



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDICIPLINAR DE ENGENHARIAS
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIENCIA E TECNOLOGIA

LUCAS GOMES DE LIMA SANTOS

**PROTÓTIPO DE MEDIÇÃO DE INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR PARA
FINS DE TRATAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS UTILIZANDO O MÉTODO
SODIS**

ANGICOS – RN

2020

LUCAS GOMES DE LIMA SANTOS

**PROTÓTIPO DE MEDIÇÃO DE INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR PARA
FINS DE TRATAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS UTILIZANDO O MÉTODO
SODIS**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido – UFERSA, Campus Angicos,
para obtenção do título de Bacharel
em Ciências Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo de Oliveira
Gurgel Rebouças

ANGICOS – RN

2020

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

S194p SANTOS, LUCAS GOMES DE LIMA.

PROTÓTIPO DE MEDIÇÃO DE INTENSIDADE DE RADIAÇÃO
SOLAR PARA FINS DE TRATAMENTO DOS RECURSOS
HÍDRICOS UTILIZANDO O MÉTODO SODIS / LUCAS GOMES
DE LIMA SANTOS. - 2020.

46 f. : il.

Orientador: Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2020.

1. Método SODIS. 2. Protótipo Inovador. 3. Meio
Ambiente. 4. Arduino. 5. Sensor BH1750. I.
Rebouças, Gustavo de Oliveira Gurgel, orient. II.
Título.

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

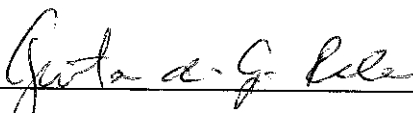
LUCAS GOMES DE LIMA SANTOS

**PROTÓTIPO DE MEDIÇÃO DE INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR PARA
FINS DE TRATAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS UTILIZANDO O MÉTODO
SODIS**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido – UFERSA, Campus Angicos,
para obtenção do título de Bacharel
em Ciências Tecnologia.

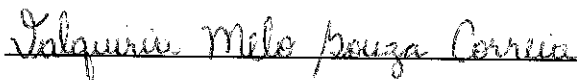
Defendida em: 04/02/2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Gustavo De Oliveira Gurgel Rebouças

Presidente



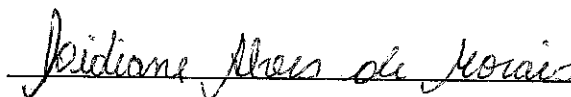
Prof. Dra. Valquíria Melo Souza Correia

Membro Examinador



Prof. Me. Marcilio Luis Viana Correia

Membro Examinador



Prof. Dra. Lidiane Alves de Moraes

Membro Examinador

Dedico este trabalho as pessoas mais importantes na minha vida, entre elas estão, Olímpia Gomes, Alisson Andrade, Adriely Lima e Jonatas Andrade, pois sem eles nada disso seria possível.

A todos meus amigos que sempre me ajudaram da maneira que lhes era possível, aos meus professores da Instituição Federal de Ensino e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) e aos meus professores da graduação da Faculdade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família por ser meu pilar e jamais desconfiar da minha capacidade em conseguir o meu objetivo maior.

Agradeço a todos os meus amigos pelo companheirismo, irmandade e ajuda nas dificuldades do dia a dia, Cláudio Mateus, Pedro Yago, Cleiton Oliveira, Jonas Bezerra, Pedro Pereira, Henrique Lisboa e Victor Matheus.

Agradeço aos meus companheiros de faculdade que se tornaram amigos de coração, Paulo Rodolpho, Cleiton Medeiros, Danilo Ferreira, Mateus Oliveira, Niarkus Xavier, Matheus Carlyelton, Lucas Araújo, Emerson Martins, Luiz Eduardo, Bruno Rodriguez, Bruno Medeiros, Gabriel Ramalho e Pedro Gil.

Agradeço aos meus amigos que apesar das distâncias continuam fortemente ligados a minha pessoa, Pedro Venício, Kayro, Raul Silvestre e Maria Rayane.

Agradeço a professores importantes da época de IFRN que passaram na minha vida e foram fundamentais no meu crescimento pessoal, João Dias e Leonardo Garcia.

Agradeço ao meu orientador Gustavo Rebouças pelo excelente profissional que ele é, e por sempre me apoiar ao longo dessa trajetória de trabalho.

Agradeço as inúmeras amizades que fiz na cidade de Angicos e que sempre levarei para vida toda.

Agradeço aos meus companheiros de residências por sempre serem pessoas fantásticas ao longo de todo esse tempo de curso e pelo aprendizado de vida que pude ter com eles, João Carlos, Robson Medeiros e Murilo Nepomuceno.

Por fim, agradeço a todos aqueles que pude ter o prazer de conhecer e conversar ao longo desses três anos de curso e dizer que todos foram de extrema importância para o meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

Não são dos dias de hoje que a tecnologia e a ciência andando lado a lado com a finalidade de solucionar vários problemas relacionados as questões ambientais e sociais de uma forma mais prática, barata, sustentável e eficiente. Os avanços tecnológicos e científicos nos permitiram resolver problemas específicos que incomodam e degradam a sociedade ao longo dos anos. Um dos grandes problemas da humanidade nas últimas décadas estão diretamente ligadas as questões ambientais no que se trata do descaso em relação a mesma. Nesta pesquisa será debatido sobre um dos grandes problemas ambientais da sociedade moderna, a falta de recursos hídricos, seus meios de tratamento e suas complicações. A grande problemática dessa pesquisa se dá em como desenvolver uma tecnologia que auxilie na manutenção desses recursos de uma forma barata, simples e sustentável. O método de tratamento da água conhecido como SODIS (Solar Water Disinfection) ou Desinfecção Solar da Água será um dos temas em pauta nessa pesquisa. Será mostrado como o desenvolvimento de um protótipo de medição de intensidade de radiação solar, construído de maneira inovadora, com a utilização de uma placa de prototipagem Arduino Uno e um sensor de luminosidade BH1750 podem auxiliar na avaliação das melhores condições para a aplicação desse método de tratamento. Além disso, serão realizadas comparações com outro sensor mais sofisticado, com o intuito de demonstrar a eficiência dessa tecnologia, apresentando também suas características individuais. Por fim, será mostrado como os resultados foram benéficos no que se trata da determinação das melhores condições para aplicação do método SODIS, levando-se em consideração a capacidade de registro de dados de intensidade de radiação solar do sensor BH1750.

Palavras-chaves: Método SODIS; Protótipo Inovador; Meio Ambiente; Arduino; Sensor BH1750.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores registrados pelo Sensor BH1750 após sua calibragem e os valores obtidos pelo sensor de Radiação Global (R.G) da UFERSA no dia 24 de janeiro de 2020	37
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação das ondas eletromagnéticas (ULTRAVIOLETA – INFRAVERMELHO	19
Figura 2: Aplicação do método SODIS	22
Figura 3: Placas de prototipagem eletrônica Arduino Uno e outros modelos de placas acessíveis no mercado	25
Figura 4: Esquema de montagem e ligação do sensor BH1750 junto ao Arduino Uno	27
Figura 5: Fluxograma da metodologia sobre o procedimento experimental	26
Figura 6: Materiais utilizados na confecção do protótipo	30
Figura 7: Modelo da montagem eletrônica	31
Figura 8: Código utilizado para programação do sensor BH1750	32
Figura 9: Dados mostrados no Monitor Serial do Arduino	33
Figura 10: Sensor BH1750 fixo em um plano horizontal e isolado em período de realização dos testes	34
Figura 11: imagem de satélite que mostra a localização do sensor BH1750, do sensor de Radiação Global (R.G) e a distância aproximada entre os mesmos	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Análise gráfica dos valores obtidos pelo sensor de Radiação Global (R.G) presente na estação meteorológica da UFERSA campus ANGICOS/RN, no dia 24 de janeiro de 2020.....	38
Gráfico 2: Análise gráfica dos valores obtidos pelo sensor de luminosidade BH1750 no dia 24 de janeiro de 2020	39
Gráfico 3: Sobreposição gráfica entre o sensor de Radiação Global presente na estação meteorológica da UFERSA e o sensor de luminosidade BH1750, com o indicativo de intensidade luminosa necessária para aplicação do método SODIS	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVOS GERAIS	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 MEIO AMBIENTE E OS RESÍDUOS DE ORIGEM ANTRÓPICA	16
3.2 TRATAMENTO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS E SUAS COMPLICAÇÕES	17
3.3 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	18
3.4 MÉTODO DE TRATAMENTO SODIS	20
3.5 PROTÓTIPO DE MONITORAMENTO DE INTENSIDADE SOLAR ARDUINO	22
3.5.1 O ARDUINO	23
3.5.2 O SENSOR DE LUMINOSIDADE BH1750	25
3.5.2.1 ILUMINÂNCIA, LÚMEN E LUX	27
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 MATERIAIS E FERRAMENTAS UTILIZADAS	29
4.2 MONTAGEM ELETRÔNICA DO SENSOR BH1750 – ARDUINO	30
4.3 PROGRAMAÇÃO DO SENSOR BH1750	31
4.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL ENVOLVENDO A MEDIÇÃO DAS INTENSIDADES DE RADIAÇÃO SOLAR	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1 OBSERVAÇÕES ACERCA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E DO POSICIONAMENTO DOS SENSORES NO DIA DA REALIZAÇÃO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	34
5.2 CAPACIDADE DE REGISTRO DE DADOS DO SENSOR BH1750 E SUA CALIBRAGEM.....	36
5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS COM A UTILIZAÇÃO DO SENSOR DE LUMINOSIDADE BH1750 E O SENSOR DE RADIAÇÃO GLOBAL PRESENTE NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA UFERSA ANGICOS/RN	36
5.4 ANÁLISE GRÁFICA DOS SENSORES, OBSERVAÇÕES ACERCA DA VARIAÇÃO DAS INTENSIDADES REGISTRADAS E SEUS COMPARATIVOS.....	38

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

É evidente que a tecnologia e a ciência têm sido cruciais na formação e desenvolvimento da sociedade nos dias atuais. Como dito por CASTELLS (1999), é claro que a tecnologia não determina a sociedade, nem a sociedade possui o poder de escrever o curso da transformação tecnológica, levando-se em consideração diversos fatores, tais eles a criatividade e a iniciativa empreendedora, fatores esses que intervêm no processo de descoberta científica, inovação tecnológica e aplicações sociais.

Com o passar das décadas a tecnologia sofreu grandes avanços, permitindo que novas formas e meios tecnológicos fossem desenvolvidos, com o intuito de solucionar diversos problemas de uma forma mais prática, econômica, segura e eficiente. Um dos grandes avanços da tecnologia que iremos destacar e que nos permitiram resolver tais problemas para a sociedade, foi a criação das placas de prototipagem eletrônica. As placas de prototipagem eletrônica ou placas Arduino, possuem funcionamento semelhante a um microcomputador, onde pode-se programar a maneira como suas entradas e saídas devem se comportar em meio aos diversos componentes externos que podem ser conectados nas mesmas, como citado por MOTA (2019). É através do auxílio de tecnologias como essa e da aplicação de estudos relacionados a áreas específicas, tais como: o de tratamento dos recursos hídricos e do espectro eletromagnético, que podem ser usados de forma conjunta na busca de solucionar problemas graves relacionados a sociedade.

