



Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Centro de Engenharias
Curso de Engenharia de Energia

ERIONE BARBOSA DE LIMA JUNIOR

**APLICAÇÃO DE ARDUÍNO NO DESENVOLVIMENTO DE UM
COLORÍMETRO DE BAIXO CUSTO COM TRANSFERÊNCIA DE DADOS
PARA ANDROID**

MOSSORÓ - RN

2017

ERIONE BARBOSA DE LIMA JUNIOR

**APLICAÇÃO DE ARDUÍNO NO DESENVOLVIMENTO DE UM
COLORÍMETRO DE BAIXO CUSTO COM TRANSFERÊNCIA DE DADOS
PARA ANDROID**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido – UFERSA. Campus Mossoró
para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Idalmir de
Souza Queiroz Junior – UFERSA.

Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo
Henrique de Lima Leite - Curso de
Engenharia Química -
UFERSA/DACS.

MOSSORÓ – RN

2017

© 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.

B238a BARBOSA, ERIONE.
APLICAÇÃO DE ARDUÍNO NO DESENVOLVIMENTO DE UM
COLORÍMETRO DE BAIXO CUSTO COM TRANSFERÊNCIA DE
DADOS PARA ANDROID / ERIONE BARBOSA. - 2017.
50 f. : il.

Orientador: IDALMIR SOUZA.
Coorientador: RICARDO LEITE.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de
Energia, 2017.

1. Arduino UNO. 2. Espectrofotometria. 3. LED.
4. LDR. I. SOUZA, IDALMIR, orient. II. LEITE,
RICARDO, co-orient. III. Título.

ERIONE BARBOSA DE LIMA JUNIOR

**APLICAÇÃO DE ARDUÍNO NO DESENVOLVIMENTO DE UM
COLORÍMETRO DE BAIXO CUSTO COM TRANSFERÊNCIA DE DADOS
PARA ANDROID**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido – UFERSA. Campus Mossoró
para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia de Energia.

Mossoró, 22 de maio de 2017.

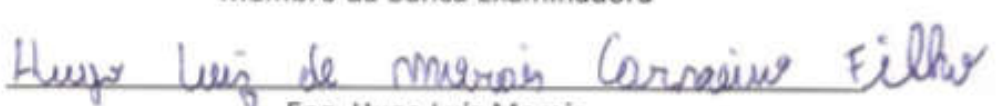


Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior
Presidente da Banca Examinadora e Orientador

Prof. Dr. Ricardo Henrique de Lima Leite
Co-Orientador e membro da banca



Me. Leonardo Gomes de Menezes
Membro da Banca Examinadora



Eng. Hugo Luiz Moraes
Membro da Banca Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar pois sem ele nada seria possível. Obrigado meu Deus, por todas as oportunidades que me proporcionou e proporciona a cada dia.

Segundo quero agradecer a Ana Rafaella (minha esposa) por toda dedicação e apoio na minha vida pessoal e acadêmica, ficando horas e horas me incentivando quando as coisas pareciam impossíveis de se realizar.

Quero agradecer a minha filha, Ana Cecília, meu pocôizinho, por todos os momentos de recarga de energia quando estava esgotado com meus afazeres.

Devo também agradecer aos meus pais Erione Barbosa e Janeci Moura, pela vida, educação, caráter e suporte, para eu chegar onde eu estou agora.

Agradeço também a Tia Leo, pelas dicas de vida, a Jorge, por me socorrer nos momentos de dúvidas mais persistentes, a minha irmã Emanuela pelos bons e maus momentos que passamos juntos (kkk), aos meus amigos de estudo e brincadeiras, Marcelo, Bia, Iasmim, Yan, Soldado, Rafael, Vanessinha.

A Dona Lourdes pelo tratamento com minha pessoa e, também, agradeço a toda minha família por me ajudar, da forma que podia, para a construção do meu caminho.

Por fim, quero agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Idalmir, por ser esse ótimo professor e me fazer gostar ainda mais da Engenharia elétrica e me mostrar a gama de possibilidades que a mesma pode me oferecer, ao meu co-orientador Prof. Dr. Ricardo Leite, que despertou meu interesse para a pesquisa e ao técnico de laboratório Leonardo, pelo auxílio nos experimentos.

RESUMO

Em meio a evolução das civilizações aconteceram avanços nas tecnologias utilizadas pelos homens, aumentando a quantidade e diversidade de substâncias utilizadas por estes. Muitas destas substâncias são prejudiciais ao meio ambiente e ao homem e, mesmo assim, são descartadas sem preocupação com os danos que podem ocasionar aos mesmos. Devido existir uma vasta gama de substâncias agressivas ao meio ambiente, existe a necessidade de identificá-las e quantificá-las para uma avaliação do grau de poluição existente. Sendo assim este trabalho objetivou identificar uma forma de medir a concentração de substâncias, no caso em particular o objeto de estudo foi o Cromo Hexavalente, sendo o mesmo bastante prejudicial aos seres humanos. Para desenvolvimento do estudo foi levado em consideração substâncias solúveis tomando como base a espectrofotometria. Na metodologia foram feitos o preparo de padrões do Cromo hexavalente variando de 0,05 até 0,5 mg/L, desenvolvido a curva padrão em um espectrofotômetro comercial de UV visível, desenvolvimento de um protótipo, obtenção de dados obtidos pelo protótipo com diferentes LED's e realização de um orçamento dos materiais utilizados. Os principais resultados obtidos no estudo foram a curva padrão gerada pelo espectrofotômetro UV visível comercial, a curva com os diferentes LED's, a qual identificou o melhor resultado e o custo associado do protótipo. Diante do trabalho proposto, conclui-se que foi possível analisar as amostras do Cromo Hexavalente com o protótipo desenvolvido, onde identificou-se qual LED melhor interage com a substância analisada, conseguindo assim, desenvolver um colorímetro de baixo custo com transferência de dados do equipamento para um dispositivo Android.

Palavras-Chave: Arduino UNO; Espectrofotometria; LED; LDR.

