Solar	25
2.2.1	<i>Radiação solar na superfície terrestre</i>	26
2.3	Recurso Solar	28
2.3.1	<i>Recurso solar no Brasil</i>	28
2.4	Energia Solar Fotovoltaica	30
2.4.1	<i>Efeito Fotoelétrico</i>	30
2.4.2	<i>Célula Fotovoltaica</i>	30
2.4.3	<i>Curva Característica I-V</i>	33
2.4.4	<i>Parâmetros Elétricos</i>	34
2.5	Influência dos Fatores Externos nas Características Elétricas dos Módulos Fotovoltaicos	37
2.5.1	<i>Influência da irradiância na Curva I-V</i>	37
2.5.2	<i>Influência da Temperatura na Curva I-V</i>	39
2.6	PLATAFORMA ARDUÍNO	41
2.6.1	<i>Comunicação sensor - Arduino</i>	42
2.6.2	<i>Uso do arduino na caracterização de células fotovoltaicas</i>	43
2.7	Novas Diretrizes Curriculares e o Uso do Arduino como ferramenta pedagógica	46
3	METODOLOGIA APLICADA	49
3.1	Tipo de estudo	49
3.2	Procedimentos de coleta de dados	49
3.2.1	<i>Sensor de chuva YL-83</i>	50

3.2.2	<i>Sensor de umidade e temperatura DHT11</i>	50
3.2.3	<i>Sensor de Temperatura DS18B20 à Prova D'água</i>	51
3.2.4	<i>Sensor de tensão</i>	52
3.2.5	<i>Sensor de Corrente</i>	53
3.2.6	<i>Módulo fotovoltaico</i>	53
3.2.7	<i>Caracterização do Módulo Fotovoltaico</i>	54
3.2.8	<i>Montagem dos sensores da plataforma de monitoramento</i>	54
3.3	Análise dos dados	55
3.3.1	<i>Tratamento dos dados da estação</i>	55
3.3.2	<i>Calibração dos sensores</i>	56
3.4	Liberação para o uso	57
3.5	Custo da Construção da Estação de baixo custo	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1	Calibração dos sensores	59
4.1.1	<i>Sensor de tensão</i>	59
4.1.2	<i>Sensor de corrente</i>	60
4.1.3	<i>Sensor de temperatura</i>	60
4.1.4	<i>Sensor de umidade</i>	61
4.1.5	<i>Sensor de chuva</i>	62
4.2	Construção da plataforma de monitoramento	63
4.3	Caracterização do módulo fotovoltaico	64
4.4	Local de Instalação da Plataforma	65
4.5	Diretrizes curriculares nacionais para engenharia	67
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
	REFERÊNCIAS	70
	APÊNDICE A - CÓDIGO FONTE UTILIZADO	76

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação e organização do trabalho de conclusão de curso

O uso da energia elétrica possibilitou a criação de equipamentos que revolucionaram a qualidade de vida dos seres humanos e contribuíram para o aumento de sua longevidade. Dada sua grande influência na sociedade do século XXI, o acesso à energia elétrica se tornou, progressivamente, mais essencial ao modo de vida contemporâneo demasiadamente conectado, o que desencadeou uma dependência nunca antes observada.

Neste contexto, a demanda por energia elétrica se expande diariamente, exigindo um aumento em sua produção a partir de diferentes fontes. A nível nacional, como relata a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), "o Brasil superou, no ano de 2007, a marca de 100 mil megawatts (MW) em potência instalada, sendo 75% de fonte hídrica e 25% de fonte térmica" (BRASIL, 2008). Dessa forma, no Brasil, a maior fonte de geração de energia elétrica está centralizada nas hidrelétricas.

Apesar de sua importância para matriz energética brasileira é importante observar que geração de energia elétrica a partir de hidrelétricas apresenta inúmeros impactos negativos, destacando-se: a necessidade de reassentamento das comunidades situadas próximas ao local da obra, a perda de vegetação devido à necessidade de inundação e a liberação de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono, o óxido nitroso e o metano, devido à decomposição da matéria orgânica inundada (FEARNSIDE, 2015). Soma-se a isso, o fato dessa geração ser dependente do nível dos reservatórios, o que é motivo de preocupação em anos com precipitação irregular de chuvas.

Além disso, apesar do país estar conectado por um sistema de ligações entre fontes geradoras e linhas de transmissão, conhecido como Sistema Interligado Nacional (SIN), que torna possível coordenar nacionalmente com cautela a geração e a transmissão da energia elétrica, ainda existem lugares que não conseguem ser atendidos pelo SIN. Dessa forma, para o abastecimento energético dessas regiões, faz necessária a criação de Sistemas Isolados que podem ou não ser interligados ao sistema nacional (BRASIL, 2008).

Tendo em vista esta demanda, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), apresentou, em seu Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) para 2029, políticas voltadas para a expansão do setor elétrico, com destaque para a importância da diversificação de fontes geradoras no país (EPE, 2019). O referido PDE aponta

ainda para o potencial energético do país em fontes renováveis, como a hidráulica, a eólica, a solar e a biomassa, tendo em conta as características distintas de cada região.

Em destaque, por ser considerada renovável e abundante, a energia solar fotovoltaica, cuja fonte é a radiação solar, apresenta-se como uma alternativa viável para a diversificação da matriz energética e para a descentralização da geração de energia. Além disso, diferentemente da energia gerada por hidrelétrica, a energia solar não é dependente dos níveis dos reservatórios e apresenta um grande potencial de produção, considerando a estimativa de que a quantidade de radiação solar incidente na superfície terrestre em menos de 1 hora seria o suficiente para suprir a demanda do mundo durante o período de 1 ano (DEMANBORO *et al.*, 2006).

Segundo Júnior *et al.* (2017), no Brasil, há um imenso recurso solar aproveitável devido a sua localização privilegiada em relação aos trópicos. A região Nordeste do Brasil, com uma área de 1.558.000 km², apresenta níveis de irradiação superiores aos do Japão e da Alemanha juntos, comprovando, assim, o potencial da região quanto ao uso da energia fotovoltaica (JÚNIOR *et al.*, 2017).

A principal tecnologia para aproveitamento desse tipo de energia faz uso de Painéis Solares Fotovoltaicos (PV's), que são formados por células solares que apresentam a capacidade de converter energia solar em energia elétrica. Essa capacidade é resultante do efeito fotovoltaico, que se manifesta a partir da interação da radiação solar com os constituintes de materiais do tipo semicondutores (FALCÃO, 2005). A conversão da radiação solar em energia elétrica sofre influência de inúmeros parâmetros, tais como: a radiação global (direta e difusa), a pressão atmosférica local, a temperatura, o índice pluviométrico e a umidade relativa do ar (SCHMIDT, 2016).

Dessa forma, para se ter uma previsão dos parâmetros elétricos dos painéis fotovoltaicos e, conseqüentemente, do seu potencial de produção, torna-se relevante a construção de sistemas de monitoramento dos fatores que influenciam a conversão da radiação solar em energia elétrica. De acordo com Bakker *et al.* (2019), as previsões podem auxiliar a sanar as incertezas da geração de energia em uma usina solar fotovoltaica ao fornecer dados precisos sobre os parâmetros locais.

Assim, torna-se essencial a criação e a difusão de sistemas de monitoramento automáticos de dados relacionados ao funcionamento de painéis fotovoltaicos, com o intuito de obter informações em tempo real dos parâmetros elétricos que caracterizam os painéis e das variáveis ambientais que influenciam o funcionamento dos dispositivos fotovoltaicos.

Neste contexto, advém a necessidade de favorecer a formação de engenheiros ambientais, tal que o currículo seja capaz de qualificar os egressos na área de atuação de fontes alternativas de geração de energia elétrica e seus processos de monitoramento. Soma-se a isso a necessidade de adequação dos cursos de engenharia ambiental e sanitária às novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) que recomendam que atividades acadêmicas dos cursos “sejam organizadas de modo que aproxime os estudantes do ambiente profissional, criando formas de interação entre a instituição e o campo de atuação dos egressos”.

Diante disso, é importante que os cursos percebam a necessidade de planejar atividades práticas que aproximem e/ou simulem situações profissionais, como uma ferramenta pedagógica e de pesquisa de grande importância para fomentar a formação dos discentes relativa ao aproveitamento de energia solar. Neste cenário, de acordo com Brasil (2019) nos termos do Art. 3º das novas DCNs, o projeto pedagógico dos cursos de engenharia deve planejar os cursos tendo em vista a promoção de competências necessárias a todo estudante de engenharia, de modo que o egresso ao final da trilha formativa possa: II - estar apto a pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias, com atuação inovadora e empreendedora; III - ser capaz de reconhecer as necessidades dos usuários, formular, analisar e resolver, de forma criativa, os problemas de Engenharia; IV - adotar perspectivas multidisciplinares e transdisciplinares em sua prática.

Apesar da relevância mencionada para formação do perfil do egresso, os altos custos dos instrumentos comerciais de medidas, tais como pirômetros, simuladores solares e instrumentos de caracterização elétrica das células solares, dificultam a efetivação de implantação de um currículo mais contextualizado, com as novas necessidades, que favoreça a formação na área de recursos energéticos. Soma-se a isso o fato de que os instrumentos comerciais presentes em estação meteorológica, como é o exemplo da estação do município de Crateús, não atendem ao quesito de autonomia e versatilidade para deslocamento. Sendo assim, é extremamente importante a construção de protótipos de baixo custo, com autonomia para deslocamento, que estime valores precisos de variáveis de interesse e que possa ser uma ferramenta pedagógica alternativa, contribuindo para a formação dos estudantes de engenharia do Campus da UFC em Crateús e potencializar outros estudos de relevância científica para a região dos sertões de Crateús.

Neste sentido, a proposta deste trabalho de conclusão de curso foi construir um protótipo de baixo custo para monitorar condições climáticas e realizar a caracterização elétrica

de sistemas fotovoltaicos. Dito isso, para atingir os objetivos deste trabalho, foi construído um sistema de monitoramento das condições climáticas baseado na plataforma Arduino a ser instalado na Universidade Federal do Ceará - campus Crateús, que fornece uma base de dados sobre os parâmetros climáticos. A coleta de dados realizada propõe-se ser uma alternativa pedagógica para a formação acadêmica dos discentes do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, no que se refere a área de atuação de gestão de recursos energéticos.

O trabalho, a partir desse ponto, está dividido em seis seções principais, sendo eles : **1.2, os objetivos**, dividido entre geral e específicos, que apresentam o intuito do estudo; **1.3, a justificativa**, descrevendo a importância desse estudo para a formação do engenheiro ambiental sanitário de acordo com as novas DCNs apresentadas; **2.0, o referencial teórico**, que possui todo o embasamento utilizado para que o trabalho fosse realizado de forma técnica e com os parâmetros de uma pesquisa científica; **3.0, a metodologia**, que descreve os procedimentos realizados com a finalidade de atingir todos os objetivos; **4.0, os resultados**, expondo os dados com os procedimentos utilizados e **5.0, as considerações finais**, onde especifica a viabilidade do estudo, apresenta as habilidades e competência desenvolvidas no estudo e sua influência na formação do engenheiro ambiental sanitário.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo geral*

Avaliar a viabilidade técnica da construção de um sistema de baixo custo para monitoramento e caracterização de sistemas fotovoltaicos para fins educacionais e científicos no Campus da UFC de Crateús.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Analisar o grau de reprodutividade de uma plataforma de obtenção de parâmetros de interesse de módulos fotovoltaico baseado no uso do Arduino e de sensores de baixo custo;
- Comparar dados das condições climáticas medidas a partir da plataforma construída com os obtidos de uma estação meteorológica conhecida;
- Desenvolver rotinas educacionais para uso da estação nas atividades acadêmicas do Campus;
- Elaborar uma plataforma de dados online com o auxílio do *Google Sheets* contendo os valores medidos pelo sistema possibilitando estudos futuros.

1.3 Justificativa

Conforme projeções do ano 2020 do (Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE)) relacionadas à demanda de energia para os próximos anos, o Brasil tem como desafio a necessidade de gerar maiores quantidades de energia para atender a sua demanda energética. Neste cenário, ressalta-se ainda que as atuais mudanças climáticas exigem novas posturas perante às fontes de energia elétrica. Assim, a justificativa de utilizar recursos fósseis poluentes no lugar de fontes renováveis não-poluentes, tendo como premissa uma provável eficiência elevada e atenuação de custos, não deve ser considerada imutável (SHAYANI *et al.*, 2006). O desenvolvimento sustentável deve ser um fator estruturante a ser considerado na tomada de decisões relacionadas à produção de energia.

Neste contexto, o uso da energia solar fotovoltaica como alternativa às formas convencionais de geração de energia e como política de diversificação energética do país, apresenta-se como benéfica à preservação das fontes tradicionais de energia, seja por conta da manutenção dos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas e/ou pela redução do uso de combustíveis fósseis (ROSA; GASPARIN, 2016).

Em termos de ações estratégicas, além de ser uma importante forma de garantir energia às comunidades afastadas, a energia solar se destaca por apresentar vantagens, tais como a disponibilidade durante todas as épocas do ano, a independência da operação do sistema por ser interligada ou não à rede de distribuição e a facilidade de instalação e manutenção (NASCIMENTO *et al.*, 2018). Apesar das vantagens apresentadas, a geração de energia elétrica a partir de dispositivos fotovoltaicos é influenciada por condições locais tais como radiação global, a pressão atmosférica, a temperatura, o índice pluviométrico e a umidade relativa do ar.

Portanto, dispor de informações por meio de estações climatológicas sobre temperatura, umidade, dias de chuva, irradiância solar e sua distribuição espectral e é fundamental para o dimensionamento correto e a implementação de melhorias nos sistemas que usufruem da energia solar. Além disso, do ponto de vista acadêmico, visando um currículo contextualizado e alinhado com as novas DCNs para engenharias, dispor desses dados é fundamental para o entendimento de um conjunto de conhecimentos necessários na formação dos engenheiros ambientais e sanitaristas.

Nesse âmbito, mostra-se necessária a formação de profissionais com habilidades e competências para lidar com monitoramento de sistemas fotovoltaicos. No que diz respeito ao egresso de engenharia ambiental e sanitária, como aponta o projeto pedagógico do curso do

Campus da UFC em Crateús, durante o ciclo formativo é necessária a capacitação em “Gestão Energética, com planos alternativos e/ou renováveis de geração de energia”, para atuação na área de recursos energéticos: Fontes tradicionais, alternativas e renováveis de energia relacionadas com a engenharia ambiental; Sistemas e métodos de conversão e conservação de energia e impactos energéticos ambientais; Eficientização ambiental de sistemas energéticos vinculados aos campos de atuação da engenharia”.

Nesse panorama, a instalação de uma estação de baixo custo, que forneça dados confiáveis para obtenção e monitoramento de parâmetros climáticos locais, pode potencializar práticas educacionais articuladas com as novas DCNs de diferentes componentes curriculares dos cursos do Campus da UFC em Crateús, além de colaborar com pesquisas sobre radiação solar, condições climáticas local e estudo de viabilidade de instalação de usinas fotovoltaicas.

Destarte, por meio da criação do sistema de captação e monitoramento de baixo custo instalado na Universidade Federal do Ceará - Campus Crateús, neste trabalho foi possível obter as informações de dados ambientais, na qual foram realizados testes de confiabilidade dos sensores da estação criada, visando estudos sobre previsões de radiação solar e outros diversos fatores. Espera-se que, esses dados possam ser ferramenta que auxilie a formação dos estudantes da Universidade Federal do Ceará - Campus Crateús, ao possibilitar a realização de prática de diversas disciplinas do curso, por exemplo: climatologia, drenagem urbana, saneamento e saúde, controle da poluição atmosférica, fontes de energias renováveis, hidrologia, dentre outras.

Conforme projeções do ano 2020 do (PDE) relacionadas à demanda de energia para os próximos anos, o Brasil tem como desafio a necessidade de gerar maiores quantidades de energia para atender a sua demanda energética. Neste cenário, ressalta-se ainda que as atuais mudanças climáticas exigem novas posturas perante as fontes geradoras de energia. Assim, a justificativa de utilizar recursos fósseis poluentes no lugar de fontes renováveis não-poluentes, tendo como premissa uma provável eficiência elevada e atenuação de custos, não deve ser considerada imutável (SHAYANI *et al.*, 2006). O desenvolvimento sustentável deve ser um fator estruturante a ser considerado na tomada de decisões relacionadas à produção de energia.

Neste contexto, o uso da energia solar fotovoltaica como alternativa às formas convencionais de geração de energia e como política de diversificação energética do país, apresenta-se como benéfica à preservação das fontes tradicionais de energia, seja por conta da manutenção dos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas e/ou pela redução do uso de combustíveis fósseis (ROSA; GASPARIN, 2016).

Em termos de ações estratégicas, além de ser uma importante forma de garantir energia às comunidades afastadas, a energia solar se destaca por apresentar vantagens, tais como a disponibilidade durante todas as épocas do ano, a independência da operação do sistema por ser interligada ou não à rede de distribuição e a facilidade de instalação e manutenção (NASCIMENTO *et al.*, 2018). Apesar das vantagens apresentadas, a geração de energia elétrica a partir de dispositivos fotovoltaicos é influenciada por condições locais tais como radiação global, a pressão atmosférica, a temperatura, o índice pluviométrico e a umidade relativa do ar.

Portanto, dispor de informações por meio de estações climatológicas sobre a temperatura, umidade, dias de chuva, irradiância solar e sua distribuição espectral e o comportamento dos painéis solares é fundamental para o dimensionamento correto e a implementação de melhorias nos sistemas que usufruem da energia solar. Além disso, do ponto de vista acadêmico, visando um currículo contextualizado e alinhado com as novas DCNs para engenharias, dispor desses dados é fundamental para o entendimento de um conjunto de conhecimentos necessários na formação dos engenheiros ambientais e sanitaristas.

Nesse âmbito, mostra-se necessário a formação de profissionais com habilidades e competências para lidar com monitoramento de sistemas fotovoltaicos. No que diz respeito ao egresso de engenharia ambiental e sanitária, como aponta o projeto pedagógico do curso do Campus da UFC em Crateús, durante o ciclo formativo, faz necessário a capacitação em “Gestão Energética, com planos alternativos e/ou renováveis de geração de energia”, para atuação na área de recursos energéticos: Fontes tradicionais, alternativas e renováveis de energia relacionadas com a engenharia ambiental; Sistemas e métodos de conversão e conservação de energia e impactos energéticos ambientais; Eficientização ambiental de sistemas energéticos vinculados aos campos de atuação da engenharia”.