Diante disso, a energia solar surgiu como uma ferramenta promissora para auxiliar em tais questões. Além de ser uma fonte natural disponível em abundância, principalmente em países tropicais como o Brasil, é perfeitamente aplicável para desinfecção de água em regiões menos favorecidas em infraestrutura e recursos financeiros, levando-se em consideração que não há necessidade da adição de produtos químicos, além de não existir custos para a introdução do método, já que materiais comerciais descartados podem ser utilizados (PATERNIANI e SILVA, 2005). O método de purificação da água utilizando energia solar conhecido como SODIS (Solar Water Disinfection) ou desinfecção solar da água, trata-se de um método de tratamento da água que tem como principal característica a melhoria da qualidade microbiológica da água, levando consigo várias consequências benéficas em relação a sua eficiência, além de apresentar baixos custos de investimento, tendo como únicos recursos a utilização de energia solar e garrafas de poli-tereftalato de etileno (PET), (PEREIRA e col., 2013).

Já que discutimos sobre a utilização da energia solar aplicado nesse método de tratamento, se torna de importante relevância o estudo da espectroscopia, para que possamos identificar determinadas características do espectro eletromagnético da luz, que irão contribuir para fundamentação dessa pesquisa. Segundo SILAS (2019) o espectro eletromagnético se trata da distribuição das ondas eletromagnéticas, sendo elas visíveis ou não visíveis, de acordo com a frequência e o comprimento de onda característico do tipo de radiação. O espectro eletromagnético é apresentado em geral, em ordem crescente de frequências, começando pelas ondas de rádio, passando pela radiação visível, até chegar aos conhecidos raios gama, que se trata da radiação de maior frequência (HELERBROCK, 2019).

Por fim vale salientar que o desenvolvimento desse protótipo foi realizado de forma inovadora, pois trata-se de uma tecnologia que foi desenvolvida com materiais e métodos, no qual, seu próprio idealizador utilizou e aplicou, com a finalidade de se fazer o uso da energia solar como meio de solução para resolver um dos grandes problemas relacionados aos recursos hídricos, a poluição devido o mundo industrializado. Além de carregar consigo características, tais como: baixo custo, de fácil manuseio e fácil aplicabilidade, afim de auxiliar na avaliação das melhores condições para a aplicação desse método de tratamento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Realizar o desenvolvimento de um protótipo de medição de intensidade de radiação solar utilizando uma placa de prototipagem eletrônica Arduino junto ao sensor de luminosidade BH1750.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a calibragem do sensor BH1750 para que o dispositivo registre os dados de intensidade de radiação solar em uma escala de intensidade próximo dos reais valores.
- Realizar o monitoramento das intensidades de radiação solar da cidade de Angicos/RN em um único dia.
- Coletar os dados de intensidade de radiação do sensor BH1750 e realizar uma análise comparativa dos gráficos e dados coletados pelo sensor de Radiação Global (R.G) da UFERSA, presente na estação meteorológica do campus Angicos/RN.
- Determinar se a aplicação do método SODIS é viável para região de Angicos/RN.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será realizado um levantamento teórico dos principais conteúdos necessários para o desenvolvimento dessa pesquisa. O mesmo irá se basear nas questões ambientais e sociais que cercam um dos assuntos mais discutidos no mundo, a poluição ambiental. Em seguida veremos como o estudo e o aprofundamento de um dos métodos de fator mais sustentável que poderíamos avaliar em relação ao tratamento de resíduos líquidos industriais conhecido como SODIS, e o estudo do Espectro Eletromagnético, poderão nos auxiliarem no desenvolvimento de uma tecnologia de baixo custo que nos permita resolver tais questões de uma maneira mais prática, inovadora, rentável e sustentável.

3.1 MEIO AMBIENTE E OS RESÍDUOS DE ORIGEM ANTRÓPICA

A melhor forma de definirmos poluição é qualquer alteração provocada no meio ambiente que mude seu funcionamento natural primário, de modo a torná-lo impróprio a sobrevivência de diversas espécies de vida que ali habitam. Os diversos tipos de poluição sendo eles do ar, solo e água se dão muitas vezes pela dispersão de resíduos de origem antrópicas nessas fontes naturais, sendo esses, um dos maiores problemas enfrentados pelo mundo industrializado.

A preocupação com os efeitos da atividade antrópica ao meio ambiente, tornasse cada vez mais observado em uma outra perspectiva em relação as tomadas de decisão nos dias atuais. Pois a utilização dos recursos naturais de maneira que venha a degradar o meio ambiente, tornou-se inconcebível (OLIVEIRA e HENKES, 2013). Infelizmente o que vemos se repetir durante todo esse processo industrial se trata dos diversos tipos de poluentes oriundos de atividades industriais serem descartados de forma inadequada, e que por muitas vezes tendo-se como destino final desses poluentes, as nossas próprias fontes hídricas ou corpos d'água.

Conforme artigo realizado por SILVA (2014), um estudo realizado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) revelou que a indústria paulista descarta de forma ilegal, cerca de 9,7 milhões de litros de resíduos por hora em rios e nascentes da região. Para se poder imaginar a magnitude do ocorrido, seria possível encher dois lagos do Parque Ibirapuera somente com resíduos industriais diariamente, além disso o prejuízo causado por essa ilegalidade é comparável ao esgoto residencial não tratado gerado por cerca de 11,9 milhões de habitantes.

Segundo ENGELMANN (2016), praticamente todas as indústrias são provenientes e geradoras de resíduos. O grande problema se dá na composição química e biológicas dos mesmos, que por muitas vezes podem ser tóxicos ao meio ambiente, precisando assim que sejam tratados antes mesmo de tomarem seu destino final.

3.2 TRATAMENTO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS E SUAS COMPLICAÇÕES

Grande parte dos resíduos líquidos lançados na natureza, são provenientes de atividades industriais ou domésticas, contendo em sua composição química diversos elementos tóxicos agressivos ao meio ambiente. Dessa maneira, é importante ter conhecimento sobre os procedimentos necessários para o gerenciamento e descarte destes tipos de resíduos, já que os mesmos causam diversos danos ao solo, plantas, água e animais. Quando se trata de gerenciamento e descarte de resíduos líquidos, devemos ressaltar que para as indústrias se trata de um processo mais complexo e que devido a esse motivo, torna-se um procedimento mais caro. Líquidos químicos-tóxicos com elementos como cianetos, metais pesados, ácidos e emulsões oleosas são despejados em corpos d'água provenientes de fábricas e indústrias (AMBIENTAL, 2013).

A utilização de tecnologias convencionais de tratamento para remoção de poluentes não tem sido mais tão satisfatória como nos últimos anos (MORAIS, 2016). Podemos usar como exemplo, o uso do cloro no tratamento da água, que tem como objetivo a desinfecção (decomposição dos micro-organismos patogênicos), a oxidação (alterações nas características da água pela oxidação dos compostos nela existente) ou pode ocorrer com que os ambos objetivos ocorram no mesmo período (MEYER, 1994). A adição de cloro como método de tratamento da água trata de uma de dessas

tecnologias convencionais que na qual, vem sendo bastante contestado, levando-se em consideração que a adição de íons cloro junto a água pode levar a formação de substâncias tóxicas que são prejudiciais aos seres humanos, como os Trihalometanos e compostos orgânicos mutagênicos (MORAIS, 2016).

A Organização Mundial de Saúde já reconhece que dosagens excessivas de cloro no organismo humano podem acarretar complicações específicas como a acidose metabólica, quadros intensos de cefaleia, confusões mentais e hiperventilação. E é devido a isso que é determinado um volume seguro e recomendado de ingestão de cloro diariamente por diferentes indivíduos sejam eles homens, mulheres ou crianças, evitando assim futuras complicações injeitáveis (ÁGUA, 2017). Devido a estes riscos à saúde humana, foi observado uma grande necessidade de desenvolver procedimentos que oferecem maior eficiência no tratamento de efluentes (FIORIZE e col., 2014).

3.3 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO DA LUZ

No século XIX, por volta de 1865, trabalhos envolvendo eletromagnetismo e óptica eram vistos como ramos diferentes na física, pois o campo de estudo do eletromagnetismo se tratava dos campos gerados por cargas em repouso e correntes elétricas, além do fenômeno da indução eletromagnética, conhecida também como Lei de Faraday, onde o fluxo de um campo magnético variável no tempo é capaz de gerar um campo elétrico induzido, enquanto que, a óptica tratava de explicar a propagação da luz sem se preocupar de que forma a mesma foi originada (TORRES e col., 2010). O físico escocês James Clerk Maxwell (1831 – 1879) no século XIX, questionou-se se seria possível fazer o processo inverso dito por Faraday, ou seja, se a variação do campo elétrico poderia gerar um campo magnético (BISQUOLO, 2005). Foi assim que Maxwell demonstrou teoricamente que as cargas elétricas oscilantes emitem radiação eletromagnética, além disso, demonstrou que essa energia é capaz de se propagar até mesmo no vácuo, incluindo também a apresentação de propriedades ondulatórias como a refração, reflexão, difração, interferência e transporte de energia (TORRES e col., 2010).

Maxwell organizou esse conjunto de conhecimentos e sintetizou um grupo de quatro equações, denominadas de “equações de Maxwell”, sendo elas responsáveis por demonstrar a dependência entre o campo elétrico e o campo magnético, comprovando que variações no tempo de um dos campos, provocam aparições do outro, resultando assim na produção de uma onda composta por campos elétricos e campos magnéticos, essas ondas logo em seguida seriam nomeadas por Maxwell de ondas eletromagnéticas (TORRES e col., 2010).

Uma forma de classificarmos e organizarmos as ondas eletromagnéticas é de acordo com seus comprimentos de ondas e frequências. Denominamos essa classificação das ondas eletromagnéticas como o Espectro Eletromagnético (SOUTO, 2018). A Figura 1 ilustra como se dá a classificação das ondas eletromagnéticas na região do ultravioleta, passando pela luz visível, até a radiação infravermelha.

Figura 1: Classificação das ondas eletromagnéticas (ULTRAVIOLETA – INFRAVERMELHO)



Fonte: CUNHA (2015)

O espectro eletromagnético se estende desde as ondas de rádio até as ondas de radiação gama, que se tratam das ondas de menor e maior frequência respectivamente. Podemos imaginar que no ar existem a formação de ondas como no mar, entretanto, essas ondas são formadas devido à combinação dos campos elétricos e magnéticos que se propagam perpendicularmente um em relação ao outro (ESPECTRO, 2017).