ABSTRACT

In the midst of the evolution of civilizations, advances have been made in the technologies used by men, increasing the quantity and diversity of substances used by men. Many of these substances are harmful to the environment and man, and yet they are discarded without worrying about the damage they can cause. As there is a wide range of substances that are aggressive to the environment, it is necessary to identify them and quantify them for an assessment of the degree of pollution. Thus, this work had as objective to identify a way to measure the concentration of substances, in the case in particular the object of study was the Hexavalent Chromium, being the same quite harmful for humans. For the development of the study, soluble substances based on spectrophotometry were considered. In the methodology, the preparation of hexavalent chromium standards was performed, varying from 0.05 to 0.5 mg / L, developing the standard curve in a visible commercial UV spectrophotometer, developing a prototype, obtaining data obtained by the prototype with LEDs And budgeting of the materials used. The main results obtained in the study were the standard curve generated by the visible commercial UV spectrophotometer, the curve with the different LEDs, which identified the best result and associated cost of the prototype. In view of the proposed work, it was concluded that it was possible to analyze the samples of the Hexavalent Chromium with the developed prototype, where it was identified which is the best LED that interacts with the analyzed substance, being able to develop a low cost colorimeter with Transfer of data of the equipment To an Android device.

Keywords: Arduino UNO; Spectrophotometry; LED; LDR

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Onda Eletromagnética.....	14
Figura 2: Absorção da Luz	15
Figura 3: Lei Lambret-Beer.....	17
Figura 4: Gráfico de A em função da concentração	18
Figura 5A: Catodo Comum	22
Figura 5B: Anodo Comum	22
Figura 6: Configurações de construção do LED RGB	22
Figura 7: Misturas de cores possíveis com o LED RGB	23
Figura 8: A luz libera portadores de cargas que reduzem a resistência com a luz incidente sobre o LDR	24
Figura 9: Gráfico da variação da resistência com a luz incidente sobre o LDR.....	24
Figura 10: Protoboard	25
Figura 11: Esquema interno de ligação do protoboard.....	26
Figura 12: LCD 16x2	27
Figura 13: Esquema de ligação do LCD 16x2	27
Figura 14: Arduino UNO	28
Figura 15: <i>Shield Bluetooth</i> JY-MCU-06	29
Figura 16: Ligação elétrica do <i>Shield Bluetooth</i> ao Arduino UNO	30
Figura 17: Aparelho espectrofotômetro modelo Evolution EVO 600 PC	31
Figura 18: Diagrama de propagação do espectro	33
Figura 19: Metodologia usada para captura dos dados	34
Figura 20: Estrutura do protótipo	36
Figura 21: Simulação do protótipo do circuito no circuits.io:	38
Figura 22: Sistema real em pleno funcionamento	41
Figura 23: Obtenção de dados do protótipo pelo dispositivo Androide interligado via <i>bluetooth</i>	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Leitura das concentrações do Cromo Hexavalente utilizando o LED RGB com espectros de emissão vermelho	39
Tabela 2: Leitura das concentrações do Cromo Hexavalente utilizando o LED RGB com espectros de emissão verde	39
Tabela 3: Leitura das concentrações do Cromo Hexavalente utilizando o LED RGB com espectros de emissão azul	40
Tabela 4: Leitura das concentrações da amostra 01 do Cromo Hexavalente	42
Tabela 5: Leitura das concentrações da amostra 02 do Cromo Hexavalente	43
Tabela 6: Leitura dos valores obtidos de máximos e mínimas concentrações.....	43
Tabela 7: Processamento dos sinais colhidos nos testes	44
Tabela 8: Relação de preços dos componentes do protótipo	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curvas de absorvância gerada pelas respostas do LDR aos diferentes LED's	45
Gráfico 2: Comparativo entre o LED com melhor sensibilidade e o espectrofotômetro de UV-Visível de referência	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Materiais utilizados na fabricação dos LED's	21
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 ESPECTROFOTOMETRIAS	14
2.2 LEI DE LAMBERT-BEER	15
2.2.1 Desvios da Lei de Lambert-Beer	17
2.3 DETERMINAÇÕES DO CROMO (VI) POR ESPECTROFOTOMETRIA	18
2.3.1 Cromo Hexavalente	18
2.4 LED (Light Emitting Diode ou Diodo Emissor de Luz)	19
2.4.1 LED RGB	21
2.5 LDR (Light Dependent Resistor ou Resistor Dependente de Luz)	24
2.6 PROTOBOARD	25
2.7 DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO (LCD)	26
2.8 ARDUINO UNO	28
2.9 SHIELD MÓDULO BLUETOOTH	29
3 MATÉRIAS E MÉTODOS	30
3.1 USO DO ARDUINO UNO PARA COLETA DE DADOS	32
4 PROTÓTIPO	36
4.1 MODELO ESTRUTURAL	36
4.2 VALORES COMERCIAIS	36
5 RESULTADO E DISCUSSÕES	38
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução das civilizações aconteceram avanços nas tecnologias utilizadas pelos homens, assim como aumentou a quantidade de substâncias utilizadas por estes. Porém, frequentemente, muitas destas substâncias são descartadas no meio ambiente sem preocupação com os danos que podem ocasionar ao mesmo, gerando-se o que se convencionou chamar de poluição.

Considerando a vasta gama de substâncias agressivas ao meio ambiente, existe a necessidade de identificá-las e quantificá-las para uma avaliação do grau de poluição existente e o estabelecimento de quais medidas adotar para cada situação.

Uma das técnicas mais utilizadas na determinação da concentração de substâncias em solução é a espectroscopia de absorção molecular no ultravioleta-visível, também conhecida como espectrofotometria. Essa técnica consiste na medida da quantidade de radiação ultravioleta ou visível absorvida por uma amostra contendo a substância a analisar e subsequente correlação desta com a concentração da substância presente na amostra (L. R. SANTOS, 2017). Na análise por espectrofotometria utiliza-se um equipamento chamado espectrofotômetro. Este equipamento e, em seguida, com um detector mede a quantidade de luz que consegue atravessá-la. Equipamentos mais simples, selecionam um feixe de luz dentro de uma faixa, relativamente estreita, de comprimentos de onda e trabalham apenas na região do espectro visível, sendo conhecidos como colorímetros.

Na triagem de amostras para análise em laboratório, faz-se necessária a possibilidade de equipamentos portáteis, aptos para o fácil manuseio em campo. A miniaturização, a simplicidade e o baixo custo são atributos primordiais em tais circunstâncias. Diversos equipamentos comerciais buscam atender este tipo de demanda, mas ainda existe a necessidade de melhorias neste campo de aplicação.