Apesar da relevância acadêmica, os altos custos dos instrumentos comerciais usados para medir os parâmetros mencionados dificultam a consolidação de um currículo mais contextualizado com as necessidades atuais e com as Novas Diretrizes Curriculares. Nesse panorama, a instalação de uma estação de baixo custo, que forneça dados confiáveis para obtenção e monitoramento de parâmetros climáticos locais, pode potencializar práticas educacionais articuladas com as novas DCNs de diferentes componentes curriculares dos cursos do Campus da UFC em Crateús, além de colaborar com pesquisas sobre radiação solar, condições climáticas local e estudo de viabilidade de instalação de usinas fotovoltaicas.

Destarte, por meio da criação do sistema de captação e monitoramento de baixo

custo instalado na Universidade Federal do Ceará - Campus Crateús, neste trabalho de conclusão de curso foi possível obter as informações de dados ambientais, na qual foram realizados testes de confiabilidade dos sensores da estação criada, visando estudos sobre previsões de radiação solar e outros diversos fatores. Espera-se que, esses dados possa ser uma ferramenta que auxilie a formação dos estudantes da Universidade Federal do Ceará - Campus Crateús, ao possibilitar a realização de prática de diversas disciplinas do curso, por exemplo: climatologia, drenagem urbana, saneamento e saúde, controle da poluição atmosférica, fontes de energias renováveis, hidrologia, dentre outras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fontes Renováveis e Energia Solar

Atualmente a energia solar é uma das mais promissoras fontes renováveis. As energias ditas renováveis são enquadradas como aquelas geradas a partir de fontes limpas e inesgotáveis, e, por isso, representam uma opção de transição e uma alternativa acessível às fontes de energias fósseis causadoras de danos ambientais (LOPO, 2010).

Na concepção da palavra renovável a radiação solar não poderia ser considerada como uma fonte de energia renovável, tendo em conta o esgotamento futuro do hidrogênio no Sol. Entretanto, considerando a escala de tempo de vida no planeta Terra, pode-se assumir o Sol como uma fonte inesgotável. Ressalta-se ainda que a radiação solar promove todos os processos essenciais no planeta Terra, sejam estes de origem natural, tais como térmico, químico, e dinâmica, ou artificiais que desencadeiam no desenvolvimento tecnológico (PEREIRA *et al.*, 2017).

Pela escala de tempo acima mencionada, observa-se o grande potencial da radiação solar para geração de energia elétrica. Para se ter noção desse potencial, considerando os recursos energéticos das outras fontes de energia conhecidas, a Figura 1 apresenta uma comparação do potencial mundial da energia solar anual.

Figura 1 – Recursos energéticos totais no planeta



Fonte: MME (2017).

As tecnologias atuais que se baseiam na radiação solar para gerar energia elétrica são de duas formas: a fotovoltaica e a heliotérmica. A forma heliotérmica utiliza espelhos e lentes para a concentração dos raios solares para um ponto específico, no intuito de gerar vapores responsáveis pelo acionamento de turbinas para produzir eletricidade. Já a fotovoltaica é a geração de energia elétrica a partir do efeito fotovoltaico (ver seção 2.4.1), um fenômeno que aparece em materiais semicondutores, que, a grosso modo, pode ser definido como a formação

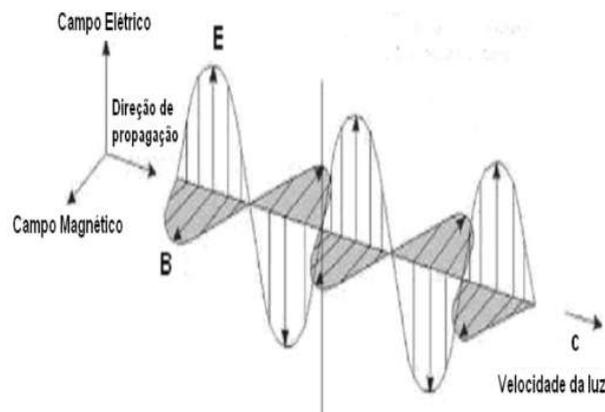
de tensão elétrica ou corrente no dispositivo quando exposto à luz (DANTAS; POMPERMAYER, 2018).

2.2 Radiação Solar

A radiação solar constitui-se de uma radiação eletromagnética gerada pelo sol e transmitida para a Terra durante o movimento de translação do globo, sendo a principal fonte de energia do planeta. Importante mencionar que nem toda radiação transmitida pelo Sol chega à superfície terrestre, já que sua interação com gases e partículas em suspensão na atmosfera faz com que parte da energia seja espalhada em todas as direções enquanto que a outra parte é absorvida (RODRIGUES, 2008).

As ondas de radiação eletromagnética são compostas pelo campo elétrico e magnético, conhecido como campo eletromagnético, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Representação de uma Onda Eletromagnética



Fonte: Martins (2015).

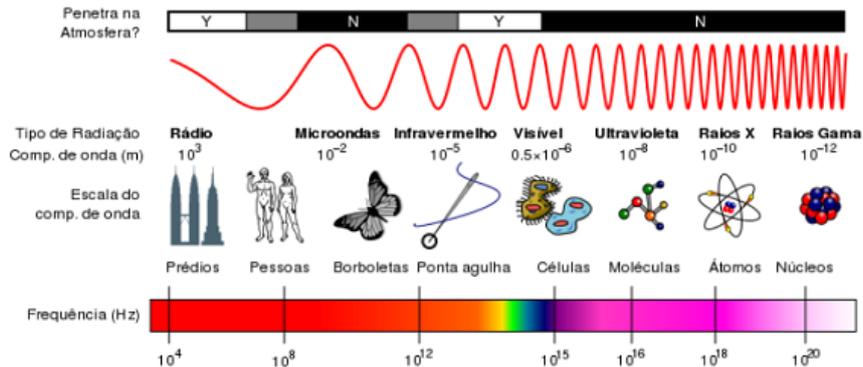
O campo elétrico decorre da propriedade carga elétrica da matéria, enquanto que o campo magnético é uma consequência do movimento dessa carga (WOLLINGER *et al.*, 2003). A velocidade de propagação dessas ondas está relacionado com o comprimento de onda e sua frequência, conforme a equação 2.1:

$$c = f \times \lambda \quad (2.1)$$

Onde, c = velocidade da luz (m/s), f = frequência (ciclo/s ou Hz) e λ = comprimento de onda (m).

O intervalo de frequências/comprimentos de onda da radiação eletromagnética é denominado como espectro eletromagnético. De acordo com o comprimento de onda esse espectro pode ser subdividido nas seguintes faixas: infravermelho, ultravioleta e o visível, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Intervalos do espectro eletromagnético



Fonte: Adaptado de Breastcancer.org (2015).

Ressalta-se ainda que a energia das radiações do espectro depende diretamente de sua frequência, pois, de acordo com a equação 2.2, quanto maior é a frequência, mais alta é a energia associada a um fóton da radiação (TOMASELLA; ROSSATO, 1915).

$$Q = h \times f \quad (2.2)$$

Onde, Q = quantidade de energia emitida, transferida ou recebida (J), h = constante de Planck = 6.62618×10^{-34} (J \times s) e f = frequência da radiação (ciclo/s ou Hz).

2.2.1 Radiação solar na superfície terrestre

É sabido que a radiação global solar que atinge a superfície em um dado instante e local é devida a duas contribuições: a direta e a difusa (VAREJÃO, 2006). A difusa se refere à radiação resultante de diversos processos de espalhamento que a radiação gerada pelo Sol sofre ao interagir com a atmosfera, com nuvens, poeiras em suspensão e outros, até atingir um local na superfície terrestre. Já a direta está relacionada à radiação decorrente da exposição total ou parcial do disco solar.

A Irradiância solar global é definida como a energia incidida em um determinado período de tempo em uma superfície, resultante da soma da irradiância direta e a difusa, conforme

a Equação 2.3.

$$G = G_{DIR} + G_{DIF} \quad (2.3)$$

Onde, G = irradiância solar global (W/m^2), G_{DIR} = irradiância solar direta na superfície da Terra (W/m^2) e G_{DIF} = irradiância difusa medida na superfície da Terra (W/m^2).

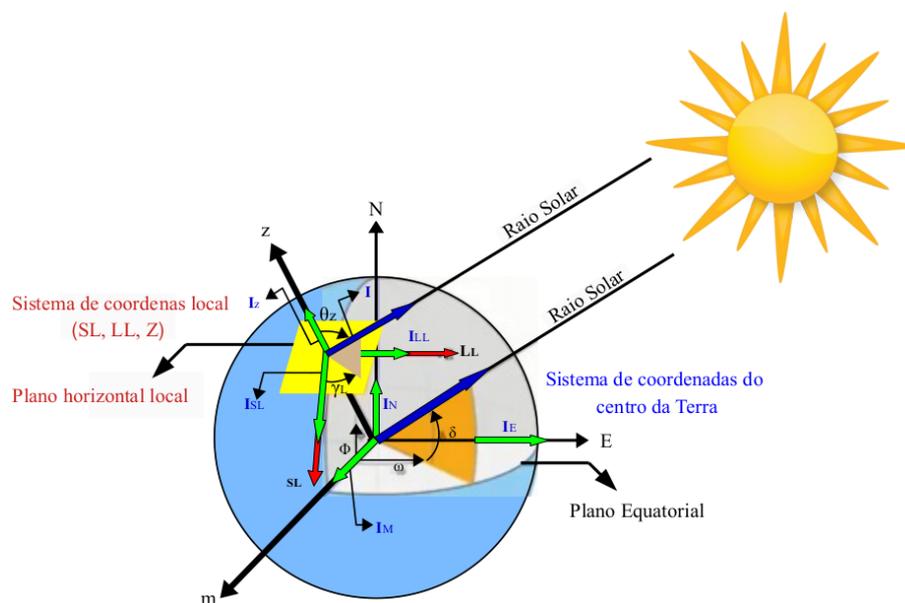
Segundo Rodrigues (2008), em razão de fatores geográficos e astronômicos, a incidência da irradiação solar pode variar com o local e no decorrer do tempo. Assim, levando em conta esses fatores, deve-se determinar a irradiação solar diária no plano horizontal (ver Figura 4) somando a energia incidida durante o período de presença do disco solar, conforme a Equação 2.4.

$$I_Z = \int_{t_r}^{t_s} G \times dt = \frac{1}{\Omega} \times \int_{\omega_r}^{\omega_s} G \times d\omega \quad (2.4)$$

Onde, I_Z = irradiação solar global no plano horizontal (J/m^2), G = irradiância solar global (W/m^2), t_R = horário do nascer do Sol (h), t_S = horário do pôr-do-sol (h), Ω = velocidade angular de rotação da Terra (rad/s), ω_S = ângulo do pôr do Sol no horizonte (rad), ω_R = ângulo do horário do nascer pôr do Sol no horizonte(rad), tendo ângulo horário w de referência nulo ao meio dia solar, tal que o ângulo horário é negativo durante o período da manhã.

A Figura 4 apresenta a irradiação no plano horizontal no globo terrestre, conforme sistema de coordenadas local.

Figura 4 – Esquema da irradiação em um plano horizontal no globo terrestre.



Fonte: Adaptado de Umanand (2007).

Considerando a equação 2.3, a integral da equação 2.4 pode ser resolvida de forma que a irradiação direta I_{DIR} pode ser obtida como mostra equação 2.5.

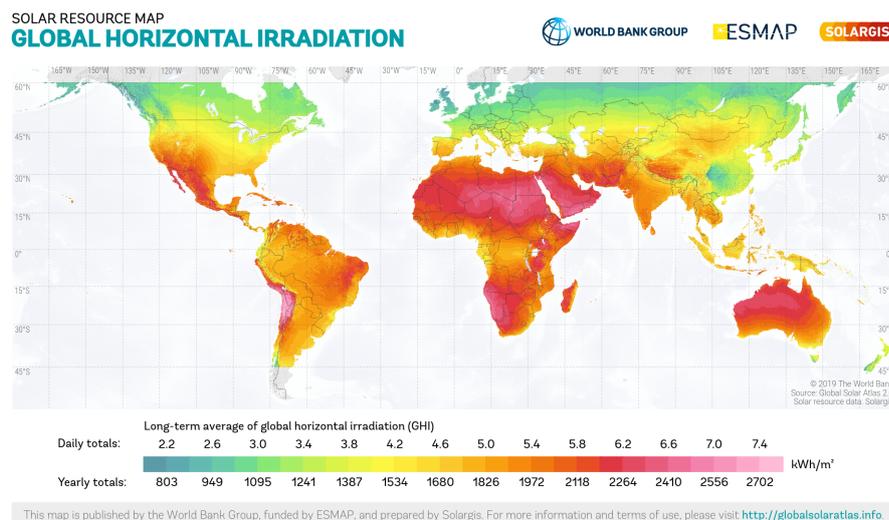
$$I_{DIR} = I_Z - I_{DIF} \quad (2.5)$$

Onde I_Z = irradiância solar global na horizontal (J/m^2), I_{DIR} = irradiação direta (J/m^2) e I_{DIF} = irradiação difusa na horizontal (J/m^2).

2.3 Recurso Solar

O balanço da distribuição da radiação solar na superfície da Terra é desigual e apresenta uma tendência de diminuir do equador para os pólos, ou seja, varia com latitude, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Distribuição mundial da irradiação global na horizontal



Fonte: ESMAP *et al.* (2019).

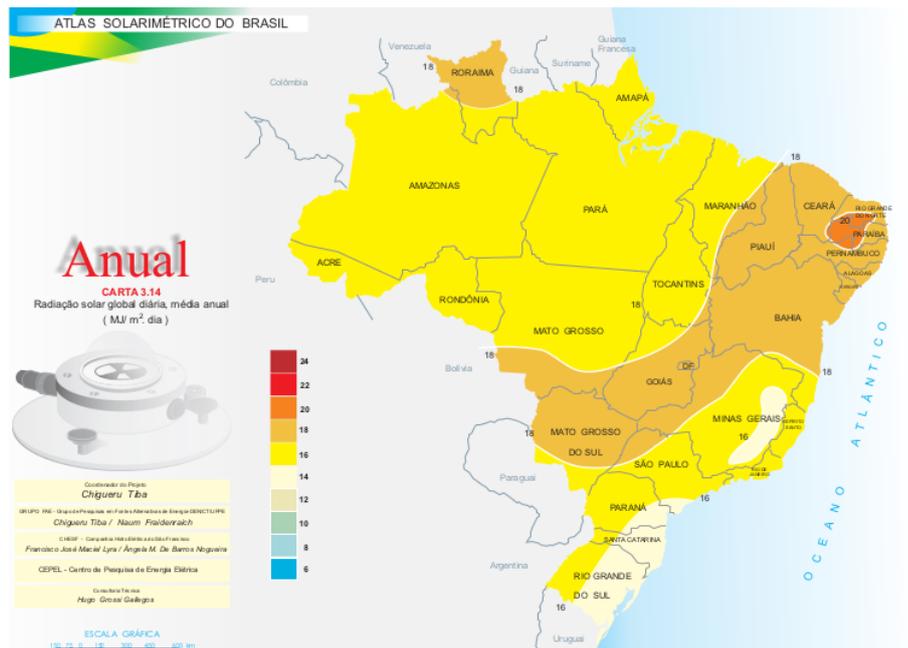
Como resultado desse desbalanço, os valores de irradiação solar anual incidente na superfície da Terra apresentam variação, podendo atingir aproximadamente 1.000 kWh/m² ao redor dos paralelos dos 60°, enquanto que em outras regiões, tais como o continente africano e a Austrália, este valor pode alcançar picos de 2.500 kWh/m².

2.3.1 Recurso solar no Brasil

Devido a sua localização geográfica privilegiada, que proporciona uma incidência de radiação solar superior à encontrada nos demais países desenvolvidos, o Brasil apresenta um enorme potencial para aproveitamento da energia solar (GALDINO *et al.*, 2000).

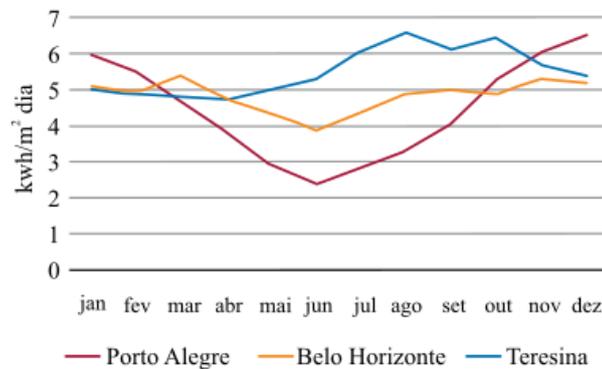
Como mostra o Atlas Solarimétrico do Brasil, publicado pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S.Brito (CRESESB) no ano de 2000, a radiação solar global diária média anual ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$) do Brasil varia de 14 a 22 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$), sendo a maior concentração dessa radiação solar localizada no nordeste brasileiro (TIBA *et al.*, 2000), como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Radiação solar global diária, média anual ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$) do Brasil



De acordo com o Atlas de Energia Elétrica do Brasil, publicado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a radiação solar, definida como energia total incidente sobre a superfície terrestre, apresenta dependência de alguns fatores, dentre eles pode-se citar a latitude local, a época do ano e o horário do dia. Apesar disso, até mesmo as regiões do território nacional com índices de radiação reduzidos são potencialmente adequadas para o aproveitamento energético (ELÉTRICA, 2005). Para exemplificar, a Figura 7 mostra o comportamento da radiação solar mensal em 3 capitais brasileiras com diferentes latitudes, sendo elas, Porto Alegre - RS, Belo Horizonte - MG e Teresina - PI.

Figura 7 – Comportamento mensal do nível de radiação solar de três capitais brasileiras localizadas a diferentes latitudes



Fonte: Navarro e Fernandes (2015).

2.4 Energia Solar Fotovoltaica

2.4.1 Efeito Fotoelétrico

Primeiramente observado em 1839, por Edmond Becquerel, o efeito fotoelétrico diz respeito à ocorrência do surgimento de uma diferença de potencial elétrico nas extremidades de um material semicondutor, quando o mesmo é exposto à incidência de luz (NASCIMENTO, 2004) possibilitando transformar energia solar em energia elétrica.

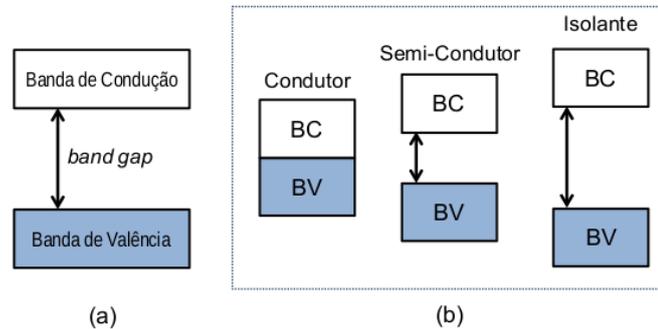
De acordo com Câmara (2011), o efeito fotovoltaico é um fenômeno que ocorre em materiais semicondutores devido à existência de estruturas de bandas de energias permitidas para a localização dos elétrons nesses materiais, sendo elas: a banda de valência, caracterizada por ser totalmente preenchida por elétrons, e a outra, definida como banda de condução, que na temperatura de zero absoluto está totalmente “vazia”. Entre a banda de valência e de condução existe um intervalo de energia, conhecido como gap de energia, como mostra a Figura 8.