3.4 MÉTODO DE TRATAMENTO SODIS

A ideia da desinfecção solar da água utilizando o método SODIS que significa (Solar Water Disinfection), foi apresentada pela primeira vez por Aftim Acra em um folheto publicado pela UNICEF em 1984, onde equipes de pesquisa da Instituição Federal Suíça de Ciência e Tecnologia Aquática (SANDEC) e o Departamento de Saneamento e Água para Países em Desenvolvimento, realizaram intensivas experiências de laboratório em 1991, com o propósito de avaliar o potencial deste método para a inativação de bactérias e vírus, tendo como resultados através da ação conjunta da radiação UV-A e o aumento da temperatura da água a inativação de microrganismos (QUALI, 2010).

SODIS trata-se de um método de tratamento de recursos hídricos que tem como principal característica a melhoria da qualidade microbiológica da água, tendo como consequências: a apresentação de benefícios na saúde, a não mutação do sabor do líquido, a aplicabilidade a nível doméstico, simplicidade de seu uso, a utilização de recursos locais e energia renovável, além de apresentar baixos custos de investimento, apresentando como únicos recursos a utilização de energia solar e garrafas PET (PEREIRA e col., 2013).

O sol é o responsável por emitir energia na forma de radiação eletromagnética e a tecnologia SODIS faz-se o uso dessa energia de diferentes bandas do espectro eletromagnético para destruir substâncias patogênicas. A metodologia SODIS utiliza dois elementos da radiação, uma delas sendo a radiação UV-A, que é responsável pela modificação do DNA dos microrganismos e a radiação infravermelha que proporciona uma elevação da temperatura da água, levando-se em consideração que os microrganismos são sensíveis ao aquecimento (BERTHOLINI e BELLO, 2011). Além disso, este processo de desinfecção solar se torna ideal para o tratamento de água em pequenas quantidades, devido ao seu baixo custo em comunidades desprovidas do sistema de abastecimento de água, comunidades essas por muitas vezes carentes e afastadas do perímetro urbano (RAMO e SALLA, 2009). A Figura 2 ilustra uma das formas de utilização do método SODIS.

Figura 2: Aplicação do método SODIS



Fonte: BERTHOLINI e BELLO (2011)

O processo de tratamento SODIS se torna mais eficiente dependendo diretamente da quantidade de luz solar disponível na localização, além disso, este método também é dependente de outras variáveis como a distribuição da radiação solar que acontece de maneira desigual e varia em intensidade dependendo da latitude do local geográfico que muda de um lugar para outro, da estação e o tempo referente ao dia (CORRÊA, 2019).

As diferenças sazonais de radiação solar se tornam importantes para a aplicação na desinfecção da água utilizando-se das ondas eletromagnéticas solares. Antes da implementação do método SODIS, em alguns lugares específicos, as intensidades sazonais de radiação necessitam ser avaliadas, pois são necessários um total de pelos menos 500 W/m^2 de intensidade de radiação solar, em um tempo de 5 horas de duração, com uma dosagem contendo energia UV-A e luz violeta de $350\text{nm} - 450\text{nm}$, para que o método SODIS seja realizado com sucesso (MEIERHOFER e WEGELIN, 2002). Vale salientar que esta intensidade de radiação solar também está sujeita a variações diárias, que pode ocorrer com o fator da nebulosidade crescente, que gera uma queda na intensidade de radiação UV-A, que chega a ser reduzida a um terço da intensidade que poderia ser registrada em um dia sem nuvens (CORRÊA, 2019).

Um dos exemplos da utilidade do método SODIS e um dos indicadores da eficiência do mesmo, é a remoção de um organismo indicador fecal da água conhecido também como *Escherichia Coli* (*E. Coli*, Coliformes Fecais), que é usado como uma forma de análise para identificar agentes patogênicos na água, em outras palavras, o *E. Coli* se trata de um organismo indicador da poluição fecal presente nos recursos hídricos (MEIERHOFER e WEGELIN, 2002). As condições para que seja feita a remoção de *E. Coli* dependeram da turbidez da água que deve ser inferior à 30 NTU (unidade matemática utilizada na medição da turbidez), intensidade de radiação solar esteja em uma escala de 600 W/m^2 e um tempo de exposição mínima de pelo menos 5 horas com 50% da capacidade de insolação ou 2 dias consecutivos para dias nublados, mostrando-se assim que a desinfecção por radiação solar se torna mais apropriada para regiões que carregam aspectos tropicais (SILVA, 2004).

Nessa pesquisa não entraremos em detalhes em relação a como se dá o funcionamento do método SODIS no que se trata de sua aplicabilidade prática, pois o foco principal dessa pesquisa se dá no monitoramento das intensidades solares utilizando-se de um protótipo desenvolvido de maneira inovadora. O real intuito dessa pesquisa se refere a construção desse protótipo e a sua capacidade de medir a quantidade de intensidade solar incidente em determinado local durante o período de insolação do dia, para que seja possível fazer uma análise das condições territoriais independentemente de sua geografia, para afirmar se naquele determinado local é apropriado para fazer-se o uso do método SODIS.

3.5 PROTÓTIPO DE MONITORAMENTO DE INTENSIDADE SOLAR ARDUINO

Neste tópica falaremos sobre características importantes a respeito dos elementos utilizados para a construção do Protótipo de Medição de Intensidade de Radiação Solar. Esses elementos, aos quais, esta pesquisa se refere, tratam-se da placa de prototipagem eletrônica Arduino Uno e do sensor digital de luminosidade BH1750 ou BH1750FVI.

3.5.1 O ARDUINO

No ano de 2005, um grupo de 5 pesquisadores desenvolveram o que conhecemos hoje em dia como Arduino. Massimo Banzi, David Cuartilles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis tiveram como objetivo elaborar um dispositivo que fosse de forma simultânea barato, funcional e fácil de programar, tendo como principal característica uma maior acessibilidade a estudantes e projetistas amadores. Além disso, o Arduino foi criado com o conceito de hardware livre, ou seja, dando assim a possibilidade para que projetistas possam montar, modificar, melhorar e personalizar o Arduino, partindo do mesmo hardware básico (THOMSEN, 2014).

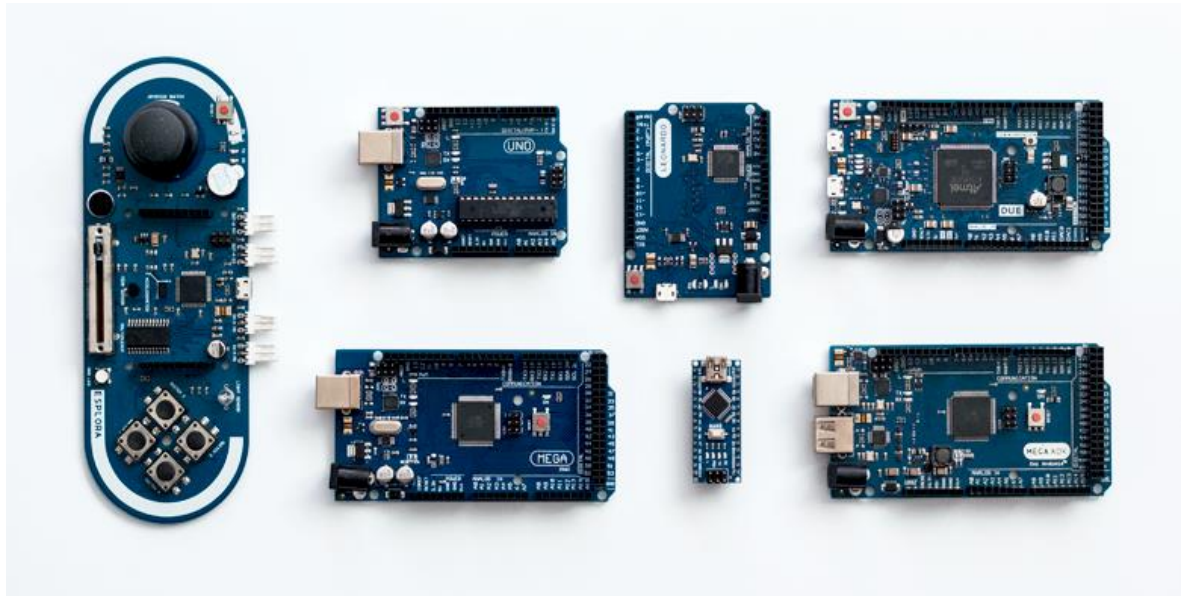
O Arduino se trata de uma plataforma de prototipagem eletrônica Open-Source, tendo como principais características, hardware e software flexíveis e de fácil manuseio. O Arduino é capaz de sentir o estado do ambiente no qual está inserido por meio da utilização de recepção de sinais de sensores, além disso, podendo interagir com o ambiente que o cerca, controlando luzes, motores e outros atuantes (TELES, 2016).

O Arduino nada mais é que um ambiente multiplataforma, no qual, pode ser executado no Windows, Macintosh e Linux, além disso, seu ambiente de desenvolvimento tem por base o IDE (Integrated Development Environment) de programação *Processing*, que pode ser programado utilizando-se de uma interface serial USB que conecta a placa de prototipagem ao computador (SARTORI e col., 2015). A placa Arduino é composta por um microcomputador contendo apenas um núcleo de processamento, portas de entrada e saída e um firmware embutido, que se trata de um tipo de software específico que está associado a um dispositivo de hardware.

O Arduino Uno que será o modelo de placa que iremos utilizar na construção do protótipo, possui 14 pinos digitais, onde 6 podem ser utilizados como PWM (Pulse Width Modulation) que consiste em uma técnica capaz de emular um sinal analógico através de pulsos digitais, e 6 pinos analógicos, possuindo também uma interface serial, comunicação spi (Serial Peripheral Interface) que se trata de um protocolo de dados seriais síncronos utilizado em microcontroladores para comunicação entre o microcontrolador e um ou mais periféricos, O módulo LCD I²C e pinos de interrupção

externa (LIMA, 2016). A Figura 3 ilustra como é uma placa de prototipagem eletrônica Arduino Uno e outros modelos de placas que também são destaques no mercado.

Figura 3: Placas de prototipagem eletrônica Arduino Uno e outros modelos de placas acessíveis no mercado



Fonte: THOMSEN (2014)

Os projetos criados com a utilização da placa Arduino permitiram as mais diversas implementações, gerando soluções, economias e a melhoria de processos. importante salientar que através dele é possível a construção de quase todo tipo de sistemas e dispositivos de forma mais barata, por exemplo: o Arduino pode ser usado como um computador capaz de fazer o controle do nível da quantidade de um material em um tanque e enviar informações via WI-FI para uma central de controle em outro prédio distante, ou quem sabe até para um smarthphone, trazendo consigo segurança, praticidade e permitindo com isso, o recolhimento de informações sobre o processo, viabilizando uma maior agilidade nas tomadas de decisões, além disso, com a utilização da placa Arduino é possível a construção de um sistema que aciona luzes e motores com o intuito de economizar energia de empresas e residências (CARDOSO, 2016).