No presente trabalho, desenvolveu-se um colorímetro de baixo custo utilizando-se diodos emissores de luz (LED's) para obtenção de um feixe luminoso numa faixa de comprimentos de ondas desejada e um resistor dependente de luz (LDR) como detector. Uma placa arduino será responsável por alimentar com informação correta todo o sistema de medição, captar e

processar os dados dos testes, e enviar os resultados ao operador do sistema via *bluetooth* para um dispositivo android. O dispositivo desenvolvido foi aplicado na análise de cromo (VI) pelo método da difenilcarbazida (APHA, 2005).

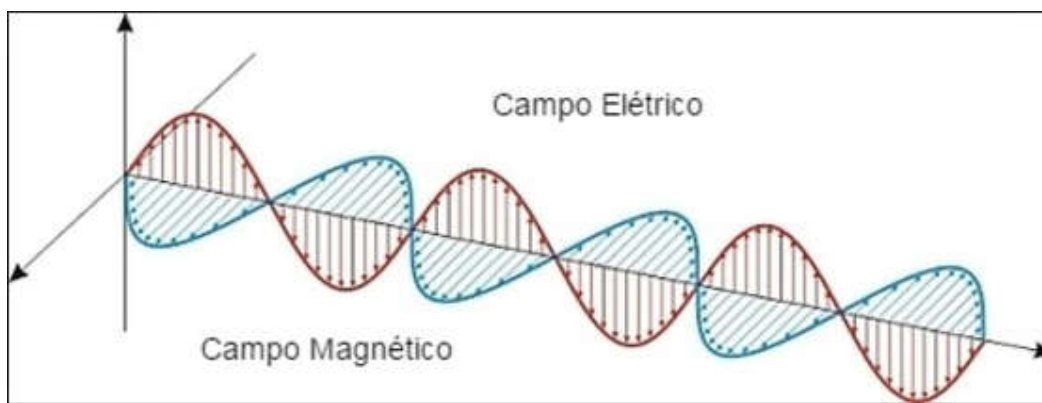
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESPECTROFOTOMETRIA

A espectrofotometria é uma técnica de análise óptica usada para fazer investigações biológicas e físico-químicas (FEITOZA, 2010). A maioria dos métodos utilizados em bioquímica clínica abrange a determinação espectrofotométrica de compostos corados (cromóforos) a partir da reação entre o composto a ser analisado e o reagente (reagente cromogênico), gerando um produto colorido (MENDES, 2009).

O fundamento da espectrofotometria da-se da seguinte maneira: A luz de um modo geral é descrita como sendo uma radiação eletromagnética por conta da sua natureza dualística (L. R. SANTOS, 2017), dessa forma, seu comportamento decorre da oscilação de campos elétricos e magnéticos conjuntos, como mostrado na Figura 01.

Figura 01: Onda Eletromagnética



Fonte: www.todamateria.com.br, 2017.

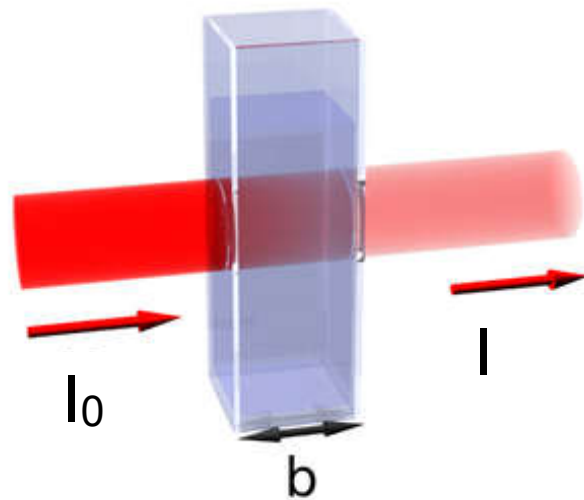
O comprimento de onda (λ) é a distância em metros de um pico ao outro da onda, já a frequência (ν) é o grau de oscilação das ondas em função da velocidade da luz no vácuo, representada pela constante c ($c=2,998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) (L. R. SANTOS, 2017). De modo que:

$$\lambda \cdot \nu = c$$

Eq. 1.

Através da espectrofotometria, alguns componentes desconhecidos de determinada solução são identificados por seus espectros característicos no infravermelho, ultravioleta ou visível. Por exemplo, quando um feixe de luz monocromática atravessa uma solução com moléculas absorventes, parte da luz é absorvida pela solução e o restante é transmitido” (MENDES, 2009). Sendo assim, a absorção de luz depende necessariamente da concentração das moléculas absorventes e da espessura da solução, como mostra a Figura 02:

Figura 02: Absorção de Luz.



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Onde I_0 = Feixe de luz incidente;

I = Feixe de luz transmitido;

b = Espessura da solução ou caminho óptico;

2.2 LEI DE LAMBERT-BEER

A espectrofotometria explora as Leis de Lambert-Beer, que é o fundamento da espectrofotometria. Essas leis abordam respectivamente, o fenômeno pelo qual a quantidade da luz que foi absorvida ou transmitida por uma solução, depende da concentração do soluto e da espessura da solução, matematicamente, a transmitância é expressa pela relação: $T = e^{-a \cdot b \cdot c}$ (MENDES, 2009).

Onde:

T= transmitância

e = número de Euler (base dos logaritmos naturais)

a= absorvividade

b = espessura da solução

c = concentração da solução

A transmitância também pode ser escrita como: $T = I/I_0$, onde I_0 é o feixe de luz incidente e I , é o feixe de luz transmitido, sendo esse feixe de luz com uma menor intensidade que o feixe de luz incidente (I_0), pois ao passar pela amostra analisada, o feixe de luz interage com a mesma e uma parcela é absorvida ficando o feixe que deixa a amostra com potência I .

A espectroscopia de absorção esta baseada na medida da transmitância T ou absorbância A de soluções contidas em células transparentes tendo um caminho óptico de b cm (SKOOG et al, 2002).