Este gap de energia é a energia mínima necessária para que um elétron da banda de valência ocupe um estado na banda de condução. São estes elétrons na banda de condução os principais responsáveis pela condutividade nos materiais semicondutores.

2.4.2 Célula Fotovoltaica

Segundo Silva e Brito (2006), a célula solar fotovoltaica é a unidade responsável pela ocorrência da transformação da radiação solar em energia elétrica. Com um tamanho típico de aproximadamente 100mm^2 , cada célula pode gerar uma tensão entre 0,5 e 1 V e uma corrente de algumas dezenas de miliamperes.

Figura 8 – Representação do efeito fotovoltaico em um material semiconductor

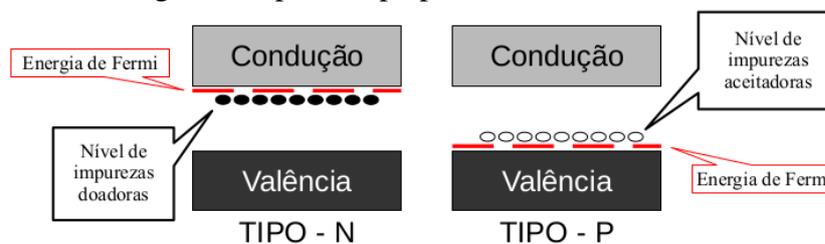


Fonte: Rodrigues (2012).

O silício é o semiconductor mais utilizado na fabricação da célula fotovoltaica. Entretanto, uma célula fotovoltaica formada apenas por cristais de silício não seria capaz de produzir energia elétrica, tornando-se necessária a realização do processo conhecido como dopagem. A dopagem consiste em adicionar elementos (conhecidos como impurezas) ao material original, com o intuito de alterar suas propriedades elétricas (CASTRO, 2002). Esta dopagem pode ser de dois tipos:

- Dopagem do tipo n: resultado da adição de um não-metal do grupo 5A da tabela periódica ao cristal de Silício. Neste processo, há uma adição de impureza doadora de elétrons, levando a rede cristalina do silício a ter um excesso de cargas negativas. Por essa razão, essa dopagem é conhecida como dopagem do tipo N. Como resultado dessa dopagem, aparece, para cada átomo de impureza adicionado, um novo estado de energia localizado nas proximidades da banda de condução, como mostra a Figura 9. Os elétrons neste nível podem ser facilmente excitados pela banda de condução

Figura 9 – Esquema das bandas de condução e valência na dopagem do tipo n e tipo p.



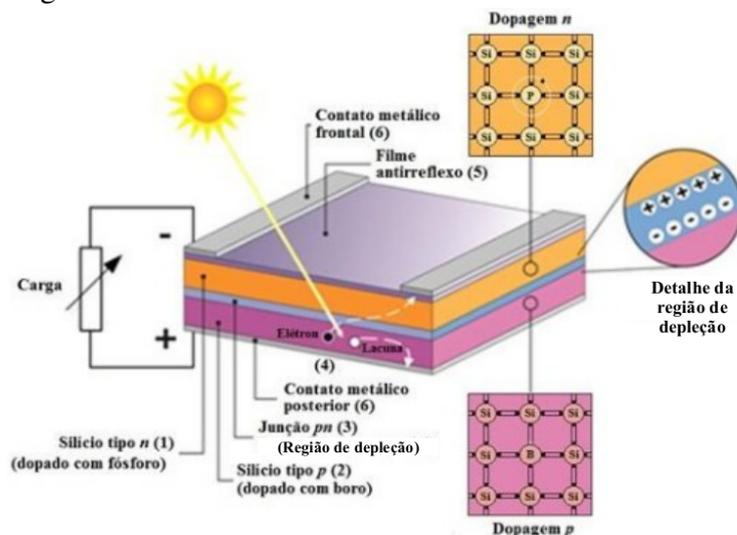
Fonte: Adaptado de Gallas (2010).

- Dopagem do tipo p: resultado da adição de um metal do grupo 3A da Tabela

Periódica ao cristal de Silício. Neste caso, é feita a dopagem com impureza aceitadora de elétrons, levando a rede cristalina do silício a ter uma deficiência de carga negativa, traduzindo no surgimento de estruturas de cargas positivas, conhecidas como buracos. Por isso, esse tipo de dopagem é conhecido como do tipo P. Como no caso da dopagem do tipo n, ocorre o aparecimento de um novo estado de energia localizado para cada átomo de impureza adicionado, mas, neste caso, o novo estado se localiza nas proximidades da banda de valência do semiconductor, como mostra a Figura 9. Os elétrons da banda de valência podem ser excitados para o novo nível de energia, criando assim buracos extras na banda de valência.

Como consequência das dopagens mencionadas acima, com o surgimento de novos níveis energéticos, há um aumento na probabilidade de que um elétron ocupe um estado na banda de condução, já que ocorre uma redução na energia mínima necessária para excitar elétrons para essa banda, contribuindo assim para um aumento na condutividade dos materiais semicondutores. Uma célula solar convencional é formada pela junção de um semiconductor do tipo P com outro do tipo N, visando assim a criação de duas camadas conhecidas como junção p-n (CASTRO, 2002). O Corte transversal de uma célula fotovoltaica é mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica



Fonte: Câmara (2011).

2.4.3 Curva Característica I-V

A representação gráfica do comportamento da corrente elétrica em função da tensão elétrica de um dispositivo fotovoltaico (Célula solar ou módulo solar ou PV's) é denominada como curva característica ou curva I-V (BÜHLER, 2007). Segundo Pinho e Galdino (2014), a soma da corrente elétrica da junção p-n no escuro com a corrente elétrica criada devido aos fótons absorvidos do espectro solar é denominada como a corrente elétrica de uma célula fotovoltaica. A curva característica pode ser obtida de acordo com a derivada da Equação de *Shockley*, a partir da equação 2.6.

$$I = I_L - I_0 \times \left[\exp\left(\frac{q \times V}{n \times k \times T}\right) - 1 \right] \quad (2.6)$$

Onde, I_L = Corrente fotogerada (A), I_0 = Corrente de saturação reversa do diodo (A), n = Fator de idealidade do diodo, número adimensional, geralmente entre 1 e 2, obtido por ajuste de dados experimentais medidos, q = Carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ C), k = Constante de *Boltzmann* ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K), e T = Temperatura absoluta (K).

A componente I_0 da equação 2.6 é obtida teoricamente com os dados das propriedades do material juntamente com detalhes da construção da junção *p-n*, conforme a equação 2.7 (PINHO; GALDINO, 2014).

$$I_0 = q \times A \times n_i^2 \times \left(\frac{D_p}{L_p \times N_d} + \frac{D_n}{L_n \times N_a} \right) \quad (2.7)$$

Onde, I_0 = Corrente de saturação reversa do diodo (A), A = Área da seção reta da junção (área da célula), n_i = Concentração de portadores intrínsecos no material, N_d , N_a = Concentração dos dopantes tipo n e tipo p, respectivamente, D_p , D_n = Coeficientes de difusão de lacunas e elétrons, respectivamente, no material, L_p , L_n = Comprimentos de difusão de lacunas e de elétrons e q = Carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ C).

Além disso, é preciso considerar que a resistência elétrica das associações em série e paralelo no módulo fotovoltaico afetam o comportamento da curva característica, sendo modelado pela equação 2.8.

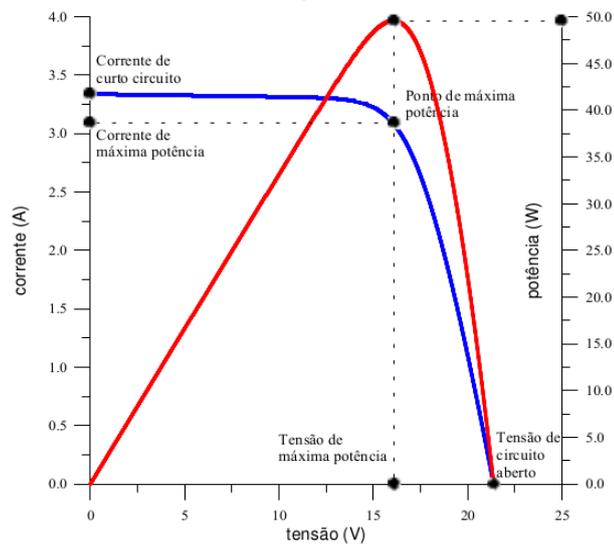
$$I = I_L - I_0 \times \left[\exp\left(\frac{q \times (V + IR_s)}{n \times k \times T}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{IR_p} \quad (2.8)$$

Onde, I_L = Corrente fotogerada (A), I_0 = Corrente de saturação reversa do diodo (A), n = Fator de idealidade do diodo, número adimensional, geralmente entre 1 e 2, obtido por ajuste de

dados experimentais medidos, q = Carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ C), k = Constante de *Boltzmann* ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K), T = Temperatura absoluta (K), IR_s - Resistência em série, e IR_p - Resistência em paralelo.

A Figura 11 mostra graficamente a curva característica de uma célula fotovoltaica, assim como os parâmetros elétricos de interesse, detalhados na próxima seção, que podem ser obtidos a partir da mesma e são essenciais para o entendimento do comportamento da célula.

Figura 11 – Curva característica I-V de um módulo fotovoltaico. Em azul, a curva de corrente elétrica versus a tensão elétrica no módulo, enquanto que em vermelho, é a potência elétrica gerada no módulo em função da tensão elétrica.



Fonte: Hecktheuer (2001).

Observando a Figura 11 é possível analisar que a linha azul relaciona a corrente (A) por tensão (V) e a linha vermelha relaciona potência (W) pela tensão (V).

2.4.4 Parâmetros Elétricos

Como apresentado na Figura 11, partindo da curva característica é possível determinar os parâmetros elétricos de caracterização dos módulos. Segundo Assunção (2014) os principais parâmetros são:

2.4.4.1 Corrente de curto - circuito (I_{SC})

É a máxima corrente que o módulo pode produzir sob determinadas condições de insolação e temperatura, quando seus terminais são curtos-circuitados. Sua medida é realizada quando a tensão elétrica nos terminais interligados de um módulo fotovoltaico é igual a zero, na

condição de nenhum outro equipamento ser conectado ao sistema.

2.4.4.2 Tensão de circuito aberto (V_{OC})

Tensão de circuito aberto (V_{oc}) é a tensão máxima produzida entre os terminais de uma célula fotovoltaica sob determinadas condições de radiação e temperatura, quando não há corrente elétrica circulando.

2.4.4.3 Ponto de potência máxima (P_{MP})

Definido como o ponto de operação de um módulo fotovoltaico, sob condições determinadas de radiação e temperatura, no qual a potência que está sendo entregue atinge o maior valor disponível. A corrente e tensão elétrica na condição de ponto de potência máxima são denominadas, respectivamente, como corrente à máxima potência (I_{MP}) e tensão à máxima potência (V_{MP}). Para o cálculo do ponto de potência máxima (P_{MP}) é utilizada a equação 2.9.

$$P_{MP} = I_{MP} \times V_{MP} = I_{SC} \times V_{OC} \times FF \quad (2.9)$$

Onde: I_{SC} = corrente de curto circuito (A), V_{OC} = tensão de circuito aberto (V), (I_{MP}) = corrente à máxima potência, (V_{MP}) = tensão à máxima potência, e FF = fator de forma (adimensional), detalhados abaixo.

2.4.4.4 Fator de Forma (FF)

Sabe-se que a potência fornecida pelo dispositivo fotovoltaico corresponde à área sob a curva de corrente x tensão (I x V). Caso à corrente à máxima potência (I_{MP}) fosse igual a corrente de curto circuito (I_{SC}) e a tensão de máxima potência (V_{MP}) fosse igual à tensão de circuito aberto (V_{OC}), a curva I x V assumiria a forma de um retângulo. Nesta condição, o dispositivo poderia ser considerado como ideal, já que a potência fornecida pelo dispositivo seria a máxima possível ($P_{Max} = I_{SC} \times V_{OC}$).

Na prática, no entanto, como pode ser observado pela forma da curva característica da Figura 12, a condição ideal não acontece. Neste contexto, o fator de forma define a qualidade da célula solar, indicando o quanto o dispositivo se aproxima da idealidade. Matematicamente, conforme Figura 12, o fator de forma é a razão entre o ponto de potência máxima e o produto da corrente de curto circuito com a tensão de circuito aberto, conforme equação 2.10, tendo o valor

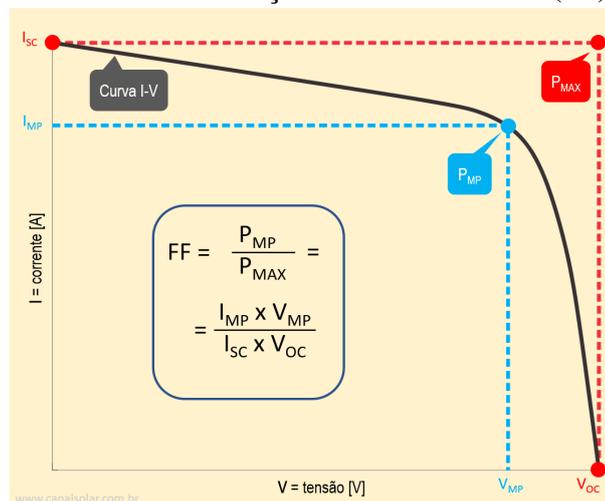
ideal igual a 1 e os valores reais mais comuns variando de 0,7 a 0,8.

$$FF = \frac{I_{MP} \times V_{MP}}{I_{SC} \times V_{OC}} = \frac{P_{MP}}{P_{MAX}} \quad (2.10)$$

Onde, FF = Fator de forma (adimensional), I_{MP} = Corrente no ponto de potência máximo (A), V_{MP} = Tensão no ponto de potência máximo (V), P_{MP} = Potência no ponto de potência máximo (W), I_{SC} = Corrente de curto circuito (A) e V_{OC} = Tensão de circuito aberto (V).

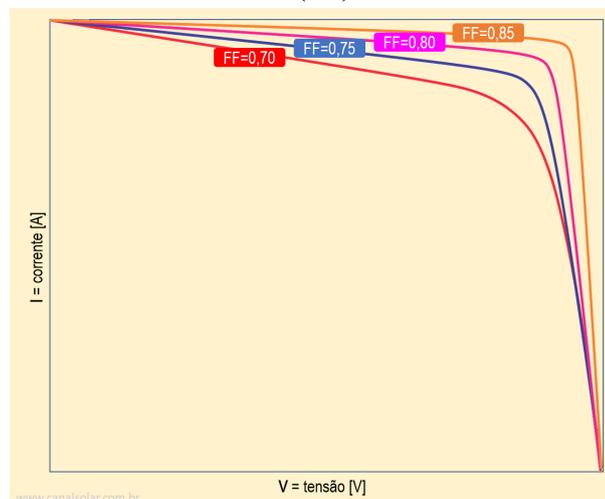
A Figura 12 apresenta a definição do fator de forma e a Figura 13 expõe curvas I-V com diferentes fatores de forma (FF).

Figura 12 – Curva I-V do módulo fotovoltaico e definição do fator de forma (FF).



Fonte: Villalva (2020).

Figura 13 – Curvas I-V com diferentes fatores de forma (FF).



Fonte: Villalva (2020).

2.4.4.5 Eficiência (η)

Esse parâmetro é determinado com a relação do valor da potência no P_{MP} da radiação incidente no dispositivo fotovoltaico, sendo os valores comuns para os módulos de silício (SI) variando entre 13 a 15%. A equação para o cálculo da eficiência dos módulos fotovoltaicos é apresentada na equação 2.11.

$$\eta = \frac{P_{MP}}{A \times G} \times 100\% = \frac{I_{MP} \times V_{MP}}{A \times G} \times 100\% = \frac{I_{SC} \times V_{OC} \times FF}{A \times G} \times 100\% \quad (2.11)$$

Onde, P_{MP} = Ponto de potência máxima (W), I_{MP} = Corrente no ponto de potência máxima (A), V_{MP} = Tensão no ponto máxima (V), I_{SC} = Corrente de curto circuito (A), V_{OC} = Tensão de circuito aberto (V), FF = Fator de forma (adimensional), A = Área da superfície do módulo (m^2) e G = Irradiância solar incidente (W/m^2).

2.5 Influência dos Fatores Externos nas Características Elétricas dos Módulos Fotovoltaicos

As características de funcionamento dos módulos fotovoltaicos são alteradas quando estão operando em condições que diferem das condições padrões de radiação e temperatura, no valor de $1000 W/m^2$ e $25^\circ C$, respectivamente. Dessa forma, os parâmetros elétricos do módulo são alterados quando sujeitos às variações de fatores como temperatura e irradiância, em decorrência das mudanças climáticas na localidade de instalação dos PV's (HECKTHEUER, 2001).

De acordo com Solar (2006), com o aumento da intensidade de radiação no módulo fotovoltaico, ocorre um crescimento linear da corrente elétrica gerada. Todavia, com a elevação da temperatura, o ponto de potência máxima (P_{MP}) tende a diminuir, o que leva a uma queda na eficiência de conversão dos Painéis Solares Fotovoltaicos (PV's).

2.5.1 Influência da irradiância na Curva I-V

Como descrito na seção 2.4.4, os parâmetros dos módulos fotovoltaicos se alteram com a variação da radiação incidente nos PV's. Segundo Carneiro (2010), a ação do aumento da radiação incidente nos PV's, provoca os seguintes efeitos:

1. Elevação do ponto de potência máxima (P_{MP});e

2. Crescimento aproximadamente linear da corrente de curto-circuito (I_{SC}); e
3. Variações desprezíveis na tensão de circuito aberto (V_{OC}) para altas intensidades de radiação e variações mais significativas para valores baixos de radiação incidente, ou seja, quando as intensidades de radiação incidente são pequenas, nas condições próximas a de escuridão, os valores de (V_{OC}) caem rapidamente até zero.