Um dos principais focos dessa pesquisa se dá na utilização do Arduino como uma importante ferramenta na confecção de um protótipo de uma tecnologia já

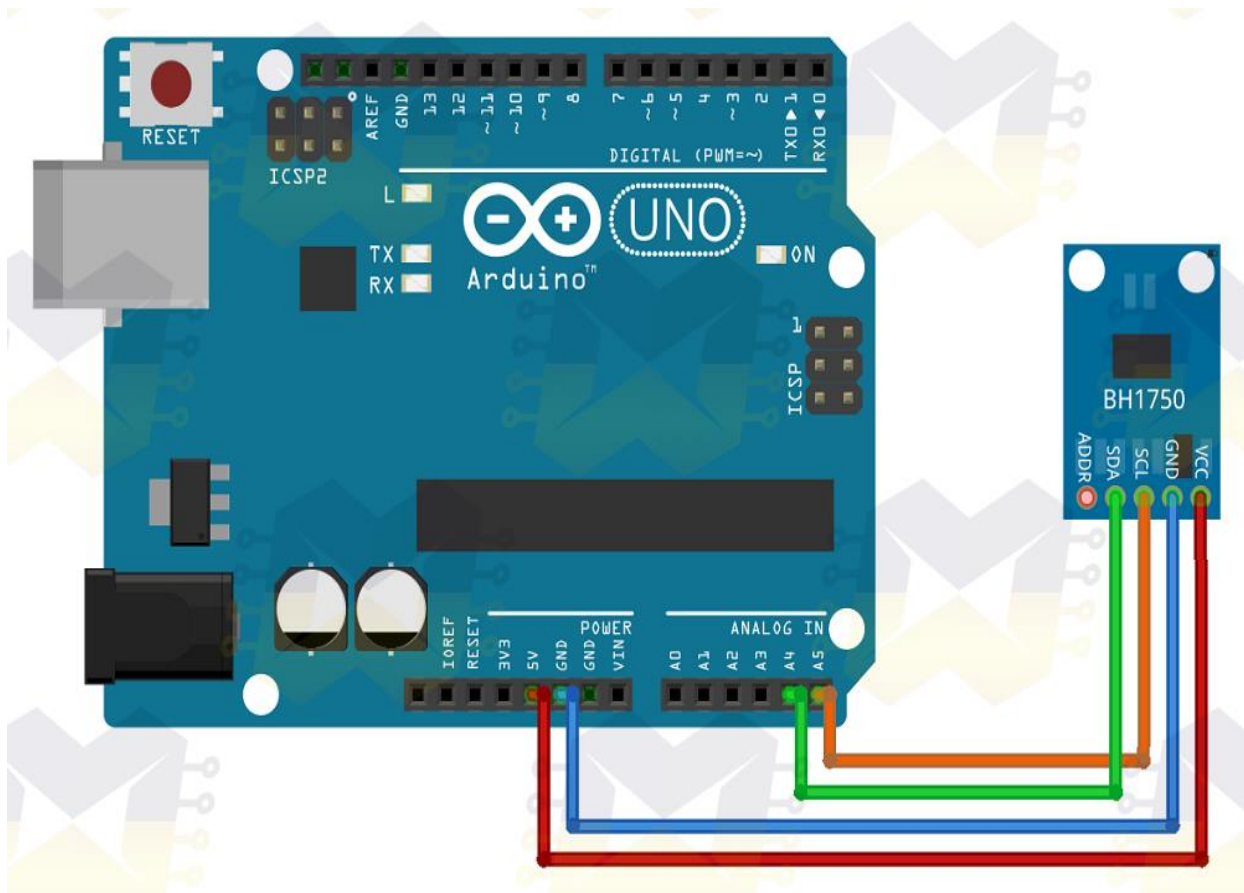
existente, de nível mais complexo, entretanto, de uma forma mais barata, pioneira e com uma capacidade semelhante ao projeto real, além de outros fatores que foram debatidos até esse momento nessa pesquisa.

3.5.2 O SENSOR DE LUMINOSIDADE BH1750

O sensor de luminosidade BH1750 é um sensor que efetua a comunicação com a interface de dados através do protocolo I²C, utilizado para detectar a incidência de luz de um ambiente, bastante aplicado em sistemas que detectam a luminosidade para a realização de ajustes de eficácia da iluminação (MINATEL, 2017). O sensor BH1750 tem a capacidade de determinar a quantidade de luz que está incidindo em um determinado local, diferentemente do LDR. Este sensor fornece valores medidos em lux (lumen/m^2), que em outras palavras, seria a medida de um lúmen por um metro quadrado, que se trata da unidade padrão para determinar os níveis de luminosidade de determinados ambientes (OLIVEIRA, 2018).

O sensor de intensidade luminosa BH1750 é classificado como um sensor de luz com saída de dados digitais. Além disso, o sensor BH1750 inclui internamente um fotodiodo de silício com uma capacidade de resposta espectral na região do visível que assemelha-se a resposta espectral do olho humano, conta também com um amplificador de sinais que é responsável por converter a corrente elétrica gerada no fotodiodo em um sinal analógico de tensão, com um conversor analógico-digital de 16 bits de resolução para que seja possível a digitalização da tensão gerada pelo amplificador, e um circuito digital lógico responsável por calcular os níveis de luminosidade (GUADAGNINI e col., 2019). A Figura 4 ilustra como se dá a montagem para utilização do sensor BH1750.

Figura 4: Esquema de montagem e ligação do sensor BH1750 junto ao Arduino Uno



Fonte: OLIVEIRA (2018)

Algumas das principais características e vantagens deste sensor são: a conversão da intensidade de iluminação em níveis digitais, faixa de medição de 1 a 65.535 lx com alta resolução, baixo consumo de energia, filtro para rejeição de ruído em 50 e 60 Hz, precisão de 1 lux, baixa influência de luz infravermelha e três modos de medição (AVELAR, 2015). Cada modo representa um tipo de medição diferente baseando-se em seu alcance, sendo esses: modo de resolução baixa com uma precisão de 4 lx e tempo de medição de 16 ms, modo de alta resolução com precisão de 1 lx e tempo de medição de 120 ms e o modo de “alta resolução 2” com uma precisão de 0,5 lx e tempo de medição de 120 ms (MINATEL, 2017).

O módulo com o sensor BH1750 é alimentado com uma fonte de tensão de 5V disponível na placa de prototipagem Arduino utilizando-se dos pinos VCC, que se trata do pino de alimentação de tensão e o pino GND que retorna um valor lógico igual a 0

quando há ausência de tensão. E para a realização da comunicação digital através do protocolo I²C são utilizados os pinos A4 e A5, também presentes na placa de prototipagem Arduino, que devem ser conectados nos pinos SLA (Dados) e SLC (Clock) do módulo com o sensor de luminosidade (GUADAGNINI e col., 2018).

3.5.2.1 ILUMINÂNCIA, LÚMEN E LUX

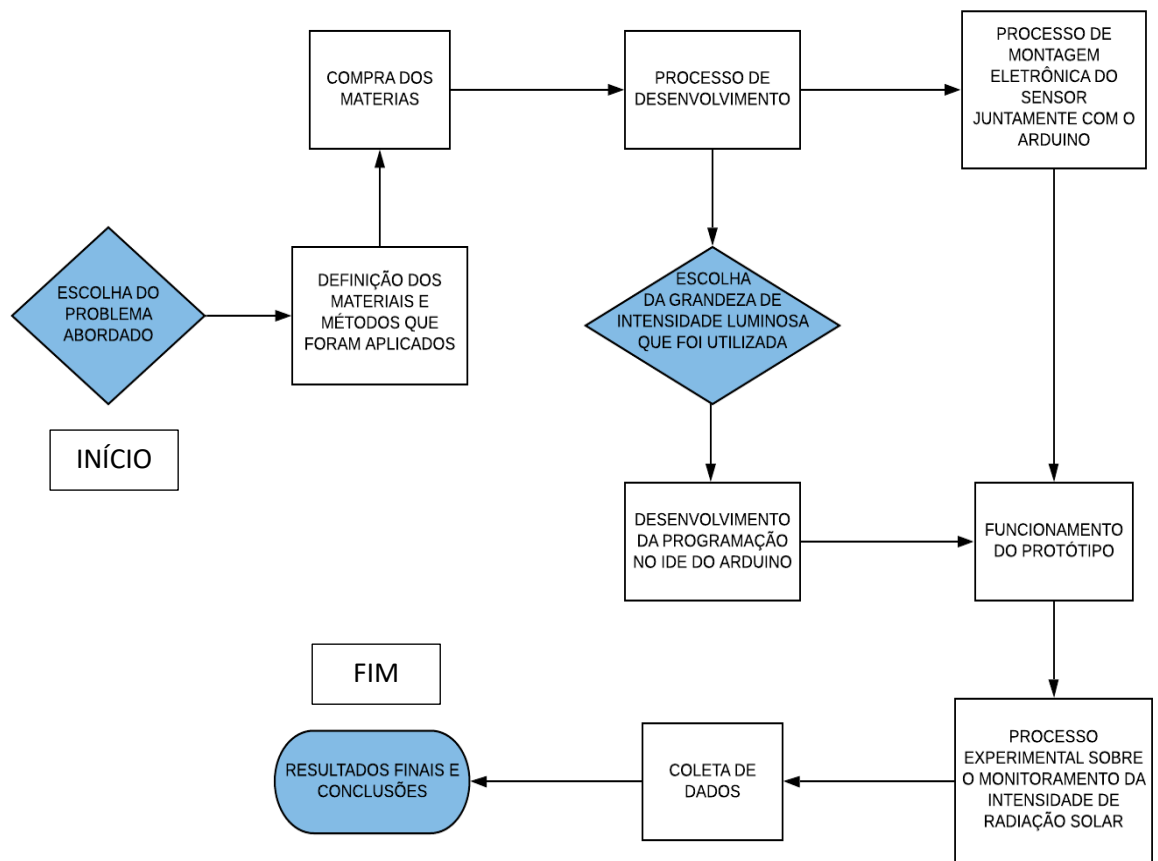
Uma dada referência luminosa que irradia, relacionada à superfície de um determinado ambiente, define uma nova grande luminotécnica denominada de iluminância, que tem o lux (lx) como sua grandeza de medida. A iluminância indica a quantidade de luz ou fluxo luminoso que incide sobre uma superfície, além de indicar também, a quantidade de emissão de luz que é refletida por uma superfície à uma certa distância da fonte (FUJIMOTO, 2017).

Já o Lúmen se trata da medida de valores para quantificar a luz que pode ser expelida de uma fonte luminosa (G-LIGHT, 2017). Em outras palavras, o lúmen é a quantidade de luz medida através de um ponto emissor de luz, enquanto que, a grandeza luminotécnica lux, trata-se da incidência de luz de um determinado ponto. Por definição 1 lúmen tem a capacidade de iluminar a equivalência de 1 lux em 1 metro quadrado (LUME, 2019).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta sessão será feita uma descrição da metodologia utilizada para o desenvolvimento do protótipo, construído com a utilização de um sensor de luminosidade BH1750 e uma placa de prototipagem eletrônica Arduino Uno, além de outros materiais que foram importantes para o desenvolvimento e a aplicabilidade do mesmo, na realização do procedimento experimental. A Figura 5 ilustra quais passos e decisões foram tomadas na construção e aplicação do protótipo.