Já a absorbância, é diretamente proporcional à concentração da substância analisada. Ou também, a absorbância pode ser definida como sendo o logaritmo na base dez do inverso da transmitância (L. R. SANTOS, 2017).

$$A = \log(1/T)$$

$$A = -\log(I/I_0) = \epsilon \cdot c \cdot l$$

$$A = \epsilon \cdot c \cdot l$$

Onde :

A é a absorbância,

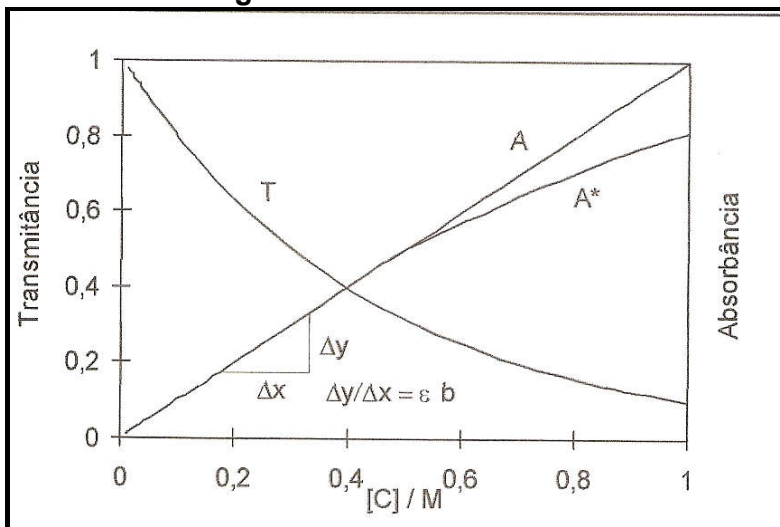
ϵ é o coeficiente de extinção molar ou absorvividade molar

l é o comprimento da cubeta

c é a concentração do elemento que absorve, na solução, expressa em mol.L⁻¹.

A Figura 03 apresenta um gráfico de A x [C] em forma de uma reta enquanto que uma curva descendente representa a transmitância (T), quando o eixo das abscissas significa a concentração do cromóforo ([C]).

Figura 3: Lei Lambert-Beer



Fonte: www.ufrgs.br, 2017.

Ainda no gráfico o A^* , representa a perda da linearidade da absorbância em elevadas concentrações, e a inclinação da reta no regime linear, fornece o valor de “ ϵb ”, assim sendo, o gráfico de $A \times [C]$ pode ser usado para o cálculo da absorvidade molar.

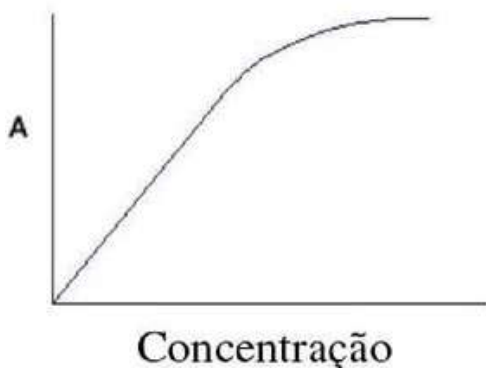
2.2.1 Desvios da Lei de Lambert-Beer

Apesar das reações obtidas serem coloridas, nem todas seguem a lei de Lambert-Beer, tal afirmação é válida para condições restritas, onde (MENDES, 2009):

- A luz utilizada é monocromática;
- As soluções analisadas são diluídas (baixas concentrações);
- Apenas uma substância absorvente de luz está presente na solução;

Soluções concentradas são as principais causas de desvios da lei Lambert-Beer. Tal observação é apresentada na Figura 04, onde o aumento na concentração é seguido pelo aumento crescente e proporcional de A , até um ponto limite. A partir desse ponto, das soluções concentradas, deixa de haver proporcionalidade linear entre os valores.

Figura 04: Gráfico de A em função da concentração em altas concentrações



Fonte: www.c2o.pro.br, 2017.

O limite de linearidade estabelece o limite de concentração em que a lei de Lambert-Beer é adequada. Sendo que para concentrações superiores ao limite de linearidade, analisado no desvio da lei, deixa de existir a proporcionalidade linear entre a concentração e a absorbância.

2.3 DETERMINAÇÕES DO CROMO (VI) POR ESPECTROFOTOMETRIA

Encontrado na natureza em rochas, nos animais, no solo, gases vulcânicos e poeiras, o cromo é um metal refratário, duro e brilhante. “Seu ponto de fusão é 1.857 °C e o ponto de ebulição, 2.672 °C; a densidade é 7,2 g/cm³, e o peso atômico, 51,996; o número atômico é 24; a pressão de vapor, de 1 mmHg a 1.616 °C; o estado físico é sólido; é inodoro e não é explosivo nem inflamável” (SILVA; FRANÇA; et. al, 2008, p.1).

2.3.1 Cromo Hexavalente

Segundo MARCOLAN et al (2008),

o cromo tornou-se um problema de saúde pública devido a seus efeitos tóxicos até mesmo em baixos níveis de concentração e pelo fato de que ele é amplamente distribuído no ambiente. O cromo é um elemento que pode ser encontrado nas águas, ar, rochas, solos e em toda matéria biológica, porém não é comum a ocorrência natural de concentrações elevadas em águas. O cromo possui dois estados de oxidação no ambiente natural: hexavalente e trivalente.

Os compostos Hexavalentes (cromo VI), são tóxicos e possuem uma ação irritante e corrosiva no corpo humano (CHEIS, 2013). O indivíduo pode ser exposto ao cromo hexavalente através da inalação, do contato com a pele e da ingestão. Sendo a inalação do mesmo causadora de uma grave irritação das vias respiratórias, podendo causar danos maiores a saúde como um câncer.

Para Cheis (2013):

Apesar da Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelecer o limite para o consumo humano, de 0,05 miligramas por litro, não há estudos científicos que comprovem qual o nível de cromo ingerido pode vir causar a doença. Os potenciais efeitos do cromo hexavalente variam, principalmente, com as espécies e as quantidades absorvidas na corrente sanguínea, a rota e a duração da exposição.

Devido ao cromo hexavalente encontrar-se na maioria das listas nacionais e internacionais de materiais com elevada toxicidade, há a necessidade de identificação e quantificação do mesmo.

2.4 LED (Light Emitting Diode ou Diodo Emissor de Luz)

Os semicondutores são materiais em que os átomos possuem quatro elétrons na camada de valência, sendo materiais que conduzem menos eletricidade que os materiais condutores e sua condutividade depende da temperatura.