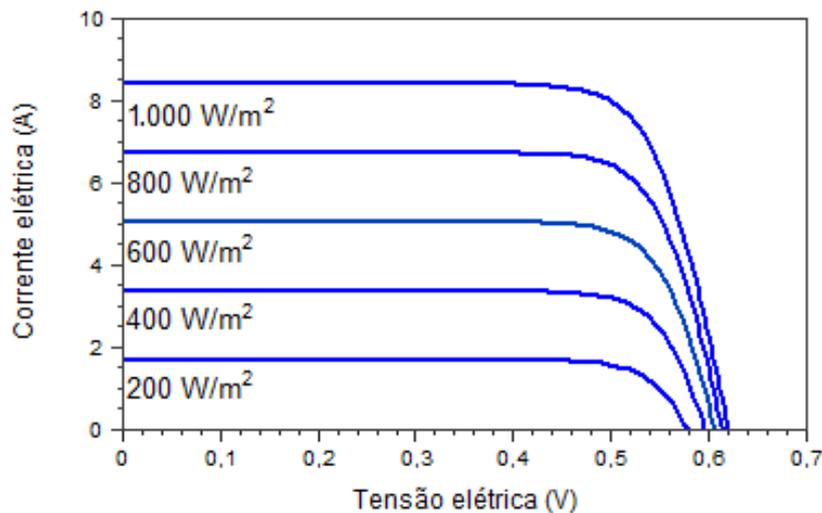
A equação 2.12 apresenta o cálculo da corrente de curto-circuito em condições de radiação incidente diferente das condições padrões (1000 W/m^2 e 25°C) (MARQUES *et al.*, 2009).

$$I_{SC} = I'_{SC} \times \frac{G}{G'} \quad (2.12)$$

Onde, I_{SC} = Corrente de curto-circuito (A), I'_{SC} = Corrente de curto-circuito nas condições de referência (A), G = Irradiância solar (W/m^2), e G' = Irradiância solar de referência (W/m^2).

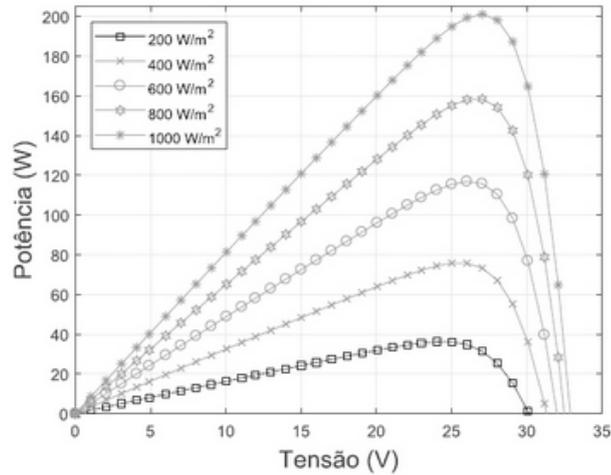
A Figura 14 apresenta a variação da curva característica I-V em decorrência da variação da radiação incidente e a Figura 15 exibe o comportamento do ponto de potência máxima (P_{MP}) sobre diferentes condições de radiação solar.

Figura 14 – Influência da variação da irradiância solar na curva característica I-V de uma célula fotovoltaica de silício cristalino na temperatura de 25°C



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Figura 15 – Variação do ponto de potência máxima (P_{MP}) de um módulo com a mudança de irradiância



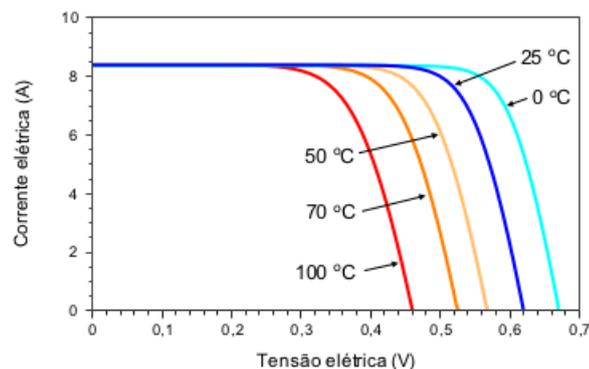
Fonte: Filho *et al.* (2020)

2.5.2 Influência da Temperatura na Curva I-V

De forma análoga à influência da radiação incidente descrita na seção 2.5.1, os módulos fotovoltaicos também sofrem interferência com as variações de temperatura. Segundo Carneiro (2010), as variações de temperatura nos módulos fotovoltaicos causam os seguintes efeitos:

1. A corrente de curto-circuito (I_{SC}) apresentam pequenas variações, podendo ser desprezadas dos cálculos; e
2. O ponto de potência máxima do sistema (P_{MP}) e a tensão de circuito aberto (V_{OC}) sofrem uma redução com o aumento da temperatura, como demonstram as Figuras 16 e a 17.

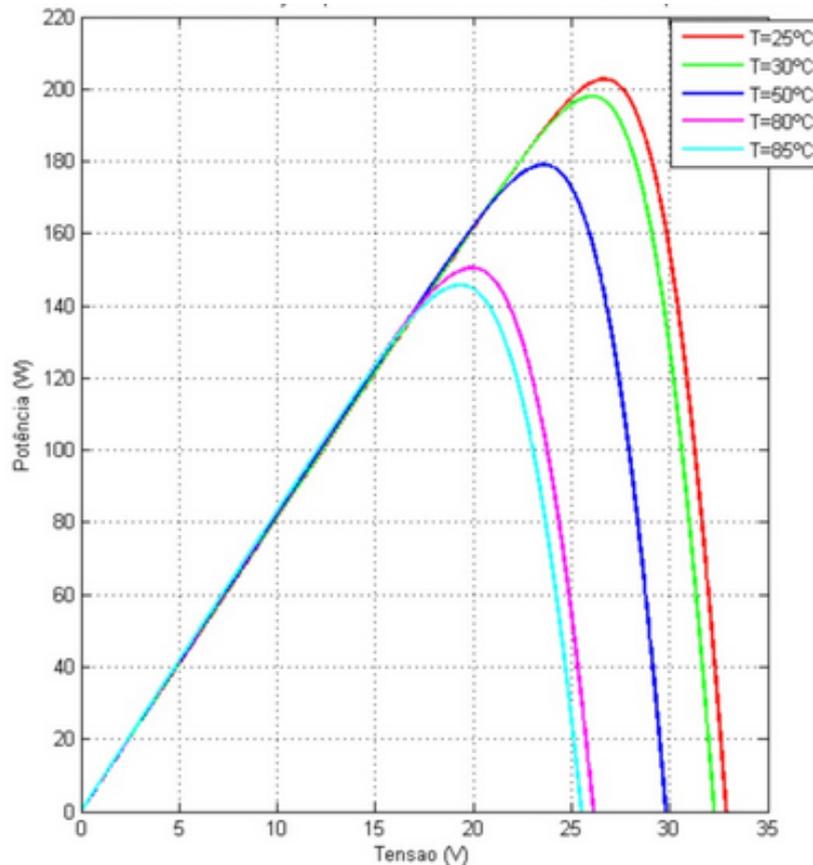
Figura 16 – Influência da temperatura da célula fotovoltaica na curva I-V



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

A Figura 17 mostra o comportamento do ponto de potência máxima de um módulo fotovoltaico submetido a diferentes temperaturas e a radiação constante.

Figura 17 – Comportamento do ponto de potência máxima (P_{MP}) de um módulo fotovoltaico com a mudança de temperatura.



Fonte: Alves *et al.* (2015)

Em destaque, a Figura 16 mostra que o aumento da temperatura resulta na diminuição significativa da tensão de circuito aberto (V_{OC}). A variação desse parâmetro em função da temperatura é regulada pelo coeficiente conhecido como coeficiente β de variação da tensão de circuito aberto (V_{OC}), cujo valor para o silício é aproximadamente igual a $-2,2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Já para a corrente de curto circuito (I_{SC}) é importante ressaltar que ocorre um aumento com o acréscimo de temperatura, modelado pelo coeficiente α de variação da corrente de circuito aberto (I_{SC}) (PRIEB, 2002). Entretanto, este ganho é pequeno (na ordem de $0,06 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ e, geralmente, é desprezado.

Além dos coeficientes β de variação da tensão de circuito aberto (V_{OC}) e o coeficiente α e variação da corrente de curto-circuito com a temperatura (I_{SC}), existe o coeficiente γ de variação do ponto potência máxima (P_m) do módulo, expresso em $\%/^\circ\text{C}$.

As equações 2.13, 2.14 e 2.15 apresentam o cálculo de obtenção do coeficiente β de variação da tensão de circuito aberto (V_{OC}), o coeficiente α de variação da corrente de curto circuito (I_{SC}) e o coeficiente γ de variação da potência máxima, respectivamente (PINHO; GALDINO, 2014). Esses coeficientes são importantes para entender a influência da temperatura nas características dos módulos fotovoltaicos.

$$V_{OC}(T_{CEL}) = V_{OC}(25^{\circ}C) - \beta \times (T_{CEL} - 25) \quad (2.13)$$

Onde, V_{OC} = Variação da tensão de circuito aberto com a variação da temperatura (V) e β = coeficiente de variação da tensão de circuito aberto com a temperatura(V/C).

$$I_{SC}(T_{CEL}) = I_{SC}(25^{\circ}C) \times (1 + \alpha \times (T_{CEL} - 25)) \quad (2.14)$$

Onde, I_{SC} = A tensão de curto - circuito com a variação da temperatura e o α = coeficiente de variação da corrente de curto-circuito com a temperatura ($^{\circ}C^{-1}$).

$$PMP - TC = PMP - STC \times (1 + \frac{\gamma}{100} \times (T_C - 25)) \quad (2.15)$$

Onde, PMP - TC = potência máxima na temperatura das células solares, o e PMP-STC = potência na STC (25 ° C), γ = coeficiente de temperatura da PMP das células solares e T_C = a temperatura das células solares.

Pinho e Galdino (2014) relatam que os valores para os coeficientes a,b e g Pinho dependem da tecnologia da célula e em geral são fornecidos pelos fabricantes dos módulos. Para um melhor entendimento, supondo que um módulo fotovoltaico é modelado para operar nas condições padrões (1kW/m² e T= 25°C) e que o mesmo possua um $\gamma/^{\circ}C$. Neste caso, se a temperatura do módulo se elevar até 60°C, a eficiência desse módulo irá diminuir aproximadamente em 17,5% (PINHO; GALDINO, 2014).

2.6 PLATAFORMA ARDUÍNO

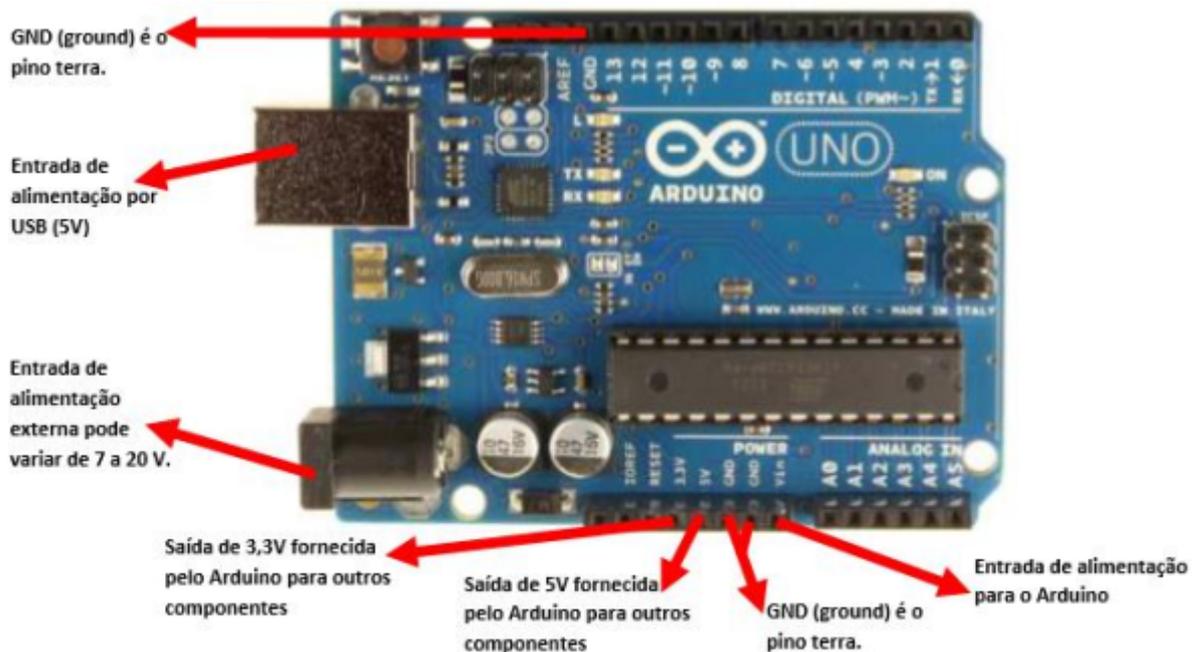
Segundo Câmara *et al.* (2016), o Arduino teve seu início no *Interaction Design Institute Ivrea*, na Itália, com o intuito principal de prototipação, sendo uma placa capaz de executar de trabalhos simples, como ligar e desligar um LED, até os mais complexos, como

acionar motores em ordens específicas e automação residencial. Inicialmente, o sistema era básico contando com uma placa simples de 8 bits, entretanto, com sua disseminação, ocorreram mudanças na placa para acompanhar as novas tendências nos projetos. Conforme site oficial do Arduino, as informações coletadas de sensores, resultantes da execução de certas atividades, podem ser enviadas para o microcontrolador da placa Arduino a partir da programação ARDUÍNO e sua *Integrated Development Environment (IDE)*, ambas funcionando de forma independente pois são *open-source*, ou seja, código fonte aberto.

A estrutura do Arduino é simples e não possui complexidade em seu funcionamento. De acordo com o KAMADA (2018) o Arduino apresenta cinco saídas analógicas e treze saídas digitais. As diferenças entre as saídas digitais e analógicas diz respeito aos valores compreendidos e os sinais recebidos. As saídas são destinadas para controlar diversas funções que costumam variar de acordo com o projeto a ser executado.

A Figura 18, apresenta a imagem de uma placa Arduino no modelo UNO com o detalhamento dos pinos de energia.

Figura 18 – Placa de Arduino UNO e os Pinos de energia



Fonte: Junior (2014)

A plataforma passou por diversas mudanças com o intuito de fornecer novas possibilidades para os mais variados trabalhos, sendo assim, as placas Arduino possuem diferenças e características de acordo com a necessidade do projeto. A Figura 19 apresenta as características das principais placas Arduino disponíveis no mercado.

Figura 19 – Tabela apresentando as principais placas arduino no mercado.

Arduino	Microcontrolador	Memória *	Clock	Portas	Tensão de entrada	Tensão de operação	Corrente Pinos Dig.
Pro Mini	ATmega328	Flash: 32KB SRAM: 2KB EEPROM:1KB	16 MHz	Digital: 14 Analogico: 6 PWM: 6	5 - 12 V	5 V	40 mA
Fio	ATmega328P	Flash: 32KB SRAM: 2KB EEPROM:1KB	8 MHz	Digital: 14 Analogico: 8 PWM: 6	3.3 - 12 V	3.3 V	40 mA
Nano	ATmega328	Flash: 32KB SRAM: 2KB EEPROM:1KB	16 MHz	Digital: 22 Analogico: 8 PWM: 6	7-12 V	5 V	40 mA
Micro	ATmega32U4	Flash: 32KB SRAM: 2.5KB EEPROM:1KB	16 MHz	Digital: 20 Analogico: 12 PWM: 7	7 - 12 V	5 V	20 mA
Uno	ATmega328P	Flash: 32KB SRAM: 2KB EEPROM:1KB	16 MHz	Digital: 14 Analogico: 6 PWM: 6	7 - 12 V	5 V	20 mA
Leonardo	ATmega32U4	Flash: 32KB SRAM: 2.5KB EEPROM:1KB	16 MHz	Digital: 20 Analogico: 12 PWM:7	7-12	5V	40 mA
Mega	ATmega2560	Flash: 256KB SRAM: 8KB EEPROM:4KB	16 MHz	Digital: 54 Analogico: 16 PWM:15	7-12	5 V	40 mA
Lilypad	ATmega168 ou ATmega328V	Flash: 16KB SRAM: 1KB EEPROM: 512bytes	8 MHz	Digital: 14 Analogico: 6 PWM:6	2.7 - 5.5 V	2.7 - 5.5 V	40 mA
Duo	AT91SAM3X8E	Flash: 512KB SRAM: 96KB EEPROM:	84 MHz	Digital: 54 Analogico: 12 PWM:12	7-12	3.3V	130 mA
Yun	ATmega32U4	Flash: 32KB SRAM: 2.5KB EEPROM:1KB	16 MHz	Digital:20 Analogico: 12 PWM: 7	5V	5V	40 mA
Esplora	ATmega32U4	Flash: 32KB SRAM: 2.5KB EEPROM:1KB	16 MHz	Digital: - Analogico:- PWM:-	5 V	5 V	
Robot	ATmega32U4	Flash: 32KB SRAM: 2.5KB EEPROM:1KB	16 MHz	Digital: 5 Analogico:4 PWM:6	5 V	5 V	40 mA
Ethernet	ATmega328P	Flash: 32KB SRAM: 2KB EEPROM:1KB	16 MHz	Digital: 14 Analogico: 6 PWM:4	7-12	5	40 mA
Pro	ATmega328	Flash: 32KB SRAM: 2KB EEPROM:1KB	16 MHz	Digital: 14 Analogico: 6 PWM:6	7 - 12 V	5 V	40 mA
Tre	ATmega32U4	Flash: 32KB SRAM: 2.5KB EEPROM:1KB	16 MHz	Digital: 14 Anal: 6 PWM:7		5 V	

Fonte: <https://blog.smartkits.com.br/tipos-de-arduino/>

Resumidamente, a plataforma Arduino permite a interligação de diversos sensores de baixo custo com uma programação intuitiva, fazendo com que os projetos idealizados possam ser executados sem necessidade de uma equipe especializada.

2.6.1 Comunicação sensor - Arduino

Segundo Silva *et al.* (2019), os sensores são equipamentos da eletrônica responsáveis pela captação e conversão de variáveis físicas em sinais elétricos, ou vice-versa. Dessa forma, para que seja eficiente a troca de informações entre o meio ambiente e a placa Arduino, os sensores são de extrema necessidade. Os sensores podem ser variados entre modelos e preços, dependendo da função exigida no projeto, sendo os mais conhecidos os de movimento, de temperatura e umidade, dentre outros.

2.6.2 Uso do arduino na caracterização de células fotovoltaicas

A caracterização do módulo fotovoltaico consiste na obtenção na sua curva de I x V, de modo a obter os parâmetros elétricos de interesse. Para a construção da curva I x V, de acordo com Oliveira (2015), é necessário iluminar, em temperatura e irradiância conhecidas e

constantes, o módulo fotovoltaico para que sejam polarizados, com posterior medida do conjunto dos valores da tensão e da corrente (pares $I \times V$), através de equipamentos apropriados. Existem equipamentos que podem ser utilizados para este fim, dentre eles, o mais comum é o uso de um traçador de curva $I \times V$ comercial do tipo mostrado na 20. Embora possuam um grau de confiabilidade maior, o preço é elevado, o que leva a inviabilização de compra deste equipamento para realização de estudos na área.