Figura 5: Fluxograma da metodologia sobre o procedimento experimental



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

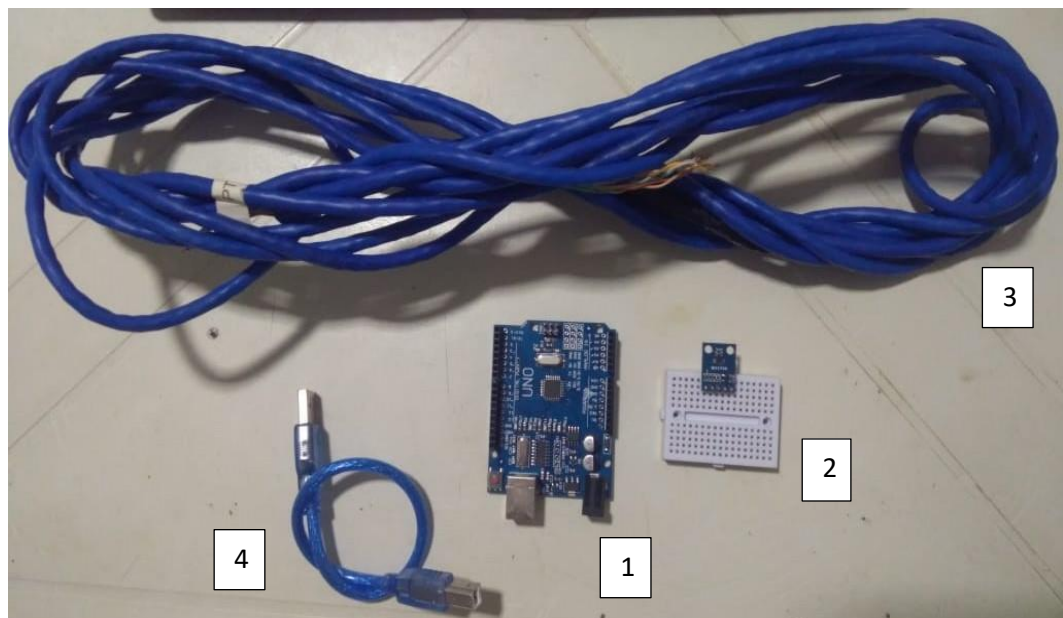
4.1 MATERIAIS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para que fosse possível a construção de um protótipo capaz de medir e quantificar a intensidade de radiação solar, foram necessários os seguintes materiais e ferramentas:

- Uma placa de prototipagem Arduino UNO (1);
- Um sensor de luminosidade BH1750 junto a um Protoboard (2);
- Um cabo de Ethernet de aproximadamente 7,00 m (3);
- Um cabo USB para comunicação da porta serial do Arduino com a IDE (4);
- A plataforma de programação IDE do Arduino.

A Figura 6 a seguir ilustra quais foram esses materiais utilizados na confecção do protótipo.

Figura 6: Materiais utilizados na confecção do protótipo



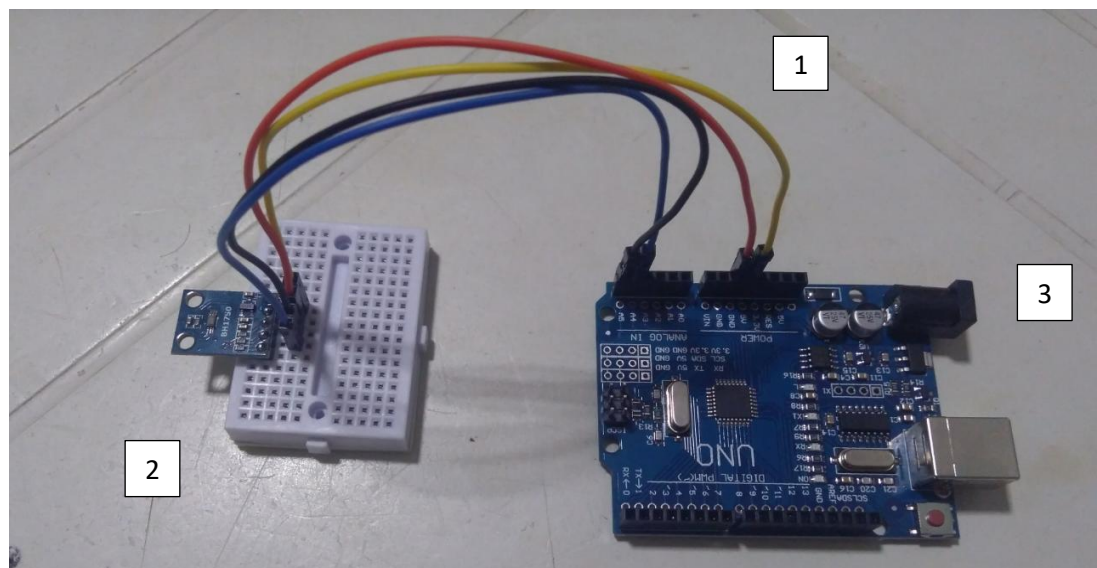
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

4.2 MONTAGEM ELETRÔNICA DO SENSOR BH1750 – ARDUINO

Como já discutido anteriormente sobre cada característica individual de cada elemento do protótipo, neste tópico será demonstrado como se deu a realização da montagem eletrônica do sensor BH1750 junto ao Arduino Uno, para utilização do procedimento experimental.

Utilizamos um Protoboard para realizar essa comunicação entre o sensor e o Arduino, fazendo-se também da utilização de fios de ligação (1). Estes fios foram conectados no Protoboard juntamente ao sensor BH1750 (2), e logo após, conectados nas entradas analógicas do Arduino Uno (3). A Figura 7 ilustra como foi realizada essa comunicação entre o sensor BH1750 e o Arduino Uno.

Figura 7: Modelo da montagem eletrônica



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

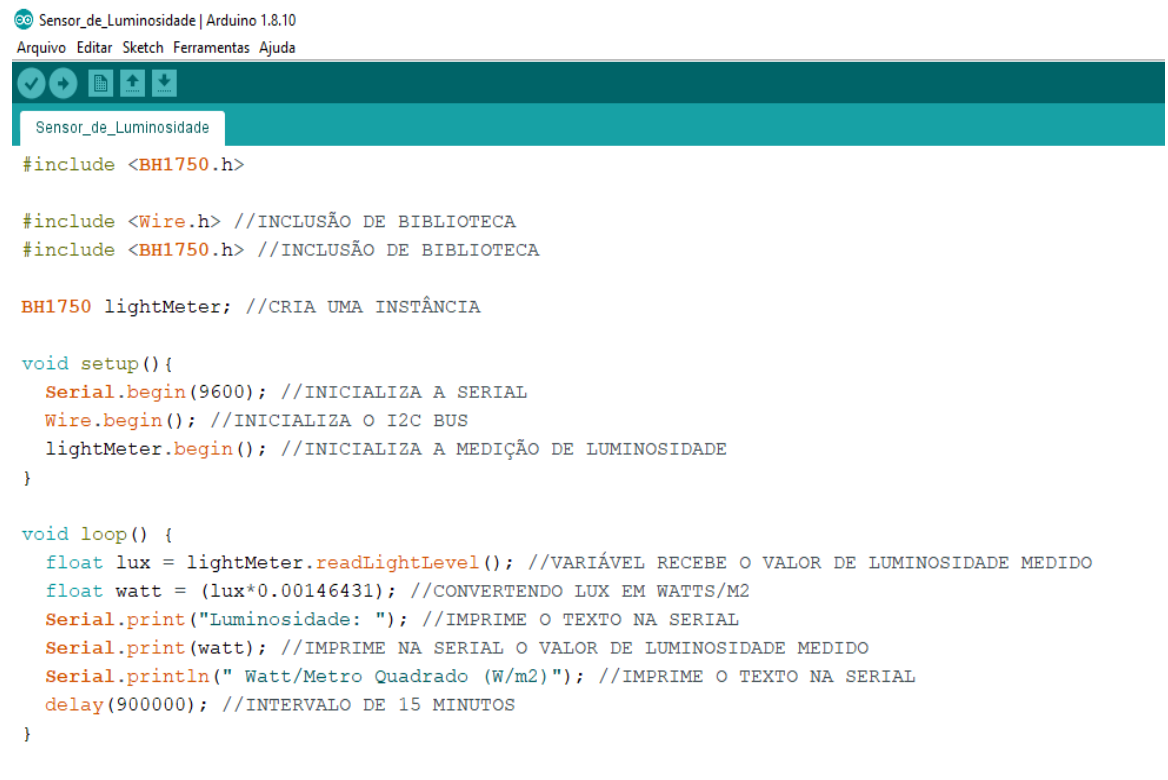
O esquema de montagem eletrônica baseia-se no mesmo esquema ilustrado na Figura 4. Os fios foram responsáveis por realizar a conexão das entradas analógicas do Arduino com os pinos do sensor BH1750 da seguinte maneira: O pino VCC foi conectado à porta de 5V da placa Arduino; o pino GND conectado a entrada GND da

placa Arduino; e os pinos SCL e SDA foram conectadas as portas analógicas A5 e A4 respectivamente.

4.3 PROGRAMAÇÃO DO SENSOR BH1750

Para realizarmos a programação do sensor BH1750 utilizamos a plataforma de programação IDE (Integrated Development Environment) de programação *Processing* do Arduino, onde foi desenvolvido um código responsável por entrar em comunicação com o sensor BH1750, e assim, fazer o uso da capacidade de registro de dados do mesmo, aos quais, o sensor é capaz de realizar leitura. Na Figura 8 abaixo será ilustrado o código utilizado, com explicações sobre o mesmo em forma de comentários, enquanto que na Figura 9 será ilustrado como o monitor serial mostra alguns dados coletados como forma de exemplificação.