O LED é um diodo emissor de luz que tem comprimento de onda específico, consequentemente uma cor específica. Sua coloração, depende do material semicondutor utilizado no LED. “Os semicondutores de LED consistem de combinações dos elementos como, por exemplo, fosfetos ou arsenetos” (OSRAM, 2017). D. M. Santos (2017) coloca que

no processo do funcionamento do LED encontramos algo chamado diodo que nada mais é um tipo simples de semicondutor, lembrando que semicondutor é um material capaz de conduzir corrente elétrica. No caso dos LEDs normalmente encontramos um material condutor chamado arseneto de alumínio e gálio.

De acordo com suas misturas, cada uma delas libera quantidades diferentes de energia, dependendo do gap (espaço) de energia do material semicondutor. Recombinando os transportadores de cargas, os fótons são

emitidos com níveis de energia específicos, e conseqüentemente, explicitando a cor da luz. Cada cor de luz emitida por um LED, é limitada por uma faixa restrita de comprimento de onda. Dessa forma identificando em qual comprimento de onda a substância a ser analisada absorve luz, pode-se utilizar o LED específico para aquela substância.

Dopando-se com fósforo, a emissão pode ser vermelha ou amarela, de acordo com a concentração. Utilizando-se fosfeto de gálio com dopagem de nitrogênio, a luz emitida pode ser verde ou amarela. Hoje em dia, com o uso de outros materiais, consegue-se fabricar LEDs que emitem luz azul, violeta e até ultravioleta. Existem também os LEDs brancos, mas esses são geralmente LEDs emissores de cor azul, revestidos com uma camada de fósforo do mesmo tipo usado nas lâmpadas fluorescentes, que absorve a luz azul e emite a luz branca (SANTOS, D. M., 2017). A emissão de radiação dos LEDs pode variar desde a faixa ultravioleta até a infravermelha, dependendo dos materiais semicondutores que foram utilizados para fabricação dos mesmos. No Quadro 01 é possível observar o espectro de emissão dos LED's de acordo com materiais que foram utilizados para a fabricação dos mesmos.

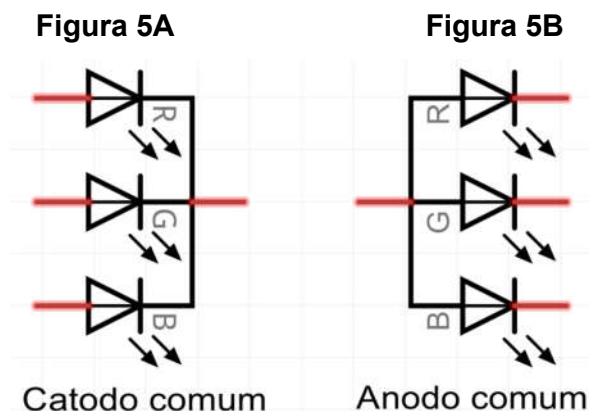
Quadro 01: Materiais utilizados na fabricação dos LED's

Tipo de radiação/ Banda do espectro	Materiais semicondutores
Ultravioleta ($\lambda < 400$)	Diamante Nitreto de boro Nitreto de alumínio Nitreto de alumínio, gálio e índio
Violeta ($400 < \lambda < 450$)	Nitreto de gálio e índio
Azul ($450 < \lambda < 500$)	Seleneto de zinco
Verde ($500 < \lambda < 570$)	Fosforeto de gálio Fosforeto de alumínio, gálio e índio Fosforeto de alumínio e gálio Nitreto de gálio e índio /Nitreto de gálio(III)
Amarelo ($570 < \lambda < 590$)	Fosforeto de alumínio, gálio e índio Fosforeto de gálio(III)
Laranja ($590 < \lambda < 610$)	Fosforeto de gálio(III) Arseneto de alumínio e gálio
Vermelho ($610 < \lambda < 760$)	Fosforeto de alumínio, gálio e índio Fosforeto de gálio (III)
Infravermelho ($\lambda > 760$)	Arseneto de gálio Arseneto de alumínio e gálio

Fonte: GARRIDO, 2010.

2.4.1 LED RGB

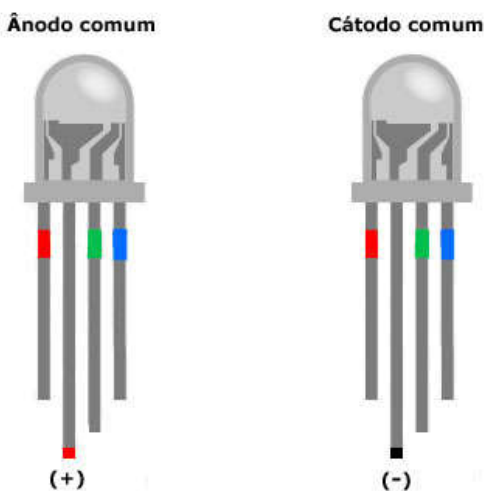
LED RGB são três LEDs encapsulados em um mesmo dispositivo, que poderão ser controlados individualmente, de acordo com a cor de cada um: um vermelho (Red), um verde (Green) e um azul (Blue) (BOSON, 2017). Nas figuras 5A e 5B, temos os símbolos que representam os LEDs RGB com anodo comum e catodo comum. Para o trabalho proposto utilizaremos o LED RGB do tipo catodo comum.



Fonte: www.bosontreinamentos.com.br, 2017.

Os mesmos possuem quatro terminais onde três deles são conectados a cada LED de cor individual e o quarto, é conectado a um ponto em comum. Dessa forma existe duas configurações admissíveis para esses terminais, onde a primeira pode se arranjar com o catodo comum e a segunda, o anodo comum. No catodo comum os LED's estão com seu terminal negativo ligado no GND e o controle do acendimento dos LED's, de maneira individual, é realizado nos terminais anodos com uma tensão adequada. O inverso acontece com os LED's de anodo comum, onde para se controlar uma cor do LED individualmente, uma tensão adequada alimenta o terminal do anodo comum aos LED's e o controle é feito com os terminais dos catodos ligando-os no GND (Negativo), como se pode observar na figura 6.

Figura 6: configurações de construção do LED RGB



Fonte: www.comofazerascoisas.com.br, 2017.

Os LED's RGB também podem gerar uma variedade de cores devido aos mesmos, internamente, se localizarem muito próximos entre si e o olho humano, ser incapaz de distingui-los, visualizando apenas a miscelânea de cores final, Figura 7. O processo de mistura de cores pode ser feito com as portas PWM (pulse width modulation ou modulação por largura de pulso), presentes no arduino, a qual permite ajustar o nível de brilho em cada um dos LED's.