Figura 20 – Traçador de Curva I-V 400 e I-V 500



Fonte: <https://amperi.com.br/produtos/catalogo/ht-instruments/i-v-400-e-i-v-500/>

Como mostra Luna (2016), a caracterização da curva $I \times V$ pode ser obtida através de cinco métodos diferentes, sendo eles:

1. Resistor variável;

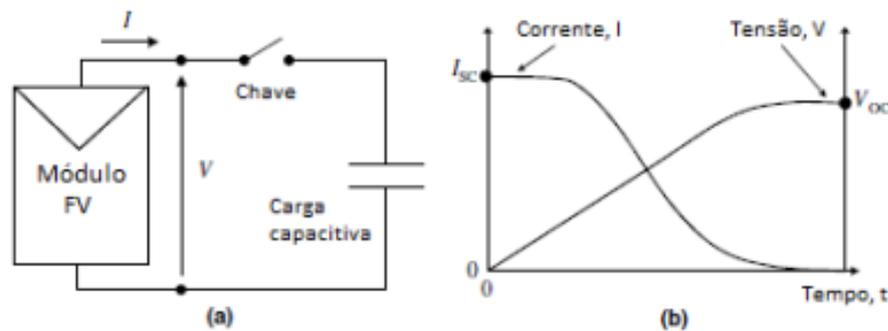
Esse método possui um baixo custo de implementação (em torno de 50 vezes menor do que o processo difundido comercialmente (traçador de curva IV custa em média R\$ 25.000)), sendo de fácil execução por envolver a conexão de um resistor como carga para o módulo, interligado a um reostato que permite realizar alterações no valor da resistência em um circuito, de forma a possibilitar traçar a curva $I \times V$. Em outras palavras, com essa metodologia, a partir da variação da resistência de zero a um valor elevado tendendo a infinito, é possível mapear os pontos na curva $I \times V$, que se estende do curto-circuito ao ponto de circuito aberto

2. Capacitivo;

Essa metodologia é a mais utilizada nos principais traçadores comerciais de curva $I \times V$, como aquele mostrado na Figura 20, e consiste na junção de capacitores

para servir como a carga para o módulo fotovoltaico. Quando os capacitores estão sem carga é possível caracterizar o estado de curto-circuito do módulo, enquanto que com capacitor totalmente carregado torna-se possível medir a tensão de circuito-aberto. Dessa forma, ao variar pontos entre o estado de carga e descarga do capacitor, este método permite realizar a caracterização elétrica das células fotovoltaicas. O esquema do método capacitivo é demonstrado na Figura 21.

Figura 21 – (a) Esquemático geral do método capacitivo, (b) transiente de carregamento do capacitor onde a curva $I \times V$ é caracterizada



Fonte: Luna (2016)

3. Fonte de 4 quadrantes;

O sistema da fonte de 4 quadrantes consegue medir grandes quantidades de potência e possui a capacidade de realizar a caracterização de vários módulos Fotovoltaicos em poucas dezenas de milissegundos. Portanto, esse método é o mais refinado dos métodos apresentados, exigindo diversos equipamentos específicos para que possam ser realizadas as medidas, como demonstra a Figura 22.

4. Conversor DC-DC;

com o avanço da eletrônica de potência, os conversores *DC-DC* são os mais usados ultimamente. A metodologia trata-se do uso de um conversor conectado entre o módulo e uma carga, sendo a variação de carga simulada para a caracterização da curva $I \times V$ em centenas de milissegundos.

5. Carga eletrônica.

É o método mais mencionado na literatura por ser simples e um custo razoável (em torno de 5 vezes menor do que o processo difundido comercialmente (traçador de curva IV custa em média R\$ 25.000)). A caracterização é realizada usando

Figura 22 – Traçador de curva I x V produzido com fonte de 4 quadrantes



Fonte: Gasparin (2009)

um transistor como elemento de carga para o módulo FV, com posterior obtenção da curva IxV, a partir do acordo com a intersecção das curvas características do módulo FV e do transistor. A maior desvantagem, no que diz respeito a esta metodologia, é a sua limitação de caracterização de poucos módulos FVs, simultaneamente.

2.7 Novas Diretrizes Curriculares e o Uso do Arduino como ferramenta pedagógica

Publicadas em abril de 2019, as novas Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de Engenharia apresentam reformulações a partir da necessidade de solucionar as dificuldades na formação em Engenharia que não foram resolvidas nas diretrizes de 2002. Entre elas, a necessidade de buscar alternativas para reduzir a evasão nos cursos, melhorar a qualidade da educação, proporcionar uma flexibilidade da estrutura curricular, para inserir a inovação na formação acadêmica, e proporcionar atividades adequadas para o desenvolvimento dos profissionais das Engenharias.

Neste contexto, um dos pontos focais indicado nas novas DCNs é o protagonismo do

aluno, sustentado em uma formação que provoca uma conexão entre competências, habilidades, atitudes e conhecimentos, de forma a oferecer aos discentes atividades formativas compatíveis com as demandas do mercado, não apenas do ponto de vista técnico, mas também nos aspectos humanos, da inovação e do empreendedorismo (CASAGRANDE C. G.; PINTO, 2019). Com isso, as novas DCNs propõem que o Projeto Pedagógico do Curso (PPC) deve oferecer ao aluno, um perfil com mais autonomia, proporcionando ao aluno aprender, conhecer, fazer, conviver e a ser, tendo em conta os pilares: competências, habilidades, atitudes e conhecimento.

No contexto da Inovação, observa-se ainda a necessidade de profissionais qualificados para atuarem na Indústria 4.0, tendo em vista a integração de robôs autônomos, máquinas e outras tecnologias inteligentes, com destaque para Manufatura Aditiva, Robôs Autônomos, Integração de Sistema (horizontal e vertical), simulação, Computação em Nuvem, Internet das Coisas, Análise de Big Data, Cybersegurança, Realidade Aumentada (GASPARI, 2021). Em atenção às exigências da Indústria 4.0 por engenheiros com habilidades que atendam avanços na automação e tecnologia, as novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) reiteram a necessidade da formação de engenheiros com competências e habilidades empreendedoras como visão, liderança, liderança, energia, *networking*, criatividade, inovação, entre outras (COMPARTILHADAS *et al.*, 2019).

Entre os recursos enumerados pelas DCNs para superar as necessidades atuais, está o estímulo de práticas pedagógicas com abordagens interdisciplinares alicerçadas na relação teoria e prática e o uso de metodologias ativas, centradas no engajamento dos alunos no processo de aprendizagem e na concepção do seu próprio conhecimento.

Essas novas diretrizes também incentivam o uso de tecnologias dentro da sala de aula, colocando o professor como mediador e tutor do conhecimento, e o aluno como figura central. Assim, observa-se a necessidade de repensar o ensino superior em relação às metodologias e aos recursos utilizados para o ensino e aprendizagem, visando atender às novas DCNs e às demandas apresentadas pela sociedade e mercado de trabalho.

Nesta direção, a abordagem laboratorial se torna um importante forma de ensino para a graduação em engenharia. Colocar em prática a teoria desenvolvida em sala de aula pode auxiliar o aluno na consolidação dos conceitos, além de promover uma aproximação do exercício da profissão de engenheiro. Todavia, um empecilho para o desenvolvimento de novos experimentos didáticos é o custo de compra e montagem dos equipamentos necessários para criação de um módulo experimental, o que muitas vezes restringe as aplicações em laboratórios

didáticos de engenharia.

Neste contexto, o uso da placa de Arduino acoplada a sensores de baixo custo pode servir como uma ferramenta pedagógica articulada com propostas de metodologias capazes de mediar uma aprendizagem ativa, conforme recomenda as novas DCNs, numa abordagem mais prática.

Nestes aspectos, Silva *et al.* (2019) desenvolveu, a partir do uso de Arduino, práticas sobre o tópico de controle de processos no curso de engenharia química. Neste trabalho foram desenvolvidos experimentos voltados para o controle de nível, vazão, temperatura, concentração e mistura de processos químicos, como garantia de acesso de um aprendizado prático mais vinculado à área de atuação dos estudantes.

Nesta mesma linha, alinhado com o art. 7º e os parágrafos 1º e 3º do art. 9ª das novas DCNs, Oliveira e Saron (2021) desenvolveu um espectrofotômetro de baixo custo, através da placa de Arduino, no contexto do aprendizado de estudantes do curso de engenharia ambiental e sanitária, sendo construído o protótipo e apresentada uma proposta metodológica com a finalidade de integração e nivelamento de disciplinas do conteúdo básico de qualquer habilitação de Engenharia.

Já Venturini *et al.* (2019), realizou um estudo de caso na disciplina Instrumentação, dos cursos Engenharia Mecânica, Engenharia Química e Engenharia Elétrica da Universidade *La Salle*, evidenciando os desafios e as perspectivas da adoção da metodologia de aprendizagem baseada em projetos para o desenvolvimento de competências nos futuros engenheiros. Nos projetos foram desenvolvidos vários protótipos baseados na plataforma Arduino, tendo em conta os preceitos das novas DCNs.

3 METODOLOGIA APLICADA

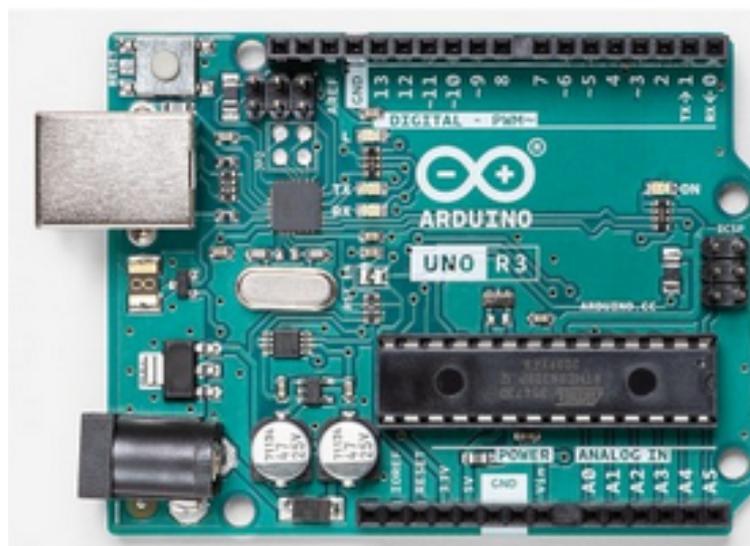
3.1 Tipo de estudo

Este projeto é um *design science* (SÉRGIO et al., 2014) sustentado pela validação dos dados coletados no artefato projetado.

3.2 Procedimentos de coleta de dados

As variáveis temperatura, umidade, dias de chuva, horas de disponibilidade solar e irradiação solar foram determinadas a partir de um conjunto de sensores interligados a uma *proto-board* e a uma placa de Arduino do tipo UNO, mostrada na Figura 23, 23, que possui inúmeras ligações para os sensores e dispõe de um sistema intuitivo relativamente simples para programação dos sensores utilizados. A escolha do sistema Arduino provém em decorrência de suas inúmeras vantagens, tais como: o baixo custo de aquisição das placas, disponibilização gratuita do Software Arduino (*Integrated Development Environment* (IDE), existência de inúmeros sensores compatíveis com o microcontrolador Arduino e o sistema de *open - source* que possibilita a criação de bibliotecas gratuitas para usufruir todos os recursos disponíveis dos sensores (ARDUINO.CC, 2016).

Figura 23 – Representação da placa controladora Arduino utilizado no protótipo construído



Fonte: arduino.cc (2016)

O sistema consta em sua programação funções para receber, controlar e armazenar

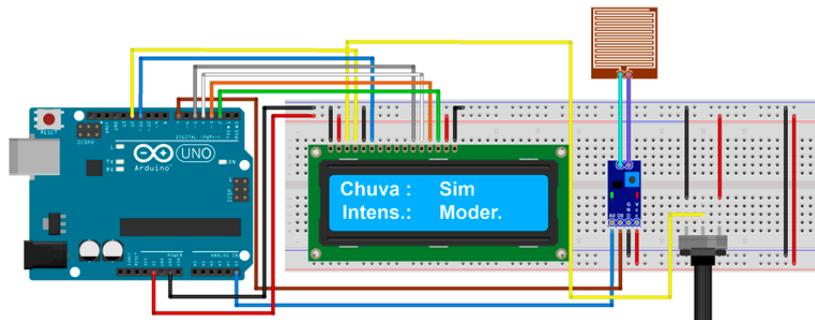
sinais enviados por sensores, gerando assim um banco de dados que pode guiar novas ferramentas e novos estudos com as informações adquiridas. A seguir, estão detalhados os sensores utilizados, suas características e funções.

3.2.1 Sensor de chuva YL-83

Este sensor foi aplicado com o intuito de monitorar eventos climáticos, uma vez que apresenta entre seus componentes, uma placa que envia sinais no seu estado seco e molhado, possibilitando assim determinar os dias de chuvas e sua intensidade de forma simples. A Figura 24 demonstra o esquema de ligação do sensor de chuva e suas especificações são:

- Tensão de Operação: 3,3-5v;
- Corrente de Saída: 100mA;
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro;
- Saída Digital e Analógica;
- Dimensões Sensor de Chuva: 41 x 55 mm; e
- Dimensões Placa de Controle: 31 x 14 mm.

Figura 24 – Representação do esquema de ligação do sensor de chuva YL-83 na placa controladora Arduino UNO



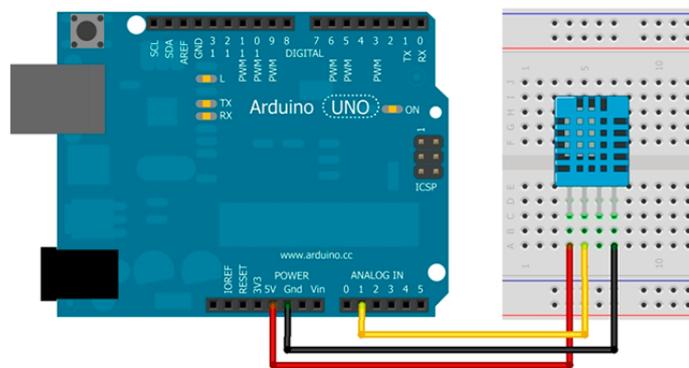
Fonte: <https://www.filipeflop.com/blog/sensor-de-chuva-yl-83>

3.2.2 Sensor de umidade e temperatura DHT11

Este sensor apresenta em seus componentes um termistor tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*), responsável pela medida de temperatura, e um sensor do tipo *HR202*, usado para realizar leituras de umidade. A Figura 25 apresenta o esquema de montagem do sensor *DHT11* na placa do arduino da plataforma e suas especificações são:

- Tensão de Alimentação 3 - 5VDC;
- Tensão de Alimentação Máxima 5,5VDC;
- Corrente de Operação 200uA - 500mA;
- Faixa de Medição de Umidade 20 - 90% UR;
- Precisão da medição de Umidade $\pm 5\%$ UR;
- Faixa de medição de Temperatura 0 - 50°C
- Precisão da Medição de Temperatura $\pm 2^\circ\text{C}$

Figura 25 – Representação do esquema de ligação do sensor de umidade e temperatura na placa controladora Arduino



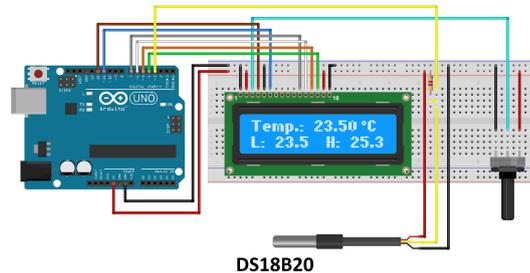
Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11/>

3.2.3 Sensor de Temperatura DS18B20 à Prova D'água

Este Sensor de Temperatura DS18B20 à Prova D'água permite fazer edições em ambientes úmidos e molhados com apenas uma interface de um só fio. A Figura 26 apresenta o esquema de montagem do sensor *DS18B20* na placa do Arduino da plataforma e suas especificações são:

- Tensão de operação: 3-5,5V;
- Faixa de medição: -55°C a $+125^\circ\text{C}$;
- Precisão: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ entre -10°C e $+85^\circ\text{C}$;
- Ponta de aço inoxidável (Durável);
- Dimensão ponta de aço: 6 x 50mm; e
- Dimensão do cabo: 100cm.

Figura 26 – Representação do esquema de ligação do sensor de temperatura DS18B20 na placa controladora Arduino

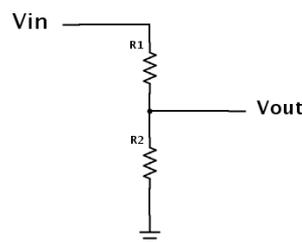


Fonte: <https://www.filipeflop.com/blog/sensor-de-temperatura-ds18b20-arduino/>

3.2.4 Sensor de tensão

Visando reduzir os custos na construção da plataforma de monitoramento, as entradas analógicas da ARDUINO UNO foram usadas como sensor de tensão elétrica, ou seja, a placa é utilizada como Voltímetro com o intuito de obter dados sobre a diferença de potencial elétrica (DDP) gerada no módulo fotovoltaico. Para isso, é empregado o método de divisão de tensão. Segundo Anjos (2019), a placa do Arduino suporta em suas entradas analógicas aproximadamente uma tensão de 5V. A metodologia conhecida como o método de divisão consiste no emprego de dois resistores ligados em série como demonstra a Figura 27.

Figura 27 – Representação do método de divisão dos resistores em série



Fonte: <https://laptrinhx.com/voltage-divider-3071489929/>

Dessa forma, a tensão de saída (V_{out}) obtida é função da resistência elétrica dos dois resistores ($R1$ e $R2$) e a tensão elétrica da entrada (V_{in}). A equação 3.1 apresenta a relação entre os parâmetros utilizados.

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R2}{R1 + R2} \quad (3.1)$$

Onde : V_{out} é tensão de saída, V_{in} a tensão de entrada, e R1, R2 são os resistores do sistema.

Nesse artefato foram utilizados as resistências R1 e R2 de valor 330, 1000 Ohms (Ω) respectivamente.

3.2.5 *Sensor de Corrente*

De forma análoga à forma de medição da tensão elétrica do sistema, a placa Arduino foi utilizada como um amperímetro com o intuito de obter informações da intensidade de corrente elétrica gerada pelo módulo fotovoltaico. O método utilizado é obtido após as resistências da equação 3.1 obedecerem a relação $R1 = R2$, assim, gerando a equação 3.2 (ANJOS, 2019).