Figura 8: Código utilizado para programação do sensor BH1750



```

Sensor_de_Luminosidade | Arduino 1.8.10
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

Sensor_de_Luminosidade

#include <BH1750.h>

#include <Wire.h> //INCLUSÃO DE BIBLIOTECA
#include <BH1750.h> //INCLUSÃO DE BIBLIOTECA

BH1750 lightMeter; //CRIA UMA INSTÂNCIA

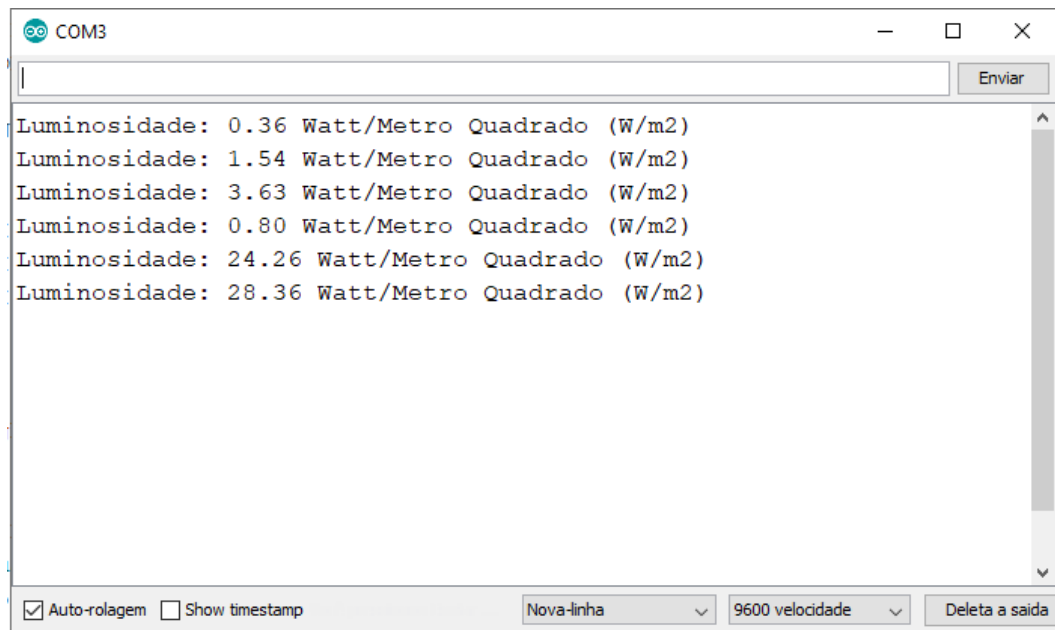
void setup() {
  Serial.begin(9600); //INICIALIZA A SERIAL
  Wire.begin(); //INICIALIZA O I2C BUS
  lightMeter.begin(); //INICIALIZA A MEDIÇÃO DE LUMINOSIDADE
}

void loop() {
  float lux = lightMeter.readLightLevel(); //VARIÁVEL RECEBE O VALOR DE LUMINOSIDADE MEDIDO
  float watt = (lux*0.00146431); //CONVERTENDO LUX EM WATTS/M2
  Serial.print("Luminosidade: "); //IMPRIME O TEXTO NA SERIAL
  Serial.print(watt); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DE LUMINOSIDADE MEDIDO
  Serial.println(" Watt/Metro Quadrado (W/m2)"); //IMPRIME O TEXTO NA SERIAL
  delay(900000); //INTERVALO DE 15 MINUTOS
}

```

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

Figura 9: Dados mostrados no Monitor Serial do Arduino



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

É importante salientar que o sensor de luminosidade BH1750 está programado para quantificar valores medidos em lux, devido a este fato, foi implementado no código uma variável responsável por converter essa medida em W/m^2 , que se tratam dos reais valores pretendidos por essa pesquisa.

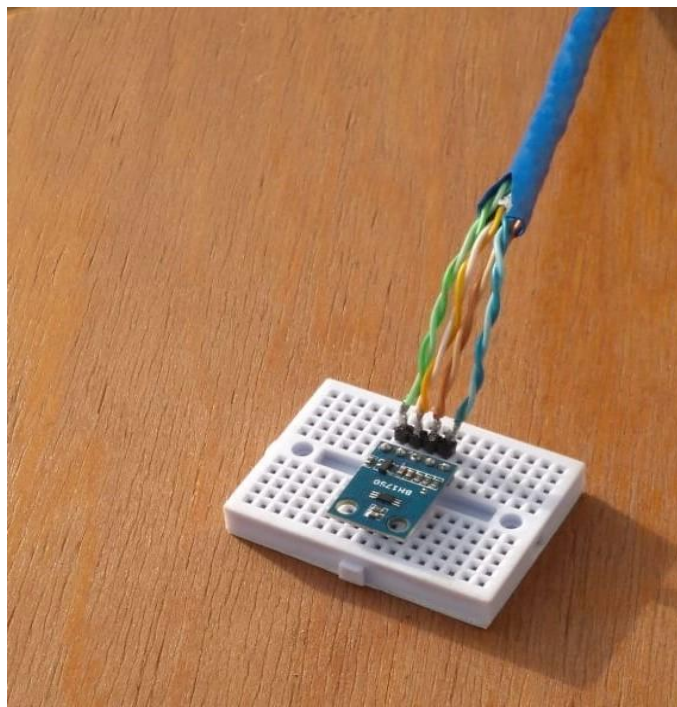
4.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL ENVOLVENDO A MEDIÇÃO DAS INTENSIDADES DE RADIAÇÃO SOLAR

No procedimento experimental realizado em laboratório, fazendo-se do uso do sensor de luminosidade BH1750, foi necessário a utilização de um cabo de Ethernet com comprimento de aproximadamente 7,00 m, que nos possibilitou a realização de um meio de comunicação do sensor BH1750 com o Arduino Uno, nos mesmos parâmetros ilustrado na Figura 4. Essa ferramenta se tornou bastante útil, pois possibilitou a realização de uma análise e monitoramento das intensidades de radiação solar presentes na cidade de Angicos/RN à uma distância considerável do local de observação, no dia 24 de janeiro de 2020

Após realizada a parte de codificação da programação do sensor BH1750, sua montagem eletrônica e a soldagem dos meios de comunicação entre hardware e software, foi possível realizar o monitoramento das intensidades de radiação solar presentes na cidade de Angicos/RN. Realizamos assim um isolamento do sensor em uma posição adequada em relação a incidência da radiação solar do local, privilegiando assim, sua capacidade de quantificar as intensidades de radiação.

Devido a uma fita retirável presente no próprio Protoboard em sua parte inferior, que lhe dá a capacidade de grudar com facilidade em outros objetos, foi possível grudar o sensor em um banco de madeira, acarretando assim, na possibilidade de mantermos o sensor BH1750 em um plano horizontal fixo e privilegiado, fazendo com que fosse possível uma melhor angulação para realizarmos a análise e o monitoramento do funcionamento do sensor durante todo tempo pretendido. Esse monitoramento iniciou-se às 10:15h da manhã e teve seu encerramento às 17h da tarde. A Figura 10 mostra como o sensor ficou posicionado em relação a incidência da intensidade de radiação solar.

Figura 10: Sensor BH1750 fixo em um plano horizontal e isolado em período de realização dos testes



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será discutido os resultados acerca dos experimentos utilizando-se as intensidades de radiação solar. Inicialmente será debatido sobre aspectos fundamentais no que se trata da realização dos testes, comentários acerca das condições climáticas, posicionamento sensorial e calibragem do sensor, estarão em pauta nessa discussão. Além disso, será feito um comparativo dos dados e gráficos obtidos com a utilização do sensor de luminosidade BH1750 e o sensor de Radiação Global (R.G), presente na estação meteorológica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) no campus Angicos/RN. Sensor esse que é responsável por medir valores de intensidade de radiação solar e outras propriedades climáticas. Por fim, será discutido sobre a capacidade do sensor BH1750 de ser utilizado para a observação de possíveis aplicações do método de tratamento SODIS na região, tendo em vistas as condições necessárias para a aplicação do mesmo.

5.1 OBSERVAÇÕES ACERCA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E DO POSICIONAMENTO DOS SENSORES NO DIA DA REALIZAÇÃO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A observação sobre as condições climáticas no dia de realização dos testes que se iniciou às 10:15h e se encerrou às 17:00h, deve ser relevada no que se trata de uma pequena margem de erro presente nos valores obtidos pelos dois sensores. É importante salientar que os sensores de luminosidade (Radiação), precisam da maior quantidade de incidência solar possível para que tenham uma melhor eficiência no que se trata de registrar os valores de intensidade de radiação solar. Sobre as condições do dia em questão, no horário das 10:15h às 12:45h, foi o período, no qual, o céu encontrava-se mais nublado, e isso impediu com que os sensores tivessem uma melhor eficiência no que se trata de registrar os valores de intensidade. No período das 13:00 às 13:45h houve o primeiro pico de insolação, onde tanto os valores obtidos pelo sensor BH1750 e o sensor de Radiação Global tiveram seus primeiros picos de radiação registrado. Logo após, das 14:00h às 14:15h o céu voltou a ficar nublado fazendo com que os valores

registrados tivessem uma nova queda. Das 14:30h às 15:30h tivemos o ultimo pico de insolação do dia, onde os valores obtidos voltaram a ter uma alta. Por fim, das 15:45h às 17:00h os valores começaram a cair gradativamente devido ao ocultamento do sol, dando-se início à noite.

É importante destacarmos o posicionamento no qual encontravam-se os dois sensores no dia de realização dos testes. O sensor BH1750 e o sensor de Radiação Global (R.G), encontravam-se em posições distintas como ilustrado na Figura 11, o que implicou também em pequenas margens de diferenças de valores de intensidade obtidos pelos dois sensores.

O real objetivo dessa discussão é fazer com que o leitor entenda que devido as posições distintas dos sensores e a quantidade de nuvens presentes no dia de realização dos testes, esses fatores implicaram em pequenas margens de erro, justamente no momento em que esses sensores realizavam seus registros de intensidade de radiação, dessa maneira foi possível que pudéssemos explicar tais margens.

Figura 11: imagem de satélite que mostra a localização do sensor BH1750, do sensor de Radiação Global (R.G) e a distância aproximada entre os mesmos



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

5.2 CAPACIDADE DE REGISTRO DE DADOS DO SENSOR BH1750 E SUA CALIBRAGEM

Um ponto importante que deve ser discutido é em relação a capacidade que cada sensor possui, no que se diz respeito a registrar os sinais de intensidade de radiação solar. O Sensor de Radiação Global (R.G) da UFERSA, trata-se também de um sensor de fotodiodo de silício, que possui uma faixa de registro de intensidade de radiação solar de 0 a 1280 W/m², trabalhando em uma faixa espectral de 300 nm a 1100 nm, com acurácia de 5% e resolução de 1,25 W/m².

Já o sensor de luminosidade BH1750 tem uma capacidade muito menor de registro de intensidade de radiação solar, levando-se em consideração que este sensor foi fabricado para quantificar valores de níveis de luminosidade em lx, e não em W/m². Devido a este motivo, foi introduzido em sua programação uma linha de código responsável por converter esses valores de níveis de luminosidade em intensidade de radiação solar como ilustrado na Figura 8. Logo após foi realizado a calibragem do sensor, com o objetivo de obter os valores mais próximos possíveis dos valores obtidos pelo sensor de Radiação Global (R.G) da UFERSA.

5.3. CARACTERIZAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS COM A UTILIZAÇÃO DO SENSOR DE LUMINOSIDADE BH1750 E O SENSOR DE RADIAÇÃO GLOBAL PRESENTE NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA UFERSA ANGICOS/RN

Os valores obtidos no procedimento experimental realizado utilizando o sensor BH1750 estão ilustrados na Tabela 1. Além disso, também será ilustrado os valores obtidos pelo sensor de Radiação Global (R.G) da UFERSA presente no campus Angicos/RN, afim de realizarmos um comparativo entre esses valores. Esses valores mostram uma indicativa da incidência da intensidade de radiação solar na região de Angicos/RN no horário das 10:45h da manhã até as 17:00h da tarde.