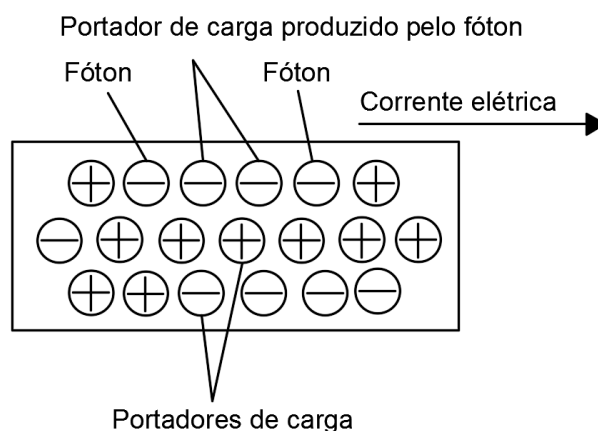
Figura 7: Misturas de cores possíveis com o LED RGB



Fonte: www.fisica-interessante.com, 2016.

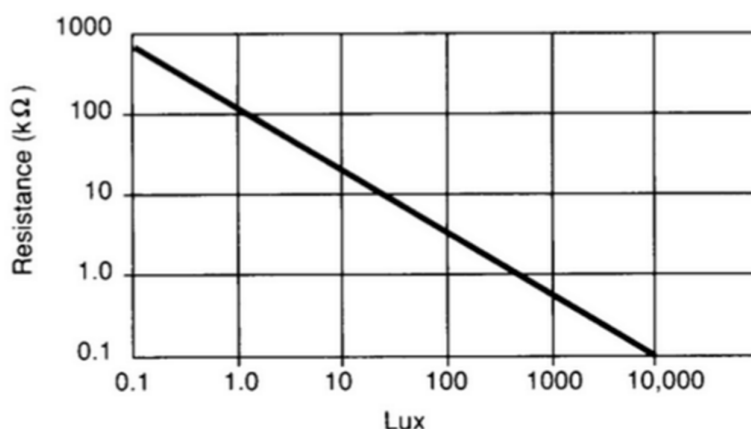
2.5 LDR (Light Dependent Resistor ou Resistor Dependente de Luz)

O LDR, resistor dependente de luz, é um tipo de resistor que altera suas características de resistência de acordo com a luz incidida sobre ele, ocorrendo a liberação de portadores de carga que ajudam a condução da corrente elétrica, conforme ilustrado na figura 8.

Figura 8: Portadores de carga

Fonte: Thomazini e Albuquerque, 2011.

Em um ambiente com baixa luminosidade o LDR apresenta altas resistências, na casa dos $M\Omega$ (MegaOhms), e em ambientes com grande luminosidade, sua resistência pode chegar a menos de 100Ω (cem Ohms). Porém seus valores de resistência seguem uma proporcionalidade de acordo com a intensidade de luz incidente sobre ele, ou seja, a resistência do LDR é inversamente proporcional a luz incidente sobre o mesmo, assim como mostrado na figura 9. Essa proporcionalidade pode ser utilizada para determinar a absorbância da amostra e consequentemente sua concentração.

Figura 9: Gráfico da variação da resistência com a luz incidente sobre o LDR

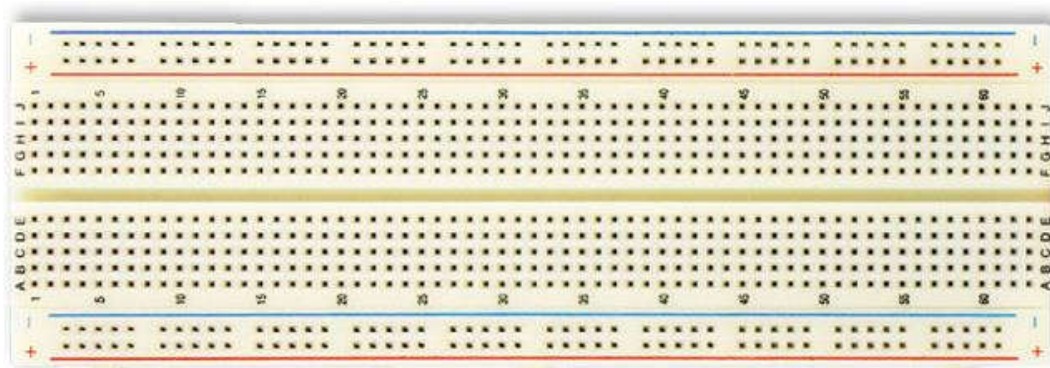
Fonte: www.bosontreinamentos.com.br, 2017.

Na figura 9 é possível perceber que quando a luz incidente sobre o LDR, medida em Lux, aumenta sua resistência decai. O valor dessa resistência obedece à equação $R=C.L.a$, onde L é a luminosidade em Lux e C e a, são constantes dependentes dos processos de fabricação e material utilizado. A incidência de energia luminosa no LDR desloca os elétrons da camada de valência para a camada de condução, aumentando o número de elétrons e diminuindo a resistência. De acordo com Thomazini e Albuquerque (2011), os modelos de LDRs mais comum são os de 1 cm e de 2,5 cm de diâmetro, diferenciando-se pela sua capacidade de corrente que os mesmos suportam. Ele ainda diz que um LDR com uma superfície maior possui maior sensibilidade, como também uma capacidade maior de dissipar o calor.

2.6 PROTOBOARD

Siqueira (2014) diz que, a protoboard é um elemento que facilita bastante a montagem de circuitos eletrônicos, pois para a montagem não é necessário acoplar os dispositivos eletrônicos de forma definitiva, um exemplo utilizado é a união dos terminais através de estanho. A placa da figura 10 é uma placa com 830 furos interligados verticalmente nas duas divisões internas e horizontalmente nas duas divisões externas. Essas placas possuem algumas limitações devido a suportar uma corrente máxima de 3A, tensão de máxima de 300V e bitola de fio para conexão variando de 0,4mm até 0,7mm.

Figura 10: Protoboard



Fonte: www.eletronicadidatica.com.br, 2017.