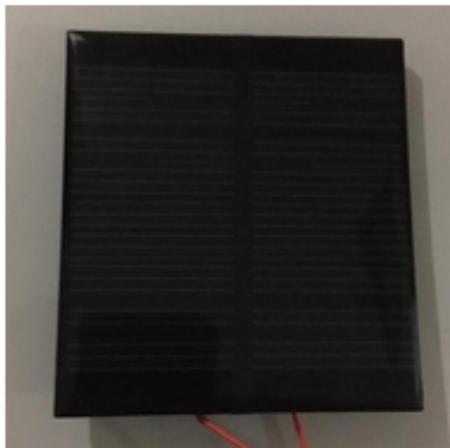
$$V_{out} = V_{in} \times \frac{1}{2} \quad (3.2)$$

Onde : V_{out} é tensão de saída, V_{in} a tensão de entrada, e R1, R2 são os resistores do sistema.

3.2.6 *Módulo fotovoltaico*

O dispositivo fotovoltaico modelo ZL - 60 X 55 mm, com as características de tensão máxima com valor de 5V com corrente máxima de 40 mA, foi empregado como módulo fotovoltaico a ser caracterizado no protótipo. As informações sobre os parâmetros elétricos foram adquiridas a partir da curva de tensão e corrente gerada no módulo fotovoltaico acoplado aos sensores. O módulo fotovoltaico escolhido para a determinação da curva I x V é apresentado na Figura 29.

Figura 28 – Módulo fotovoltaico utilizado no artefato



Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

3.2.7 Caracterização do Módulo Fotovoltaico

Para a caracterização do módulo fotovoltaico foi utilizado o método do resistor variável descrito na seção 2.6.2, pelo qual obteve-se a curva $I \times V$ com o uso de um resistor variável. O resistor variável utilizado neste projeto foi o *Trimpot* Linear Horizontal de 10K (10000 Ω) representado na Figura 29.

Figura 29 – Trimpot Linear Horizontal de 10K (10000)

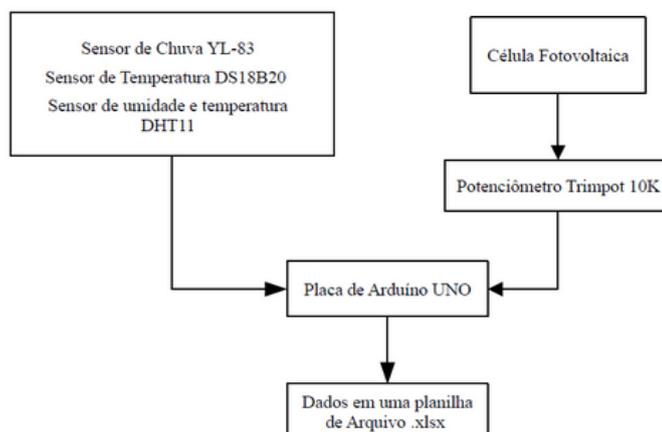


Fonte: <https://www.baudaeletronica.com.br/trimpot-linear-horizontal-de-10k-10000.html>

3.2.8 Montagem dos sensores da plataforma de monitoramento

A ordem de ligação dos componentes da estação e a forma com que os dados foram armazenados são demonstrados no fluxograma da Figura 30.

Figura 30 – Esquema de montagem dos sensores do artefato



Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

É importante salientar que a programação do sistema foi realizada de forma a monitorar as variações climáticas, tais como temperatura, umidade, intensidade de luz e dias chuvosos, de forma contínua por 24h por dia, com os dados sendo armazenados e transferidos

para um arquivo *.xlsx* em forma de tabela disponibilizado como banco de dados.

3.3 Análise dos dados

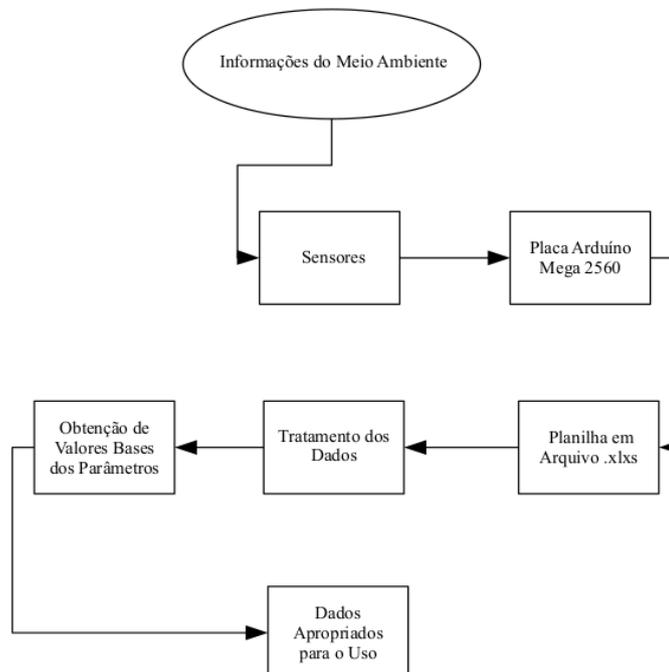
3.3.1 Tratamento dos dados da estação

Os dados obtidos na plataforma foram analisados tendo em conta as seguintes etapas:

1. Calibração dos sensores;
2. Comparação com os dados da estação mais próxima;
3. Caracterização do módulo;
4. Correções requeridas seguindo o órgão que fiscaliza;
5. Otimização do arquivo *.xlsx*;
6. Liberação para uso.

A Figura 31 apresenta um fluxograma resumido representando como ocorre a captação das informações do meio ambiente pela plataforma.

Figura 31 – Fluxograma de captação das informações do meio ambiente pela plataforma



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

3.3.2 Calibração dos sensores

3.3.2.1 Sensor de tensão e corrente

A calibração ocorreu por meio da introdução de uma corrente com um valor conhecido e controlado com o auxílio de uma fonte regulável mostrada na Figura 32 e analisando o valor de saída no Arduino. A calibração dos dados da tensão deu-se com a mesma metodologia.

Figura 32 – Fonte regulável utilizada para calibração do sensor de tensão e corrente



Fonte: <https://www.hayama.com.br/produtos/fonte-ajustavel-para-bancada>

O fluxograma na Figura 33 descreve resumidamente o esquema de ligação adotado na calibração dos sensores de tensão e corrente. Dessa forma, foi possível determinar a curva $I \times V$ para a caracterização do módulo fotovoltaico.

Figura 33 – Esquema de ligação da fonte regulável para calibração dos sensores de tensão e corrente



Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Para demonstrar a confiabilidade dos sensores, testou-se a voltagem e a corrente gerada por uma pilha AA 1,5 V da *Dauftech* no local do módulo solar que está acoplado na estação.

3.3.2.2 Sensor de temperatura e umidade

A calibração desses parâmetros decorreu de forma comparativa com os dados existentes e disponibilizados de 60 em 60 minutos no site do INMET como demonstrado na Figura 34. A estação foi calibrada utilizando os dados da estação automática de número A305, localizada

em Fortaleza - CE.

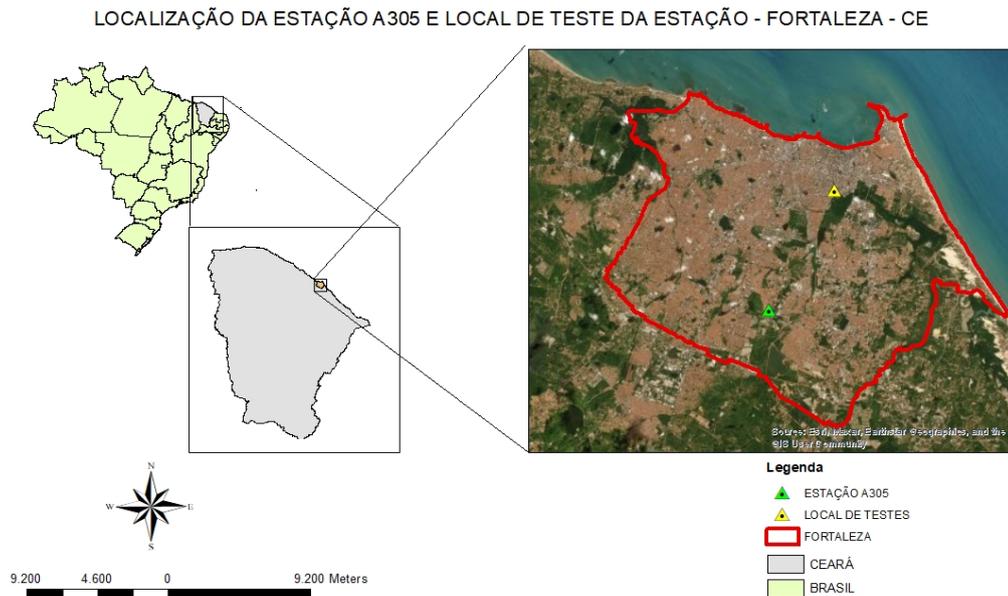
Figura 34 – Tabela contendo os dados da estação automática de número A305

Abrir / Fechar															INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA				
Estação: FORTALEZA (A305)																			
Download CSV																			
Data	Hora	Temperatura (°C)				Umidade (%)				Pto. Orvalho (°C)				Pressão (hPa)		Vento (m/s)		Radiação KJ/m²	Chuva mm
		UTC	Inst.	Máx.	Min.	Inst.	Máx.	Min.	Inst.	Máx.	Min.	Inst.	Máx.	Min.	Vel.	Dir.	Raj.		
01/08/2021	0000	26,7	27,0	26,7	75,0	75,0	74,0	21,9	22,0	21,8	1014,2	1014,2	1013,6	3,1	103,0	7,7	0,0		
01/08/2021	0100	26,5	26,7	26,5	75,0	76,0	75,0	21,7	21,9	21,7	1014,3	1014,4	1014,2	1,9	112,0	6,8	0,0		
01/08/2021	0200	26,4	26,5	26,3	75,0	76,0	74,0	21,6	21,9	21,6	1014,5	1014,6	1014,3	2,7	106,0	6,5	0,0		
01/08/2021	0300	26,3	26,5	26,3	76,0	76,0	75,0	21,7	21,8	21,5	1014,2	1014,5	1014,2	1,6	135,0	5,6	0,0		
01/08/2021	0400	26,4	26,5	26,2	72,0	76,0	72,0	20,9	21,8	20,9	1013,9	1014,2	1013,9	2,8	126,0	8,5	0,0		
01/08/2021	0500	26,0	26,5	26,0	72,0	72,0	71,0	20,6	20,9	20,6	1013,4	1013,9	1013,4	2,7	136,0	8,5	0,0		
01/08/2021	0600	25,6	26,0	25,6	72,0	73,0	72,0	20,2	20,6	20,1	1013,1	1013,4	1013,1	2,2	142,0	6,9	0,0		
01/08/2021	0700	24,9	25,6	24,8	74,0	75,0	72,0	20,0	20,2	19,9	1013,4	1013,4	1013,1	1,9	151,0	6,4	0,0		
01/08/2021	0800	23,6	24,9	23,6	79,0	79,0	74,0	19,7	19,9	19,6	1013,8	1013,8	1013,4	1,5	169,0	4,8	0,0		
01/08/2021	0900	22,9	23,6	22,9	77,0	79,0	76,0	18,7	19,6	18,7	1014,5	1014,5	1013,7	1,9	170,0	4,7	0,0		
01/08/2021	1000	23,9	23,9	22,7	78,0	79,0	77,0	19,9	19,9	18,7	1015,0	1015,0	1014,4	2,0	173,0	3,8	194,97		
01/08/2021	1100	26,3	26,3	23,9	62,0	78,0	61,0	18,4	20,1	18,2	1015,7	1015,7	1015,0	3,3	171,0	6,7	896,04		
01/08/2021	1200	28,3	28,3	26,3	53,0	62,0	52,0	17,7	18,4	17,4	1015,7	1015,8	1015,6	3,9	157,0	9,7	1497,76		
01/08/2021	1300	30,0	30,0	28,2	48,0	53,0	48,0	17,8	18,0	17,0	1015,5	1015,8	1015,5	3,9	145,0	10,8	1742,94		

Fonte: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A305>

Vale ressaltar que o local de teste da estação foi em Fortaleza, sendo posicionado em um local em torno de 9.000 metros distante da estação A305 - Estação Automática de Fortaleza. Todavia, por se tratar de informações atmosféricas, a variação é relativamente reduzida. A Figura 35 indica a localização do local de teste e sua distância em relação à estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Figura 35 – Localização da estação A305 e local de teste da plataforma



Fonte: Autoria Própria (2022)

3.4 Liberação para o uso

A plataforma permite em sua programação a alteração no tempo de obtenção das informações sobre os parâmetros, podendo variar entre segundos até horas. Diante disso, para tornar-se padrão com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), adotou-se o período de 60 minutos para se obter os dados. Esses dados serão disponibilizados na internet no formato de uma planilha hospedada no *Google Sheets*. A escolha deu-se por tratar-se de uma plataforma gratuita que fornece todas as ferramentas necessárias e pode ser compartilhada de forma fácil e prática, objetivando o intuito de fomentar mais dados e pesquisas na área.

3.5 Custo da Construção da Estação de baixo custo

Na Tabela 1 é apresentado o custo unitário de cada componente da estação. Vale ressaltar que os itens que não estão listados tratam-se de equipamentos previamente disponíveis no laboratório de física experimental da Universidade Federal do Ceará - campus Crateús;

Tabela 1 – Custo unitários da construção da plataforma

DISPOSITIVOS	CUSTO UNITÁRIO R\$
Placa Uno R3 + Cabo USB para Arduino	R\$ 128,90
Sensor de Umidade e Temperatura DHT11	R\$ 8,90
Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água	R\$ 16,90
Sensor de Chuva	R\$ 9,90
Potenciômetro Trimpot 100K 3362	R\$ 2,90
Kit Jumpers Macho-Macho x65 Unidades	R\$ 14,90
Protoboard 830 Pontos	R\$ 19,90
TOTAL	R\$212,3

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Calibração dos sensores

A seguir está descrito o resultado das calibrações dos sensores utilizados na plataforma de monitoramento:

4.1.1 Sensor de tensão

Para o sensor de tensão (V) obteve-se os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de variação de tensão obtidos pela plataforma

SENSOR DE TENSÃO		
AMOSTRA	VALOR DE REFERÊNCIA	VALOR ENCONTRADO
1	1,50 V	1,46 V
2	1,50 V	1,35 V
3	1,50 V	1,45 V
4	1,50 V	1,38 V
5	1,50 V	1,45 V
6	1,50 V	1,44 V
7	1,50 V	1,45 V
8	1,50 V	1,46 V
9	1,50 V	1,46 V
10	1,50 V	1,45 V
11	1,50 V	1,46 V
12	1,50 V	1,46 V
13	1,50 V	1,46 V
14	1,50 V	1,45 V
15	1,50 V	1,44 V
16	1,50 V	1,46 V
17	1,50 V	1,45 V
18	1,50 V	1,45 V
19	1,50 V	1,44 V
20	1,50 V	1,46 V

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Dessa forma, podemos obter uma média de 1,44 V com o desvio de padrão de 0,03 V, ou seja, os valores de tensão obtidos pelo sensor foram $V = 1,44 \pm 0,03$ V. Observa-se que o grau de confiabilidade do sensor de tensão da plataforma possui o erro percentual em torno de 3,7 %.

4.1.2 *Sensor de corrente*

Para o sensor de corrente (A) os resultados obtidos são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Valores de variação de corrente obtidos pela plataforma

SENSOR DE CORRENTE		
AMOSTRA	VALOR DE REFERÊNCIA	VALOR ENCONTRADO
1	40 mA	38,50 mA
2	40 mA	39,50 mA
3	40 mA	39,00 mA
4	40 mA	38,50 mA
5	40 mA	38,00 mA
6	40 mA	39,50 mA
7	40 mA	38,00 mA
8	40 mA	38,50 mA
9	40 mA	39,00 mA
10	40 mA	39,50 mA
11	40 mA	39,50 mA
12	40 mA	38,00 mA
13	40 mA	39,00 mA
14	40 mA	38,00 mA
15	40 mA	38,50 mA
16	40 mA	39,00 mA
17	40 mA	39,50 mA
18	40 mA	38,00 mA
19	40 mA	38,50 mA
20	40 mA	39,50 mA

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Dessa forma, podemos obter uma média de 38,5 mA com o desvio de padrão de 0,5 mA, ou seja $(38,5 \pm 0,5)$ mA. Verifica-se que o grau de confiabilidade do sensor de corrente da estação possui o erro percentual em torno de 3,0 %.

4.1.3 *Sensor de temperatura*

Como informado na metodologia, a plataforma desenvolvida neste trabalho possui dois sensores de temperatura, sendo eles o DHT11 e o DS18B20. O DHT11 fornece a temperatura ambiente e o Índice de calor, que pode ser considerada a sensação térmica do local. O DS18B20 fornece somente informações sobre a temperatura, entretanto, apresenta duas vantagens em relação ao DHT11 que são elas: maior precisão em uma determinada faixa de temperatura e ser a prova de água.

A Tabela 4 apresenta os dados da temperatura obtido no site do INMET no dia 25/7/2021 em comparação com os dados obtidos pela estação construída com os dois sensores acoplados na plataforma.

Tabela 4 – Comparação entre dados do site do INMET e os dos sensores acoplados

TEMPERATURA °C									
HORÁRIO/SENSOR	DS18B20			DHT11			ESTAÇÃO A305		
	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA
09:00	31,1	24,9	25,9	31,6	25,4	26,3	27,5	25,6	27,5
10:00	35,6	29,1	31,3	36,9	30,0	34,3	29,3	27,5	29,3
11:00	30,8	27,8	29,0	34,2	28,5	29,8	30,0	29,3	30,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Sendo assim, ao compararmos os dados dos sensores da estação construída com a estação automática A305 Fortaleza verificamos que a diferença entre os dados dos dois sensores pode ser desprezada ao se considerar o erro já previsto pelo fabricante, e confirma-se que os sensores podem ser eficientes para obter informações sobre temperatura. A Tabela 5 apresenta o erro percentual de cada sensor em relação a Estação do INMET A305.

Tabela 5 – Erro percentual dos sensores da plataforma comparado a estação A305

ERRO SENSOR DE TEMPERATURA %						
HORÁRIO/SENSOR	DS18B20			DHT11		
	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA
	ERRO			ERRO		
09:00	-13	3	6	-15	1	4
10:00	-22	-6	-7	-26	-9	-17
11:00	-3	5	3	-14	3	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

De acordo com os dados obtidos, é possível concluir que para a temperatura local o sensor mais indicado é o DS18B20, pois sua variação em relação a Estação do INMET A305 é reduzida, levando em conta que os valores possuem a diferença da distância entre o local de teste e a estação. Entretanto, o erro da média dos valores respeita o valor de < 10%, sendo aceitável para diversos usos didáticos que possam ser idealizados pelos discentes e docentes na Universidade Federal do Ceará - Campus Crateús.

4.1.4 Sensor de umidade

A Tabela 6 apresenta os dados da umidade obtido no site do INMET no dia 25/7/2021 em comparação com os dados obtidos pela plataforma construída.