Tabela 1: Valores registrados pelo Sensor BH1750 após sua calibragem e os valores obtidos pelo sensor de Radiação Global (R.G) da UFERSA no dia 24 de janeiro de 2020

Tempo	Sensor BH1750 (W/m ²)	Sensor R.G (W/m ²)
10:45	492.262	648
11:00	455.1	466
11:15	417.79	497
11:30	381.792	479
11:45	325.13	334
12:00	374.986	378
12:15	655.672	632
12:30	569.572	397
12:45	546.94	352
13:00	655.672	732
13:15	655.672	632
13:30	655.672	651
13:45	655.672	628
14:00	369.902	338
14:15	450.836	384
14:30	655.672	732
14:45	655.672	618
15:00	655.672	628
15:15	655.672	588
15:30	627.218	528
15:45	541.528	433
16:00	305.204	283
16:15	205.246	204
16:30	154.898	144
16:45	146.78	231
17:00	82.246	104

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

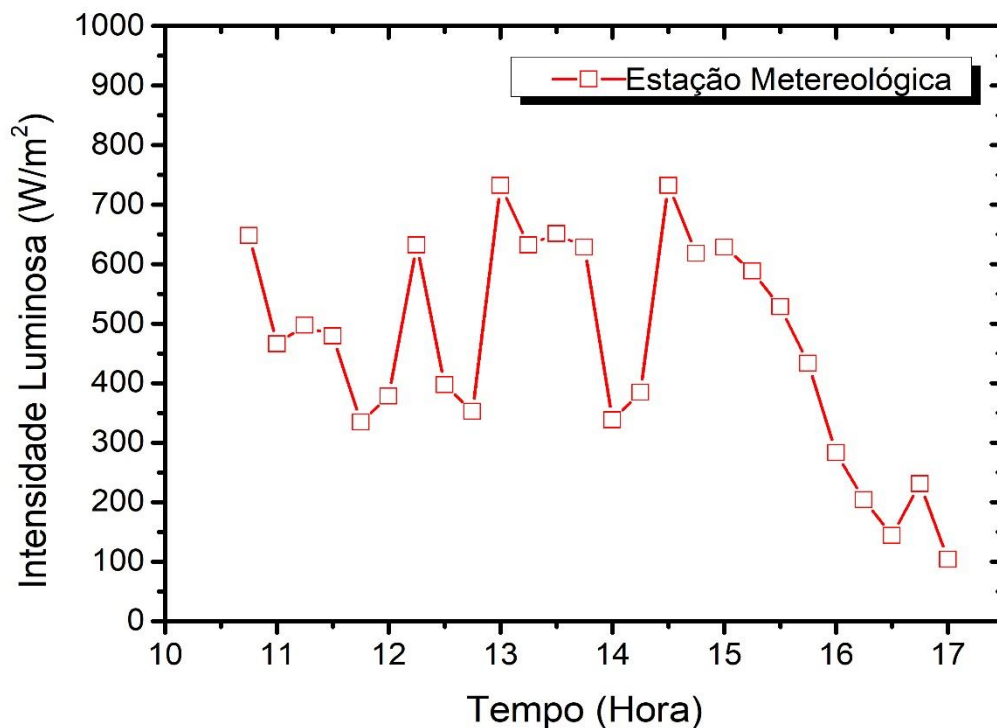
Um dado importante que deve ser observado nessa tabela, se trata do limite máximo de registro de intensidade de radiação realizado pelo sensor BH1750. O limite máximo de registro do sensor BH1750 foi de 655,672 W/m², quando comparado com o sensor de Radiação Global, pois todos os valores acima de 588 W/m² registrado pelo sensor (R.G), registravam os mesmos 655,672 W/m² no sensor BH1750, demonstrando assim, seu limite máximo de registro de dados.

Em seguida, serão caracterizados graficamente os valores obtidos pelos dois sensores, com o intuito de realizar uma comparação gráfica e uma análise com relação a esses dados.

5.4 ANÁLISE GRÁFICA DOS SENSORES, OBSERVAÇÕES ACERCA DA VARIAÇÃO DAS INTENSIDADES REGISTRADAS E SEUS COMPARATIVOS

O Gráfico 1 ilustra os valores obtidos pelo sensor Radiação Global (R.G) presente na estação meteorológica da UFERSA em unidade de W/m^2 .

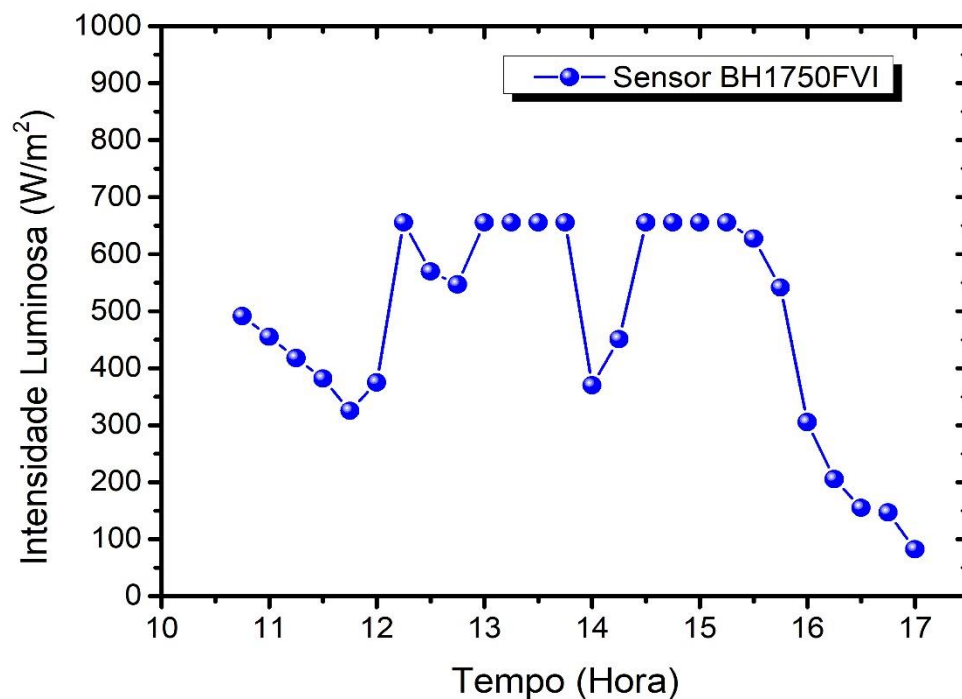
Gráfico 1: Análise gráfica dos valores obtidos pelo sensor de Radiação Global (R.G) presente na estação meteorológica da UFERSA campus ANGICOS/RN, no dia 24 de janeiro de 2020



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

Agora serão mostrados os valores obtidos pelo sensor de luminosidade BH1750 após realizada sua calibragem. No Gráfico 2 são ilustrados os valores obtidos nas mesmas condições de horários em que foram obtidos os valores do sensor de Radiação Global presente na estação meteorológica da UFERSA. Logo em seguida, abriremos uma discussão em relação a comparação gráfica e a aplicabilidade do protótipo para identificar melhores condições de aplicação do método SODIS.

Gráfico 2: Análise gráfica dos valores obtidos pelo sensor de luminosidade BH1750 no dia 24 de janeiro de 2020

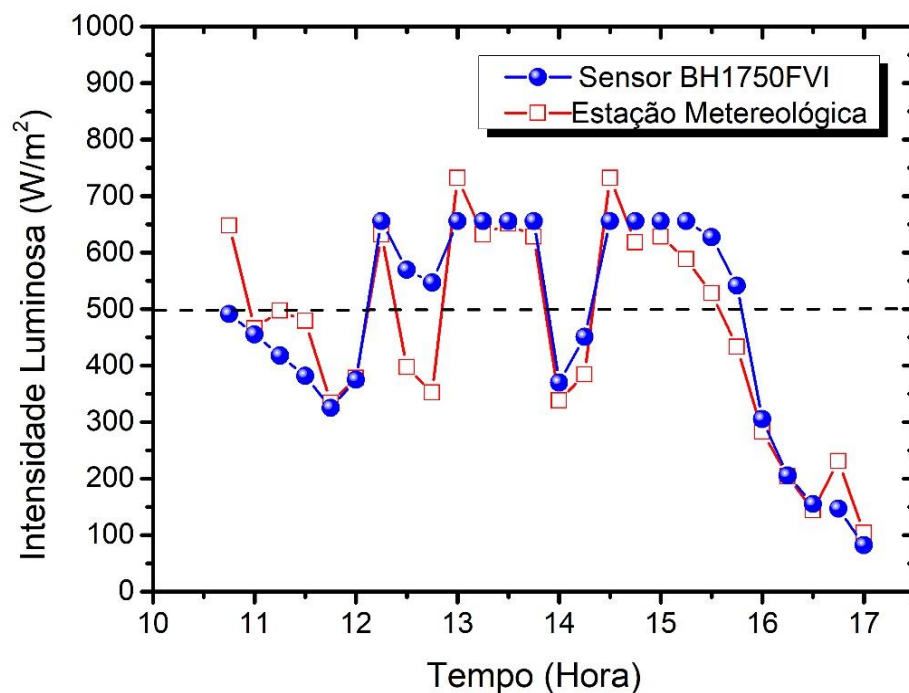


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

Como discutido anteriormente, as condições climáticas de horário, distanciamento dos sensores e a capacidade de registro, foram determinantes para que houvesse pequenas disparidades de valores obtidos entre o Gráfico 1 e o Gráfico 2.

O Gráfico 3 ilustrará uma sobreposição gráfica entre os valores obtidos pelo sensor de Radiação Global presente na estação meteorológica da UFERSA campus Angicos/RN e do sensor de luminosidade BH1750.

Gráfico 3: Sobreposição gráfica entre o sensor de Radiação Global presente na estação meteorológica da UFERSA e o sensor de luminosidade BH1750, com o indicativo de intensidade luminosa necessária para aplicação do método SODIS



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

A linha tracejada presente no gráfico do Gráfico 3 indica a margem de intensidade solar necessária para a aplicação do método de tratamento da água SODIS que se encontra em uma faixa de intensidade de 500 W/m².

Essa comparação gráfica mostra como a calibragem do sensor BH1750 foi necessária e de extrema importância para que fosse possível chegar a uma margem dos reais valores de intensidade de radiação solar presente na cidade de Angicos/RN no dia 24 de janeiro de 2020. Com isso, foi possível identificar as semelhanças entre os perfis

de curva dos gráficos e determinar os melhores horários para a aplicação do método SODIS, no dia em questão, a aplicação do método seria mais viável no horário das 12:15h às 15:45h, pois nessa faixa de horário as intensidades de radiação solar registradas foram valores acima dos 500 W/m^2 na grande maioria de seu tempo, intensidade essa, que é necessária para aplicação do método.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo de medição de intensidade de radiação solar se mostrou eficiente desde que se tenha noções sobre sua capacidade de leitura.