As divisões internas das colunas são formadas exatamente por cinco furos curti circuitados, cada um grupo de colunas dispostas acima da cavidade central e outro grupo abaixo dessa cavidade. Essa cavidade divide a protoboard em duas partes iguais. Já as divisões externas são curti circuitadas horizontalmente como mostrado na figura 11.

Figura 11: esquema interno de ligação do protoboard



Fonte: Elaboração própria, 2017.

2.7 DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO (LCD)

Módulos LCD são dispositivos que fazem interface entre o hardware e o operador. Tais módulos podem ser gráficos e a caracteres. Os LCD comuns, que são do tipo caractere, especificam-se em número de linhas por colunas. Na figura abaixo temos um LCD 16x2, modelo HD44780, cujo design adapta-se a variados projetos, ele ainda pode ser utilizado em diferentes modelos de placas e microcontroladores, como o Arduino.

Figura 12: LCD 16x2

Fonte: www.blog.filipeflop.com, 2017.

Alguns módulos possuem uma iluminação de fundo, conhecida como LED backlight, tal iluminação serve para facilitar as leituras noturnas. Todavia, a alimentação do mesmo (LED backlight) se dá pelos pinos 15 e 16 para os módulos comuns, onde o pino 15 liga-se com o anodo e o pino 16 com o catodo. Geralmente a corrente de alimentação deste pode variar entre 100 a 200mA, dependendo do modelo utilizado. Na figura 13 temos o esquema de ligação do LCD 16x2 a um arduino.

Figura 13: Esquema de ligação do LCD 16x2

Conexões LCD 16x2 - HD44780		
Pino LCD	Função	Ligação
1	Vss	GND
2	Vdd	Vcc 5V
3	V0	Pino central potenciômetro
4	RS	Pino 12 Arduino
5	RW	GND
6	E	Pino 11 Arduino
7	D0	Não conectado
8	D1	Não conectado
9	D2	Não conectado
10	D3	Não conectado
11	D4	Pino 5 Arduino
12	D5	Pino 4 Arduino
13	D6	Pino 3 Arduino
14	D7	Pino 2 Arduino
15	A	Vcc 5V
16	K	GND

Fonte: www.blog.filipeflop.com, 2017.

2.8 ARDUINO UNO

O Arduino UNO é uma placa que possui um microcontrolador baseado no ATmega328. Ela é composta por 14 pinos de entrada/saída digitais (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal de quartzo de 16 MHz, uma conexão USB, uma tomada de força, um cabeçalho ICSP e um botão de reset. A alimentação elétrica da placa pode ser por conexão pela USB ou por fonte de alimentação externa (na tomada de força), com corrente contínua, e nível de tensão de operação de 5V (ARDUINO, 2017).

Com relação ao custo, o Arduino UNO se sobressai devido ao chip Atmega ser mais barato que o chip *Future Technology Devices International* - FTDI encontrado na sua predecessora *Duemilanove*, diminuindo o preço das placas (MCROBERTS, 2011). Ainda segundo ele, uma importante vantagem é permitir que o chip USB tenha seu *firmware* atualizado para que o Arduino seja exibido no PC como outro dispositivo.

Figura 14: Arduino UNO



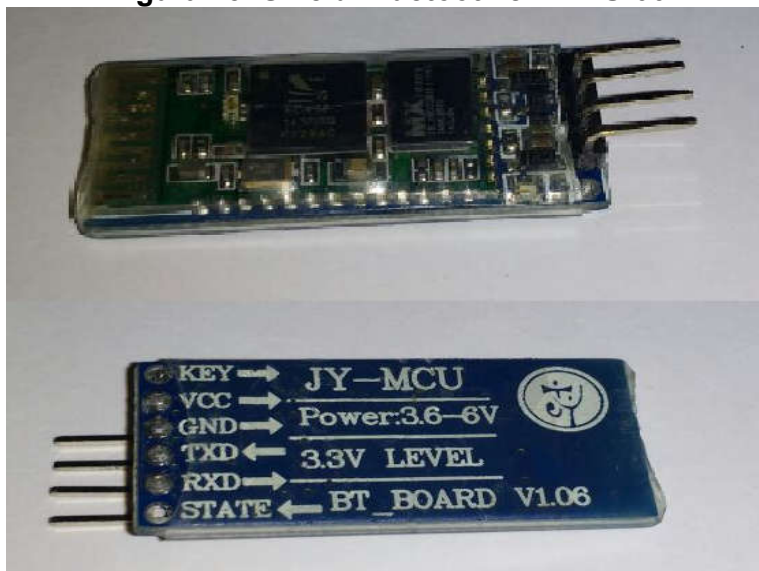
Fonte: ARDUINO, 2017.

2.9 SHIELD MÓDULO *BLUETOOTH*

Para conexão do Arduino UNO a outro dispositivo capaz de receber e gravar os dados do experimento, com uma limitação de pequenas distâncias e utilizando de uma tecnologia *wireless*, ou seja, sem fio, o Shield *Bluetooth* é uma alternativa atraente, pois após sua instalação, basta acionar o módulo bluetooth do smartphone ou computador e emparelhar com o módulo bluetooth conectado ao Arduino UNO que o dispositivo já está preparado para enviar os dados coletados pelo arduino.

A conexão física do Arduino UNO com o Shield Bluetooth, é feita através das portas de envio e recebimento de dados do microcontrolador, RX (pino responsável de receber o sinal) e TX (pino que transmite o sinal). O bluetooth é alimentado nos pinos GND e 5V do arduino. Sendo dessa forma, possível enviar e receber dados pelo computador ou smartphone por sua porta serial (ARDUINO.CC, 2017). O modelo do bluetooth adotado no projeto foi o Módulo Bluetooth JY-MCU HC-06 (figura 15).