Tabela 6 – Comparação entre dados do site do INMET e os dos sensores acoplados

UMIDADE %UR						
HORÁRIO/SENSOR	DHT11			ESTAÇÃO A305		
	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA
09:00	61	43	58	55	49	49
10:00	48	34	39	50	44	45
11:00	58	40	40	46	43	44

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

No caso da umidade, é importante ressaltar que segundo o fornecedor, o próprio sensor DHT11 é mencionado que o erro aceitável do sensor é na ordem de ± 5 %UR. Levando em consideração essa variação, a Tabela 7 apresenta o erro percentual da informação obtida com o sensor DHT11 em relação a Estação INMET A305.

Tabela 7 – Erro percentual do sensor da plataforma comparado a estação A305

ERRO DO SENSOR DE UMIDADE %UR			
HORÁRIO/SENSOR	DHT11		
	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA
ERRO			
09:00	61	43	58
10:00	48	34	39
11:00	58	40	40

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Sendo assim, ao analisar as informações sobre o erro percentual da umidade obtida na estação construída, é possível deduzir que o erro alto tem como fatores principais o distanciamento do local de teste com o local da estação, a variação previamente informada sobre o sensor e o efeito de sombreamento por meio de nuvens que interferem no período de 60 minutos. Todavia, o erro apresentado não inviabiliza o uso do sensor para uso didático em diversas áreas da educação e pode ser reduzido com a troca de sensor para usos mais específicos.

4.1.5 Sensor de chuva

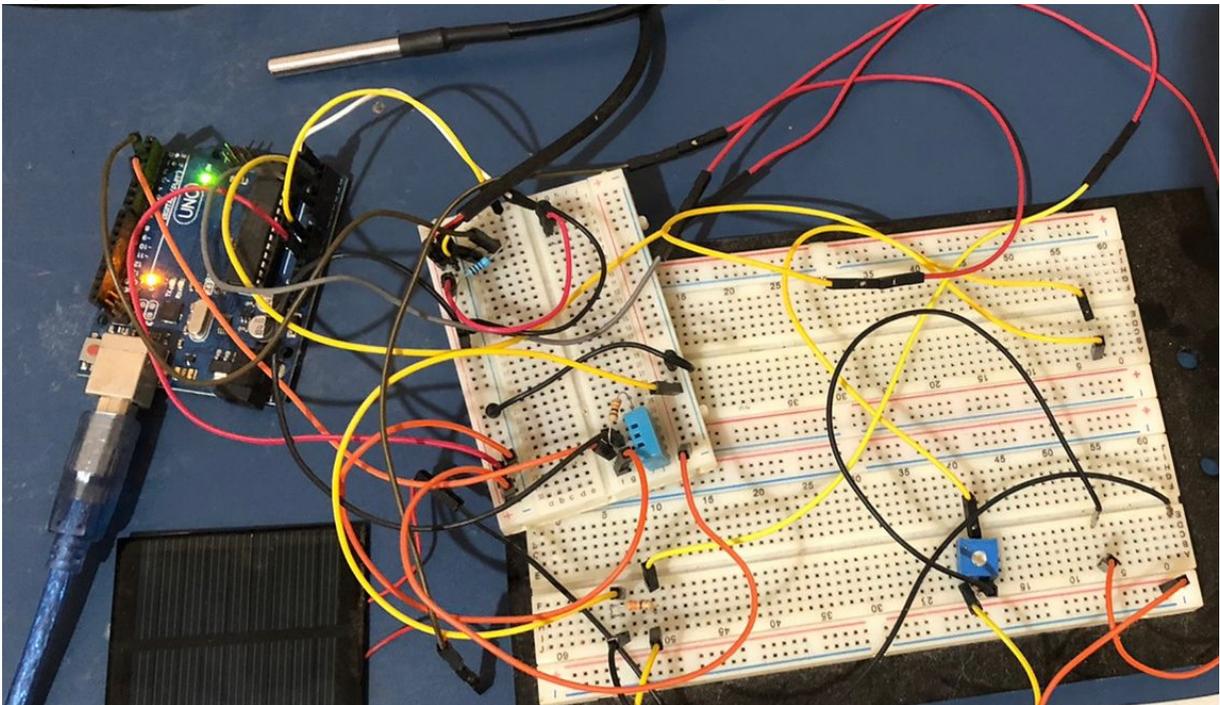
O sensor de chuva YL - 83 funciona como um acionador de circuito quando entra em contato com água e emite uma mensagem informando a ocorrência de chuva, sendo um detector de presença de chuva. Infelizmente, o sensor não é capaz de fornecer as informações pluviométricas do local apenas a ocorrência de água ou não no sistema. Todavia, é essencial para o estudo juntamente da umidade e da temperatura pois seu sistema consegue diferenciar o efeito da precipitação do efeito do orvalho facilitando o estudo e a compreensão dos outros fatores

climáticos no local. O mesmo possui um calibrador no próprio sistema que fecha o circuito quando em contato com a água, a calibração se deu por meio desse mecanismo. Dessa forma, ao contato de água a informação é obtida e enviada para a planilha *.xlsx*.

4.2 Construção da plataforma de monitoramento

A plataforma de baixo custo construída com Arduino e sensores descritos na metodologia é mostrada na Figura 36

Figura 36 – Plataforma construída com os sensores acoplados



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A plataforma de caracterização do módulo fotovoltaico foi desenvolvida tendo em vista os sensores usados e sua comunicação com a Arduino. A programação necessária para estabelecer essa comunicação encontra-se no apêndice A. O sistema realiza as medidas, armazena os dados em uma planilha *.xlsx* e automaticamente plota os gráficos em tempo real de acordo com a variação dos sensores. Vale ressaltar que a programação é desenvolvida de forma a permitir alteração no intervalo de tempo de medição, a fim de facilitar estudos futuros. Dito isso, a Figura 37 demonstra o modelo da planilha e as informações obtidas pela estação expressas na planilha.

Figura 37 – Imagem da planilha com dados obtidos na plataforma

PROJETO SOLAR										
INFORMAÇÕES			ENTRADA ANALÓGICA ARDUINO			DS18B20	DHT11			YL - 83
Data	Hora	Amostra	Tensão	Corrente	IxV	Temperatura no módulo solar	Umidade	Temperatura Ambiente	Índice de Calor	Sensor de chuva
25/07/2021	08:02:44	9	4,14	0,093	0,83	24,94	54%	31,20	33,82	Sem Chuva
25/07/2021	08:03:15	10	2,76	0,279	0,55	25,00	48%	29,60	30,19	Sem Chuva
25/07/2021	08:03:46	11	2,63	0,279	0,52	25,06	52%	27,70	28,29	Sem Chuva
25/07/2021	08:04:18	12	2,61	0,283	0,52	25,06	56%	26,50	27,27	Sem Chuva
25/07/2021	08:04:49	13	3,46	0,259	0,69	25,06	58%	26,10	26,95	Sem Chuva
25/07/2021	08:05:20	14	3,45	0,259	0,69	25,00	58%	25,80	25,95	Sem Chuva
25/07/2021	08:05:51	15	3,93	0,171	0,78	24,94	59%	25,70	25,87	Sem Chuva
25/07/2021	08:06:22	16	3,97	0,176	0,79	24,94	59%	25,60	25,76	Sem Chuva
25/07/2021	08:06:54	17	4,08	0,112	0,81	24,94	60%	25,50	25,67	Sem Chuva
25/07/2021	08:07:25	18	4,12	0,112	0,82	25,00	60%	25,50	25,67	Sem Chuva
25/07/2021	08:07:56	19	4,13	0,098	0,82	24,94	60%	25,50	25,67	Sem Chuva
25/07/2021	08:08:27	20	4,14	0,098	0,83	25,00	60%	25,50	25,67	Sem Chuva
25/07/2021	08:08:59	21	4,27	0,000	0,85	24,94	60%	25,50	25,67	Sem Chuva
25/07/2021	08:09:30	22	4,26	0,000	0,85	24,94	60%	25,50	25,67	Sem Chuva
25/07/2021	08:10:01	23	4,13	0,098	0,82	25,00	60%	25,50	25,67	Sem Chuva
25/07/2021	08:10:33	24	4,11	0,093	0,82	25,06	60%	25,50	25,67	Sem Chuva
25/07/2021	08:11:04	25	4,12	0,098	0,82	25,00	60%	25,50	25,67	Sem Chuva

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

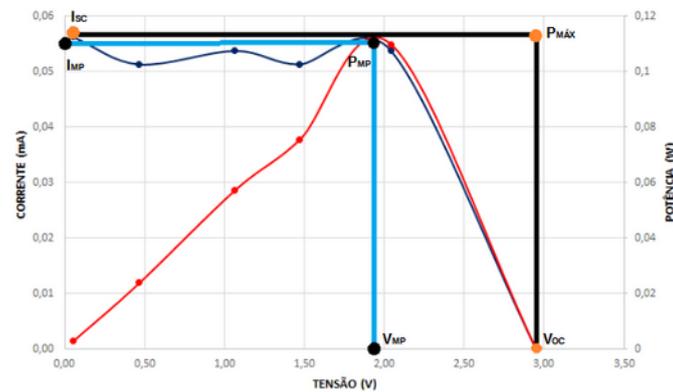
4.3 Caracterização do módulo fotovoltaico

Como descrito anteriormente na metodologia, determinou-se a caracterização do módulo fotovoltaico pela obtenção da curva $I \times V$. A Figura 38 apresenta a curva que foi obtida com o método resistivo para encontrar pontos específicos importantes, que são eles:

1. Corrente de curto-circuito (I_{SC});
2. Tensão de circuito aberto (V_{OC});
3. Ponto de potência máxima (P_{Mx});
4. Tensão no ponto de potência máximo (V_{MP});
5. Corrente no ponto de potência máximo (I_{MP}); e
6. Potência no ponto de potência máximo (P_{MP}).

A partir do gráfico da Figura 38, a Tabela 8 apresenta os parâmetros elétricos de funcionamento do módulo fotovoltaico para a temperatura média de 29 °C e radiação de 876,13 KJ/m².

Figura 38 – Curva I x V obtida de acordo com o método resistivo



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Tabela 8 – Dados obtidos de acordo com a curva característica I x V para uma temperatura média de 29 °C e radiação de 876,13 KJ/m²

PARÂMETROS	
Corrente de curto-circuito (Isc)	0,056 mA
Tensão de circuito aberto (Voc)	2,95 V
Potência máxima (Pmáx)	0,165 W
Corrente à máxima motência (Imp)	0,054 mA
Tensão à máxima potência (Vmp)	1,9 V
Ponto de potência máxima	0,103 W

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

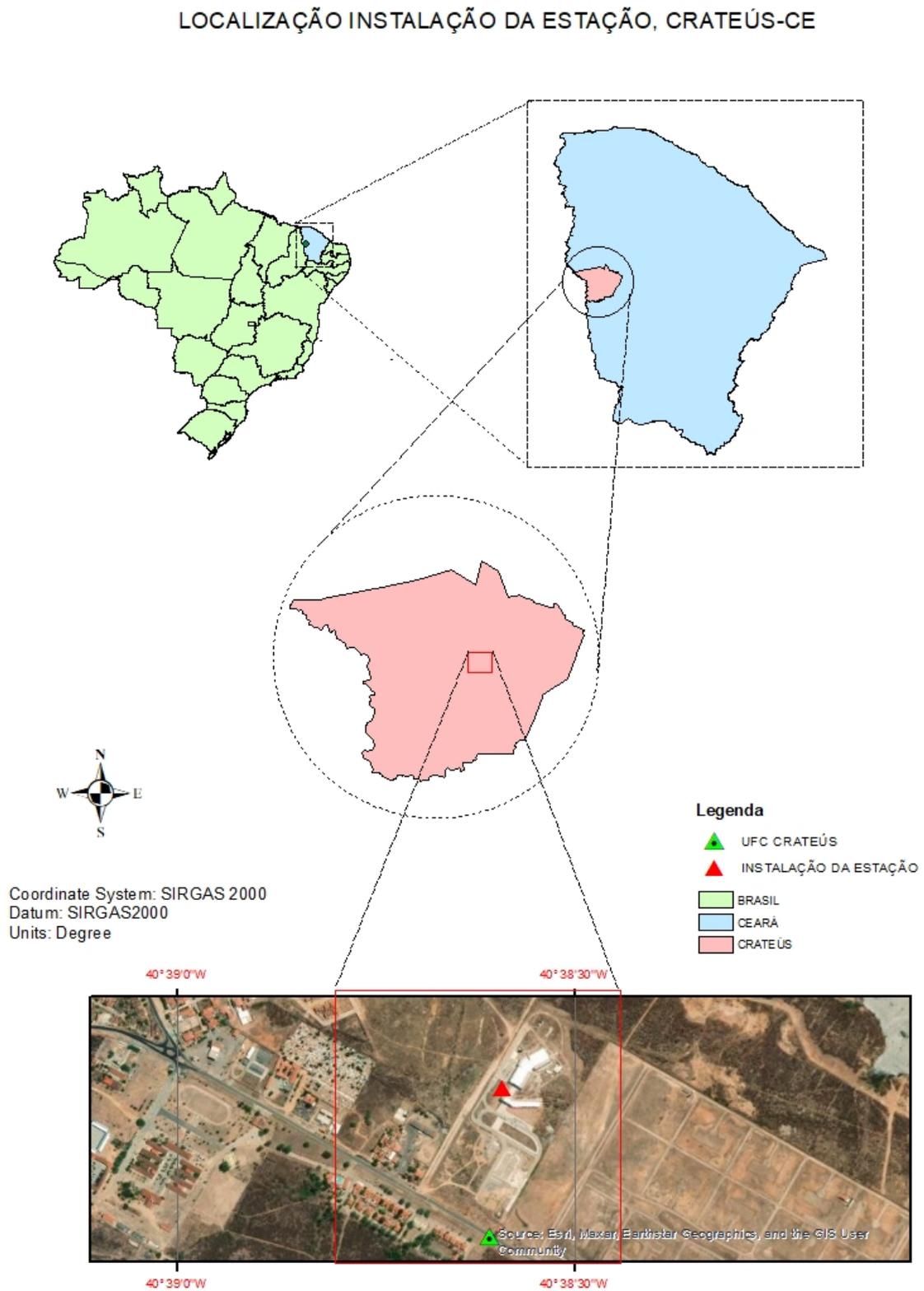
Tendo os valores de entrada demonstrado na Tabela 8 é possível realizar os cálculos que são descritos no referencial teórico com o intuito de adquirir os parâmetros elétricos do módulo fotovoltaico. Utilizando a equação 2.10 é possível obter o fator de forma (FF) de acordo com o cálculo descrito na equação 4.1.

$$FF = \frac{I_{MP} \times V_{MP}}{I_{SC} \times V_{OC}} \Rightarrow FF = \frac{0,054 \times 1,9}{0,056 \times 2,95} \Rightarrow FF = 0,63 \quad (4.1)$$

4.4 Local de Instalação da Plataforma

A plataforma de monitoramento e obtenção de dados será instalada no campus de Crateús da UFC em uma estrutura previamente montada, abrigando de forma segura a placa controladora e todos os sensores. A Figura 39 apresenta a localização da estação.

Figura 39 – Localização de instalação na plataforma na UFC - Campus Crateús



Fonte: Autoria Própria(2022)

4.5 Diretrizes curriculares nacionais para engenharia

Na perspectiva da relação entre as etapas de construção da estação e as novas DCNs, Dessa forma na Figura 40, é apresentado uma proposta de roteiro metodológico que pode ser usado por professores. Em sua construção foi aplicado elementos de metodologias ativas, através de um projeto integrador que articula diferentes disciplinas do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, centrado no princípio do aluno como protagonista da sua aprendizagem e na construção de habilidades e competências necessárias no contexto profissional.

Figura 40 – Áreas de estudo que o protótipo pode oferecer maior aprendizado ao discente

ETAPA	DISCIPLINAS ENVOLVIDAS	HABILIDADES E COMPÊTÊNCIAS SUGERIDA	COMPETÊNCIA PREVISTA PELAS DCNs
1ª Idealização do problema	Climatologia	1ª - Identificar que a escassez de dados prejudica uma análise detalhada dos conteúdos;	1ª - Formular, de maneira ampla e sistêmica, questões de engenharia, considerando o usuário e seu contexto, concebendo soluções criativas, bem como o uso de técnicas adequadas;
	Controle de poluição atmosférica		
	Hidrologia	2ª - Conceber, projetar e analisar variáveis em busca da solução adequada;	
	Saneamento e Saúde Fontes		
2ª - Construção do protótipo	Programação Computacional	1ª - Aplicar conhecimentos adquiridos durante o curso e instrumentos conhecidos em busca da solução;	1ª - Conceber experimentos que geram resultados reais para o comportamento dos fenômenos e sistemas em estudo; 2ª - Conceber, projetar e analisar sistemas, produtos (bens e serviços), componentes ou processos;
	Eletrotécnica	2ª - Desenvolver e aplicar novas técnicas e dispositivos;	3ª - Ser capaz de conceber e projetar soluções criativas, desejáveis e viáveis, técnica e economicamente, nos contextos em que serão aplicadas; 4ª - Projetar e determinar os parâmetros construtivos e operacionais para as soluções de engenharia;
		3ª - Conceber e analisar a estabilidade do sistema escolhido;	5ª - Aplicar conceitos de gestão para planejar, supervisionar, elaborar e coordenar; 6ª - Projetos e serviços de engenharia;
3ª - Tratamento dos dados	Calculo em Geral	1ª - Analisar os dados e descobrir possíveis erros e corrigi-los;	1ª - Ser capaz de modelar os fenômenos, os sistemas físicos e químicos, utilizando as ferramentas matemáticas, estatísticas, computacionais e de simulação, entre outras; 2ª - Verificar e validar os modelos por meio de técnicas adequadas; 3ª - Comunicar-se eficazmente nas formas escrita, oral e gráfica
	Probabilidade e Estatística		
	Termodinâmica	2ª - Identificar a imprecisão e corrigi-la;	
4ª - Uso dos dados	Climatologia	1ª - Atuar de forma multidisciplinar em sua formação;	1ª - Aplicar conceitos de gestão para planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia; 2ª - Implantar, supervisionar e controlar as soluções de engenharia;
	Controle de poluição atmosférica		
	Hidrologia		3ª - Ser capaz de aplicar os conceitos de gestão para planejar, supervisionar.
	Saneamento e Saúde	2ª - Identificar o impacto gerado pelos dados e us	4ª - Elaborar e coordenar a implantação das soluções de engenharia;
	Fontes		5ª - Ser capaz de expressar-se adequadamente, seja na língua pátria ou em idioma diferente do Português, inclusive por meio do uso consistente das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC's), mantendo-se sempre atualizado em termos de métodos e tecnologias disponíveis;

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se afirmar que a introdução de sistemas automáticos de captação de informações atmosféricas é de fundamental importância, tendo em vista a sua relevância para a qualificação dos egressos na área de gestão energética e monitoramento das condições climáticas.