Por mais que os valores reais tenham uma certa disparidade, devido a capacidade de registro do sensor BH1750 e limitação do mesmo, a calibragem do dispositivo foi determinante para que o sensor BH1750, tivesse valores obtidos aproximados dos valores obtidos pelo sensor de Radiação Global (R.G) da UFERSA, levando-se em consideração também as condições climáticas no dia da realização dos testes e do distanciamento entre os dois sensores, mostrando assim, que o funcionamento do protótipo provou-se ser eficaz no que se trata de registrar quando as intensidades de radiação solar de um determinado local se apresentam altas, baixas ou medianas.

Levando-se em consideração que o maior valor registrado pelo sensor BH1750 está em uma faixa de 588 W/m^2 e que todos valores obtidos acima são registrados com este mesmo valor, podemos afirmar que seria possível a aplicação do método SODIS na região de Angicos/RN, pois o procedimento de tratamento deve ocorrer em uma faixa de 500 W/m^2 .

Para projetos futuros seria possível a implementação de mais sensores, afim de aumentar sua capacidade de registro em vários ângulos diferentes, obtendo assim, uma maior eficiência no que se trata de quantificar os valores de intensidade de radiação solar.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUA, P. **POR QUE DEVEMOS TER CUIDADO COM O CONSUMO DE CLORO NA ÁGUA?** 2017. Disponível em: <<https://www.planetaagua.ind.br/blog/saude/por-que-devemos-ter-cuidado-com-o-consumo-de-cloro-na-agua>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

AMBIENTAL, D. **GERENCIAMENTO E DESCARTE DE RESÍDUOS LÍQUIDOS.** 2013. Disponível em: <<https://www.dinamicambiental.com.br/blog/reciclagem/gerenciamento-descarte-residuos-liquidos/>>. Acesso em: 03 jan. 2020.

AVELAR, E. **ARDUINO LAB 01 – SENSOR DE LUMINOSIDADE BH1750FVI.** 2015. Disponível em: <<https://easytromlabs.com/arduino/arduino-lab-01-sensor-de-luminosidade-bh1750fvi/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

BERTHOLINI, T. M.; BELLO, A. X. S. **DESINFECÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO ATRAVÉS DO MÉTODO SÓDIS: ESTUDO DE CASO EM LOCALIDADE RURAL DO MUNICÍPIO DE CUIABÁ - MT.** 2011. 5 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Ambiental, Gestão Ambiental – Ifetmt, Cuiabá, 2011.

BISQUOLO, P. A. **ONDAS ELETROMAGNÉTICAS -D - CAMPO E ESPECTRO ELETROMAGNÉTICOS:** Especial para a Página 3 Pedagogia & Comunicação. 2005. Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/ondas-eletromagneticas--d-campo-e-espectro-eletromagneticos.htm>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

CARDOSO, S. **PROJETOS COM ARDUINO:** como colocar sua ideia em prática-Automação. 2016. Disponível em: <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/tecnologia-informacao/projetos-com-arduino/?gclid=CjwKCAiA66_xBRBhEiwAhrMuLWw_Bx9PRFTSsmruvJOyvCcURTOdwKvRanh3NOeKoGwDARHsCD3b-hoCVhkQAvD_BwE>. Acesso em: 15 jan. 2020.

CASTELLS, M. **A SOCIEDADE EM REDE:** (tradução de Roneide Venancio Majer). 8ª ed. São Paulo: Paz e Terra, 2005.

CUNHA, M. **RADIAÇÃO INFRAVERMELHO DO SOL.** 2015. Disponível em: <http://marconicunha.blogspot.com/2015/08/radiacao-infravermelho-do-sol_16.html>.

Acesso em: 20 jan. 2020.

CORRÊA, A. **REUTILIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS PELO MÉTODO SODIS: DESINFECÇÃO SOLAR DA ÁGUA.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 05, Vol. 08, pp. 05-16, maio de 2019. ISSN: 2448-0959.

ENGELMANN, S. L. **VOCÊ SABE PARA ONDE OS RESÍDUOS DA SUA INDÚSTRIA SÃO ENCAMINHADOS?** 2016. Disponível em: <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/voce-sabe-para-onde-os-residuos-da-sua-industria-sao-encaminhados>>.

Acesso em: 15 jan. 2020.

ESPECTRO, O. **O QUE É O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO?** 2017. Disponível em: <<https://espectro.org.br/pt-br/content/o-que-%C3%A9-o-espectro-eletromagn%C3%A9tico>>.

Acesso em: 09 jan. 2020.

IOREZE, M.; SANTOS, E. P.; SCHMACHTENERG, N. **PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS: FUNDAMENTOS E APLICAÇÃO AMBIENTAL.** Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas, Santa Maria, v. 18, n. 1, p.79-91, abr. 2014.

FUJIMOTO, K. **CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS.** 2017. Disponível em: <<https://www.davinailuminacao.com/conceitos-luminotecnicos>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

G-LIGHT, E. **O QUE É A EFICIÊNCIA LUMINOSA DAS LÂMPADAS?** 2017. Disponível em: <<http://www.glight.com.br/blog/eficiencia-luminosa-lampadas/>>. Acesso em: 17 jan. 2020.

GUADAGNINI, P. H.; ROCHA, F. S.; BARLETTE, V. E. **UM MEDIDOR DE LUMINOSIDADE COM MÓDULO SENSOR INTEGRADO E AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS COM APLICAÇÕES DIDÁTICAS**. Revista Brasileira de Ensino de Física, Pelotas, v. 41, n. 1, p.1-10, 05 dez. 2018.

HELERBROCK, R. **ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

SILAS, J. **"O QUE É ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO?"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em 02 de dezembro de 2019.

LIMA, I. **ARDUINO: ESPECIFICAÇÕES POR MODELO**. 2016. Disponível em: <<https://autocorerobotica.blog.br/arduino-especificacoes-por-modelo/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

MEIERHOFER, R.; WEGELIN, M. **DESINFECÇÃO SOLAR DA ÁGUA: GUIA DE APLICAÇÕES DO SODIS**. Dübendorf: Sandec, 2002.

MEYER, S.T. **O USO DE CLORO NA DESINFECÇÃO DE ÁGUAS, A FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS E OS RISCOS POTENCIAIS À SAÚDE PÚBLICA**. Cad. Saúde pública, ano 1994, n. 99-110, p. 99.

MINATEL, P. **COMO FUNCIONA O SENSOR DE LUZ BH1750**. 2017. Disponível em: <<https://imasters.com.br/desenvolvimento/como-funciona-o-sensor-de-luz-bh1750>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

MORAIS, L. A. **SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DAS PROPRIEDADES FOTOCATALÍTICAS DE COMPOSTOS DE NIÓBIO EM MATRIZES AMBIENTAIS**. 2016. 108 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MOTA, A. **O QUE É ARDUINO E COMO FUNCIONA?** in Arduino. Portal Vida de Silício: Allan Mota, 14 maio 2017. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-e-arduino-e-como-funciona/>. Acesso em: 1 jan. 2020.

LUME, P. **LÚMEN, CANDELA E LUX | CONCEITOS BÁSICOS**. 2019. Disponível em: <https://www.powerlume.com.br/lumen-candela-e-lux-conceitos-basicos/>. Acesso em: 12 jan. 2020.

OLIVEIRA, E. **COMO USAR COM ARDUINO – SENSOR DE LUMINOSIDADE GY-302 BH1750**. 2018. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-luminosidade-gy-302-bh1750/>. Acesso em: 15 jan. 2020.

OLIVEIRA, L. A.; HENKES, J. A. **POLUIÇÃO HÍDRICA: POLUIÇÃO INDUSTRIAL NO RIO DOS SINOS-RS**. R. Gest. Sust. Ambient, Florianópolis, v. 2, n. 1, p.186-221, abr. 2013.

PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. **DESINFECÇÃO DE EFLUENTES COM TRATAMENTO TERCIÁRIO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR (SODIS): AVALIAÇÃO DO USO DO DISPOSITIVO PARA CONCENTRAÇÃO DOS RAIOS SOLARES**. Eng. Sanit. Ambient., Campinas, v. 10, n. 1, p.9-13, 1 mar. 2005.

PEREIRA, L. A.; VIEIRA, P. F.; BRITO, L. T. L.; GAVA, C. A.T. **AVALIAÇÃO DE TRATAMENTO SIMPLIFICADO DA ÁGUA DE CISTERNA: DESINFECÇÃO SOLAR (SODIS) PARA CONSUMO HUMANO**. 2013. 6 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia, Universidade de Biologia de Pernambuco (upe), Pernambuco, 2013.

QUALI. **SODIS - ÁGUA POTÁVEL EM 6 HORAS**. 2010. Disponível em: <https://www.quali.pt/blog/766-sodis-agua-potavel-em-6-horas>. Acesso em: 15 jan. 2020.

RAMO, G. K.; SALLA, M. R. **UTILIZAÇÃO DE DESINFECÇÃO SOLAR (MÉTODO SODIS) NO ABASTECIMENTO DE PEQUENAS COMUNIDADES: EFEITOS SINÉRGICOS DA TEMPERATURA E RADIAÇÃO UV EM CONCENTRADOR ESPECÍFICO**. 2009. 10 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Santa Mônica, 2009.

SARTORI, G.; MOLINA, L. A.; LIMA, W. C. G. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MICROCONTROLADO DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO SMARTPHONE PARA APLICAÇÕES DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL**. 2015. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Industrial Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SILVA, F. F. **ESTUDO ALERTA SOBRE O IMPACTO DO DESCARTE ILEGAL DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS**. 2014. Disponível em: <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/estudo-alerta-sobre-o-descarte-ilegal-de-residuos-industriais-na-regiao-de-sao-paulo>>. Acesso em: 01 jan. 2020.

SILVA, M. J. M. **DESINFECÇÃO DE ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR (SODIS) INATIVAÇÃO E RECRESCIMENTO BACTERIANO**. 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SOUTO, A. L. **O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO**. 2018. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/9-ano/materia-e-energia-9-ano/ondas-eletromagneticas/a/o-espectro-eletromagnetico>>. Acesso em: 08 jan. 2020.

TELES, E. **ARDUINO: O QUE É? PRA QUE SERVE? QUAIS AS POSSIBILIDADES?**: Uma plataforma — muitas possibilidades. 2016. Disponível em: <<https://medium.com/nossa-coletividade/arduino-o-que-%C3%A9-pra-que-serve-quais-as-possibilidades-efbd59d33491>>. Acesso em: 17 jan. 2020.

THOMSEN, A. **O QUE É ARDUINO?** 2014. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

.

TORRES, C. M.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **FÍSICA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**. São José do Rio Preto: Moderna, 2010.