Do ponto de vista acadêmico, articulado com as novas Diretrizes Curriculares Nacionais, este projeto buscou-se trazer novas possibilidades para o ensino de disciplinas da área de recursos energéticos e afins, a partir de uma montagem experimental de baixo custo, de forma a oportunizar aos docentes do Campus da UFC em Crateús alternativas metodológicas e promover uma melhor qualidade de processo ensino-aprendizagem dos os discentes.

Além disso, relacionando as informações obtidas pela estação com os dados do INMET é possível afirmar que a discrepância entre os dados é mínima, sendo, então, satisfatória, dado que foi desenvolvido um sistema de baixo custo, onde os sensores não possuem alta sensibilidade, trazendo, portanto, um cenário otimista para a viabilização do uso dos sensores para esses tipos de estudos e ações educativas. Buscando a maior quantidade de dados, a estação permite a implementação de mais sensores como o pluviômetro, para determinar a quantidade de líquidos ou sólidos, o anemômetro com o intuito de medir a velocidade de um fluido, no caso o ar, e um barômetro para mensurar a pressão atmosférica.

Como perspectiva futura é importante viabilizar meios para que os dados obtidos sejam oferecidos à comunidade acadêmica. Diante disso, esses dados serão disponibilizados a partir do *Google Sheets*, que é uma planilha *online*, onde será feita uma alimentação diária dos dados, cujo alcance será amplo e permitirá que diversos estudantes e pesquisadores se beneficiem com as informações. Essa ampliação de disponibilização de dados de condições atmosféricas é um passo significativo na busca de um desenvolvimento sustentável do país.

REFERÊNCIAS

- ABDULGAFAR, SAYRAN A; OMAR, O. S.; YOUSIF, K. M. Improving the efficiency of polycrystalline solar panel via water immersion method. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, v. 3, p. 96–101, 2014.
- ANGELO, S. et al. Estação meteorológica automática de baixo custo-low cost automatic meteorological station. **Multiverso: Revista Eletrônica do Campus Juiz de Fora-IF Sudeste MG**, v. 1, p. 46–56, 2016.
- ANTONIO, R.; GASPARIN, FABIANO PERIN. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, p. 140–147, 2016.
- APARECIDA, D. **OBTENÇÃO DE CURVA CARACTERÍSTICA DE PLACA SOLAR FAZENDO USO DE ARDUINO**. [s.l: s.n.].
- ARDUINO.CC. **Arduino - home**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: out. 2020.
- ASSUNÇÃO, HÉLIO DELGADO. **Degradação de módulos fotovoltaicos de silício cristalino instalados no DEE–UFCBS dissertation**. [s.l.] Dept. of Electrical Engineering, Universidade Federal do Ceará, 2014.
- BAKKER, K. et al. Comparison of statistical post-processing methods for probabilistic NWP forecasts of solar radiation. **Solar Energy**, v. 191, p. 138–150, 2019.
- BREASTCANCER.ORG. Types of radiation. v. 1, p. 2016, 2015.
- BÜHLER, ALEXANDRE JOSÉ. **Determinação de parâmetros fotovoltaicos a partir de ensaios de curvas características sem iluminação**. [s.l: s.n.].
- BÜHLER, ALEXANDRE JOSÉ. **Estudo de técnicas de determinação experimental e pós-processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos**. [s.l: s.n.].
- CÂMARA, C. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica** Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG. [s.l: s.n.].
- CARLOS; JÚNIOR, L.; JÚNIOR, S. **Potencial de geração de energia solar: O Brasil e o mundo**. In: 14 CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. 2017.
- CARNEIRO, J. A. **Semicondutores: modelo matemático da célula fotovoltaica**. [s.l: s.n.].
- CARVALHO, L. **Preparação e desenvolvimento do mecanismo da luminescência persistente de materiais dopados com íons terras raras**. [s.l: s.n.].
- CASAGRANDE, . **Comentários sobre as novas diretrizes curriculares nacionais**. [s.l.] Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Anais Fortaleza: Cobenge, 2019.
- CASTRO, R. M. **Introdução à energia fotovoltaica** DEEC/Seção de Energia Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico. [s.l: s.n.].
- CLARISSA, C. **Caracterização de ligas bi-ni e bi-ni-sn para aplicação como materiais de**

interface térmica. [s.l.] [sn], 2020.

COUTINHO, L. **Análise de viabilidade de utilização da geotermia no aumento do rendimento de placas fotovoltaicas.** [s.l.] Universidade Federal da Grande Dourados, 2018.

CUNHA, D. **Seminário sobre dissipadores**Rio de Janeiro: UFRJ,[sd]. [s.l: s.n.].

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, FABIANO MEZADRE. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico.** [s.l.] Texto para Discussão, 2018.

DE. **Atlas de energia elétrica do Brasil**ANEEL, Brasília, Brasil. [s.l: s.n.].

DE. **CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO.** [s.l: s.n.].

DE, M. **Energia solar no brasil e no mundo - ano de referência - 2016.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>>.

DE, M. **Plano decenal de expansão de energia 2029**Brasília: MME/EPE. [s.l: s.n.].

DE; HENRIQUE, G. **Resolução nº 1, de 24 de abril de 2019.** [s.l.] Boletim de Serviço, 3 de maio de 2019, 2019.

DEBORAH, C. Thermal interface materials. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 10, p. 56–59, 2001.

DEMANBORO, A. C.; MARIOTONI, C. A.; NATURESA, J. S. **A sustentabilidade através de empreendimentos energéticos descentralizados**Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural. [s.l.] SciELO Brasil, 2006.

DEMONTI, R. **Processamento da energia elétrica proveniente de módulos fotovoltaicos.** [s.l.] Florianópolis, SC, 2003.

DO. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**Diss. Universidade Federal de Lavras. [s.l: s.n.].

DO. **Agência nacional de energia elétrica**Brasília: Aneel. [s.l: s.n.].

ELY, F.; SWART, J. W. Energia solar fotovoltaica de terceira geração. **Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos ou Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), O Setor Elétrico**, ed, v. 105, p. 138–139, 2014.

ESMAP et al. **Global solar atlas.** Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/map>>.

FALCÃO, V. D. **Fabricação de células solares de CdS/CdTe**Instituto Militar de Engenharia. [s.l: s.n.].

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras-Volume 2.** [s.l.] Editora INPA, 2015.

FEITOSA, F. A. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea Estado do Ceará: Diagnóstico do município de Crateús.** [s.l.] Fortaleza, 1998.

GALDINO, M. A. et al. **O contexto das energias renováveis no Brasil**Revista da DIRENG. [s.l: s.n.].

GALLAS, R. **Concentração de portadores de carga : Condução elétrica em semicondutores** : Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~marcia/>>.

GASPARI, B. DE. **Inovação e educação empreendedora aplicadas à instrumentação e controle de processos**. [s.l: s.n.].

GASPARIN, FABIANO PERIN. **Desenvolvimento de um traçador de curvas características de módulos fotovoltaicos**. [s.l: s.n.].

HAAG, R.; KRENZINGER, A. Análise da influência de parâmetros atmosféricos e locais na distribuição espectral da radiação solar. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 1, 2010.

HANSSON, J. et al. **Review of current progress of thermal interface materials for electronics thermal management applications**. In: 2016 IEEE 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NANOTECHNOLOGY. 2016.

HANSSON, J. et al. Novel nanostructured thermal interface materials: a review. **International Materials Reviews**, v. 63, p. 22–45, 2018.

HECKTHEUER, LÚCIO ALMEIDA. **Análise de associações de módulos fotovoltaicos**. 138 f. [s.l: s.n.].

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

JORGE, R. **Efeito do sombreamento nos painéis fotovoltaicos**. [s.l: s.n.].

JUNGES, P. **Uso de tecnologias e metodologias ativas no ensino de engenharia**. [s.l.] Universidade Federal do Pampa, 2021.

JUNIOR, F. **O uso de Arduino na criação de Kit para oficinas de robótica de baixo custo para escolas públicas**Limeira: São Paulo. [s.l: s.n.].

KAMADA, W. **Ciclos de modelagens**. [s.l: s.n.].

LE, L. et al. Graphene-based thermal interface materials: An application-oriented perspective on architecture design. **Polymers**, v. 10, p. 1201, out. 2018.

LIMA, T. S. **Estudo de ligas do sistema Bi-Sb para uso em dispositivos eletrônicos**. [s.l.] [sn], 2020.

LOPO, A. B. **Análise do desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar de baixo custo**. [s.l: s.n.].

MAHADEVAN, B. K. et al. Non-curing thermal interface materials with graphene fillers for thermal management of concentrated photovoltaic solar cells. **C — Journal of Carbon Research**, v. 6, p. 2, 2019.

MARCHESAN, M. **Sistema de monitoramento residencial utilizando a plataforma**

arduinoSanta Maria. [s.l: s.n.].

MÁRCIO, L. **Desenvolvimento e validação de traçador de curva I x V para módulos fotovoltaicos.** [s.l: s.n.].

MARTINS, R. M. **RDT–Radiotransmissão.** [s.l: s.n.].

MATHEUS, C. **Monitoramento de temperatura e umidade de um ambiente utilizando o protocolo zigbee.** [s.l.] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2016a.

MATHEUS, C. **Monitoramento de temperatura e umidade de um ambiente utilizando o protocolo zigbee.** [s.l.] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2016b.

MELO, L.; SARON, A. PROPOSTA DE NIVELAMENTO EM ATENDIMENTO ÀS NOVAS DIRETRIZES CURRICULARES NACIONAIS PARA CURSOS DE ENGENHARIA: CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROFOTÔMETRO COMO APRENDIZAGEM POR PROJETO. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 39, 2021.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL. **File:Best research-cell Efficiencys.png - wikimedia commons.** Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Best_Research-Cell_Efficiencys.png>. Acesso em: out. 2020.

NAVARRO,; FERNANDES, E. A. Uso residencial de energia solar para as capitais brasileiras: as vantagens da região Nordeste. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 46, p. 151–168, 2015.

OLIVEIRA,. **Avaliação da conversão da energia fotovoltaica em sistemas isolados.** [s.l: s.n.].

PAIVA, S. et al. Desenvolvimento de uma estação meteorológica automática e didática de baixo custo. **Revista Intercâmbio**, v. 8, p. 193–204, 2017.

PEDRO, S.; APARECIDA, M. **APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA HIDROVIA PARANÁ–PARAGUAI.** [s.l: s.n.].

PEREIRA,. **Unidade de ensino potencialmente significativa no estudo problematizador dos efeitos fotoelétrico e fotovoltaico.** [s.l.] Universidade Estadual da Paraíba, 2019.

PEREIRA, E. et al. **Atlas brasileiro de energia solar – 2ª edição.** [s.l: s.n.].

PERUSSI, R. **Análise do desempenho de trocadores de calor de fluxo cruzado por simulação numérica.** [s.l: s.n.].

PESSI, DHONATAN DIEGO; GRANDE, C. **Monitoramento de Mudanças Climáticas: sensoriamento remoto comparado às estações meteorológicas automáticas.** [s.l: s.n.].

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. **Rio de Janeiro**, v. 1, p. 47–499, 2014.

PINTO, P. **Modelação e controlo de conversor DC/AC para interligação de painéis fotovoltaicos à rede.** [s.l: s.n.].

PRIEB,. **Desenvolvimento de um sistema de ensaio de módulos fotovoltaicos.** [s.l: s.n.].

QUEVEDO, T. L. **ESTUDO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE UM DISSIPADOR DE CALOR PARA USO EM FONTES LED RGB POR MEIO DE ANÁLISE DE MATERIAIS, GEOMETRIAS E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.** [s.l: s.n.].

REIS, R. C. **Análise do efeito da convecção forçada para resfriamento de sistema térmico fotovoltaico.** [s.l.] Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2020.

RODRIGUES, C. **Centrais solares fotovoltaicas ligadas à rede eléctrica: projecto, monitorização e análise do desempenho das centrais PV do Edifício Solar XXI, utilização dos resultados obtidos no desenvolvimento de modelos numéricos do funcionamento deste tipo de centrais.** [s.l: s.n.].

SAADAH, M.; HERNANDEZ, E.; BALANDIN, A. A. Thermal management of concentrated multi-junction solar cells with graphene-enhanced thermal interface materials. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 7, p. 589, 2017.

SANTANDREA, P. M. **Estudo da transferência de calor em painel fotovoltaico.** [s.l: s.n.].

SATO, D.; YAMADA, N. Review of photovoltaic module cooling methods and performance evaluation of the radiative cooling method. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 104, p. 151–166, 2019.

SCHMIDT,. **Transferência de calor em sistema heliotérmico-fotovoltaico.** [s.l: s.n.].

SCHUCK, F. **Desenvolvimento de traçador de curvas IV portátil para arranjos fotovoltaicos.** [s.l: s.n.].

SÉRGIO, A. et al. **Design Science: Perspectivas Paradigmáticas e Comparações com Estudo de Caso e Pesquisa-Ação.** [s.l: s.n.]. Acesso em: 5 jul. 2022.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. DE; CAMARGO,. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais.** In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO (CBPE). 2006.

SILVA, J. A.; BRITO, M. C. **Energia fotovoltaica: Conversão de energia solar em eletricidade**Citado na. [s.l: s.n.].

SILVA, V. N. **Propostas de montagens experimentais com Arduino para o estudo de controle na Engenharia Química.** [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2019a.

SILVA, V. N. **Propostas de montagens experimentais com Arduino para o estudo de controle na Engenharia Química.** [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2019b.

SOLAR, E. Princípios e aplicações. **Centro de Referencia para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito–CRESESB, Rio de Janeiro. Disponível em:; http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf**, v. 4, 2006.

TIBA, C. et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres** Recife: Editora Universitária da UFPE. [s.l: s.n.].

TOMASELLA, J.; ROSSATO, L. Balanço de energia. **Artigo científico**, in: **http://mtcm16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris**, v. 2005, p. 11–40, 1915.

UMANAND, L. **Design of photovoltaic systems**. Disponível em: <<https://nptel.ac.in/courses/117/108/117108141/>>.

VAREJÃO, MÁRIO ADELMO. Meteorologia e climatologia. **Versão digital**, v. 2, p. 463, 2006.

VENTURINI, S. F. et al. DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS POR MEIO DA METODOLOGIA PROJECT BASED LEARNING: UM ESTUDO DE CASO NA DISCIPLINA INSTRUMENTAÇÃO. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 38, 2019.

VILLALVA, M. G. **O fator de forma (FF) como indicador de qualidade dos módulos fotovoltaicos**. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/artigos/artigos-tecnicos/item/350-fator-de-forma-dos-modulos-foto-voltaicos>>. Acesso em: nov. 2020.

WOLLINGER, PAULO ROBERTO. **Estudo dos níveis de radiação eletromagnética em ambiente urbano**. [s.l.] Florianópolis, SC, 2003.

ZHANG, J. et al. Enhanced performance of photovoltaic–thermoelectric coupling devices with thermal interface materials. **Energy Reports**, v. 6, p. 116–122, 2020.

APÊNDICE A – *CÓDIGO FONTE UTILIZADO*

Programação utilizada na construção do protótipo com a ajuda da IDE arduino.

```
#include <DHT.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <rExcel.h>

#define ONE_WIRE_BUS 2
#define DHTPIN 4
#define pinSensorA A5
#define amper A3

#define DHTTYPE DHT11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensor(&oneWire);

int tempo=1000; //1000 é igual a 1 segundo.
int idx = 0;      // index
int outputTiming = 1000; // packet sending timing in ms    important: this dermines the output
timing
float tensao = 0;
float corrente = 0;
float temperatura = 0;
float h = 0;
float c = 0;
float f = 0;
float lc =0;
float r=0;
```

```
float chuva =0;
boolean x= true;

rExcel    myExcel;        // class for Excel data exchange

void setup(){

    Serial.begin(115200);
    delay(1000);
    pinMode(A1, INPUT);
    pinMode(DHTPIN, INPUT);
    pinMode(ONE_WIRE_BUS, INPUT);
    pinMode(pinSensorA, INPUT);
    pinMode(amper, INPUT);

    dht.begin();

    myExcel.clearInput();

    myExcel.clear("Example","A11:K111");

}

void loop() {
    while(x){

        static unsigned long loopTime = 0;
```

```
static unsigned long time1 = 0;
int ret;

loopTime = millis();

if ((loopTime - time1) >= outputTiming) {

time1 = loopTime;
tensao = analogRead(A1);
tensao = tensao/1023;
tensao = tensao*5;
corrente = analogRead(amper);
corrente = corrente/1023;
corrente = (corrente*5);
r = tensao*19.95;

sensor.requestTemperatures();
temperatura=sensor.getTempCByIndex(0);

chuva=analogRead(pinSensorA);
chuva=(1-(chuva/1000));

c = dht.readTemperature();
f= dht.readTemperature(true);
h= dht.readHumidity();
lc = dht.computeHeatIndex(f, h);
lc=(((lc-32)*5)/9);

if (myExcel.up()) {
```

```

    //myExcel.write("Example", "B5", tensao, 2);          // write the value from A0 pin to
worksheet 'Example' cell 'B5' with two digits as decimals

    // myExcel.write("Example", "B6", corrente, 2);      // write a random value to worksheet
'Example' cell 'B6' with two digits as decimals

    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 1,"%date%"); // write %date% (that will be converted
in current date) to worksheet 'Example' row 'idx+11' column '1'

    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 2,"%time%"); // write %time% (that will be converted
in current time) to worksheet 'Example' row 'idx+11' column '2'

    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 3, idx+1);   // write idx to worksheet 'Example' row
'idx+11' column '3'

    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 4, tensao, 10); // write the value from A0 pin to
worksheet 'Example' row 'idx+11' column '4' with two digits as decimals

    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 5, corrente,10);

    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 6, r/100, 2);

    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 7, temperatura, 2);

    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 8, h/100, 2); // write the value from A0 pin to
worksheet 'Example' row 'idx+11' column '4' with two digits as decimals

    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 9, c, 2);

    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 10, lc, 2);

    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 11, chuva, 2);

    // write a random value to worksheet 'Example' row 'idx+11' column '5' with two digits as
decimals

    idx++;

delay(tempo);

    // every 60 cycles

    if (idx > 990) {

        x=false;

        //myExcel.save();

        //myExcel.clear("Example","A11:K111");          // clear cells in A11:F70 area of 'Example'
worksheet

        //myExcel.clear("Test","C5:C64");              // clear cells in C5:C64 area of 'Test' worksheet

```

```
//myExcel.send("hello!"); // for custom developments
//myExcel.mail("x.y@gmail.com","", "Test", "Hello!", "%log%"); // send a mail:
recipient,CC,subject,message,attach (attach: %log% for the configured logfile)
idx = 0;
}
}
}
}}
```