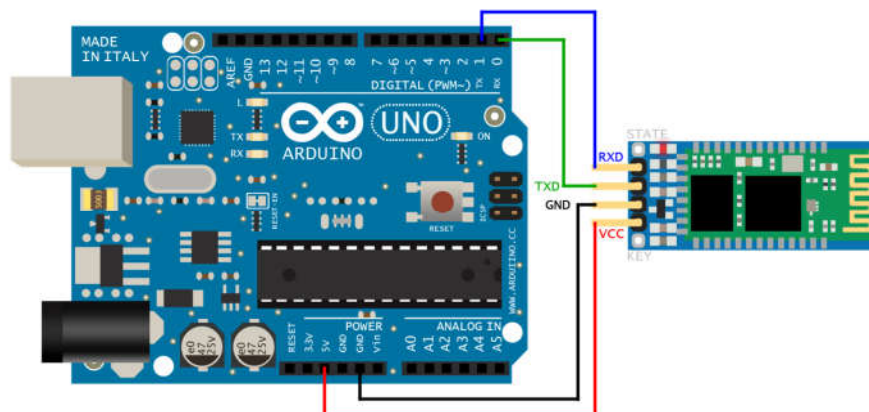
Figura 15: Shield Bluetooth JY-MCU-06



Fonte: elaboração própria, 2017

A figura 16 expressa a devida ligação elétrica que deve ser feita para interligar o Shield Bluetooth ao Arduino UNO, conectando-se os pinos de alimentação e comunicação.

Figura 16: ligação elétrica do Shield Bluetooth ao Arduino UNO



Fonte: limawill.wordpress.com, 2017.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse trabalho a determinação do cromo hexavalente foi realizada pelo método da difenilcarbazida (APHA, 2005). O método utiliza os seguintes reagentes: água destilada, 1,5-difenilcarbazida P.A., ácido sulfúrico, P.A., álcool etílico 95% e dicromato de potássio.

Para a utilização deste método é necessário o preparo de quatro soluções. A solução de ácido sulfúrico 1:10 (v/v), preparada por adição cuidadosa, usando banho de gelo, de 100mL de ácido sulfúrico P.A. em 100mL de água destilada, transfere-se a solução para um balão volumétrico de 1 L e completa o volume com água destilada. Para o preparo da solução ácida de difenilcarbazida, dissolve-se 0,2 g de difenilcarbazida em álcool etílico 95%, transfere-se para um balão volumétrico de 100 mL e completa-se com álcool. Depois mistura-se 100 mL da solução de difenilcarbazida em álcool com 400mL da solução de ácido sulfúrico 1:10. Tendo o cuidado de manter guardada em frasco âmbar, sob refrigeração e estavel durante um período de aproximadamente 30 dias. Já no preparo da solução padrão estoque de cromo hexavalente (1000 mg/L), deve-se dissolver precisamente 2,829 g de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em água destilada, transferi-la para um balão volumétrico de 1L e completar com água destilada. E por fim, a solução padrão de uso de cromo hexavalente (5 mg/L), que será obtida transferindo 5 mL da

solução estoque de cromo hexavalente para um balão volumétrico de 1L e completando-se com água destilada.

Produzidas as soluções, determinou-se a leitura de absorbância com o aparelho espectrofotômetro de UV-Visível Thermo Fisher Scientific®, modelo Evolution EVO 600 PC, utilizando cubetas de quartzo com caminho ótico de 1cm e comprimento de onda de 540nm.

Figura 17: Aparelho Espectrofotômetro modelo Evolution EVO 600 PC



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Para estabelecimento da curva analítica, seguiu-se o método de difenilcarbazida proposto por APHA (2005). Preparou-se uma série de 10 padrões nas concentrações de 0,05mg/L; 0,10mg/L; 0,15mg/L; 0,20mg/L; 0,25mg/L; 0,30mg/L; 0,35mg/L; 0,40mg/L; 0,45mg/L; 0,45mg/L e 0,50mg/L. para isso transferiu-se volumes de 1,0mL até 10,0mL de uma solução padrão de uso de cromo hexavalente (5mg/L), previamente preparada, para 10 balões volumétricos de 100 mL, completando o volume de cada balão com água destilada. Preparou-se um branco contendo apenas água destilada.

Em seguida, adicionou-se 3mL de solução ácida de difenilcarbazida em cada balão. Deixa-se a solução desenvolver a cor característica por 10 minutos para a mesma, em seguida ser submetida a uma leitura de absorbância a 540 nm em espectrofotômetro.

No desenvolvimento do protótipo o processo de coleta de dados será feito por um microcontrolador, como abordado no tópico 3.1. No nosso caso

usaremos a placa microcontroladora Arduino UNO pois a mesma é uma placa bastante comum, de fácil manuseio e compatível com vários dispositivos.

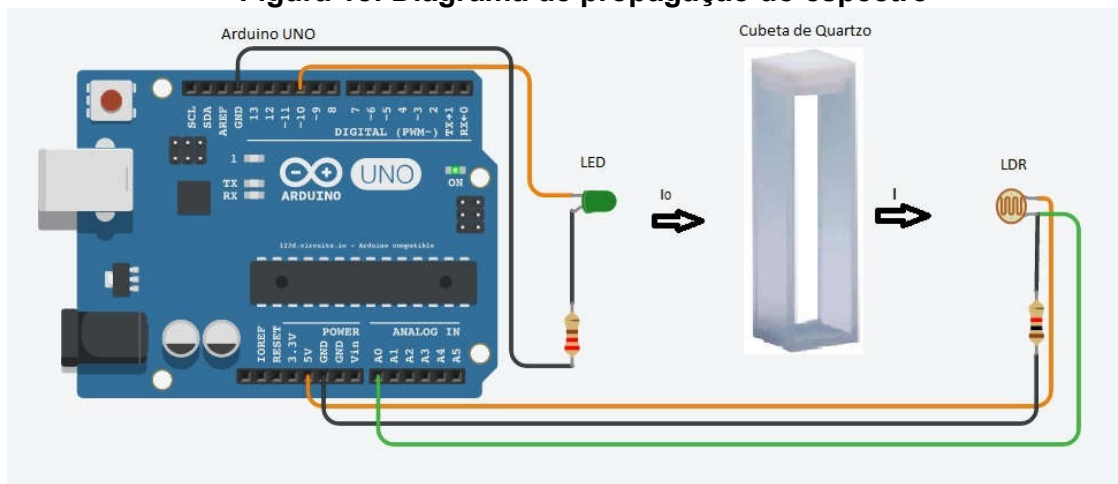
No protótipo proposto o LDR recebera a luz transmitida pelo LED após ser refratada pela substância analisada em uma cubeta de quartzo, mudando sua resistência e sua queda de tensão de acordo com a intensidade de luz incidida. Os valores dessa variação de tensão, vão ser intitulados “ I_0 ”, quando estiver sendo medido os dados do branco e “ I ”, quando os dados se referirem a uma determinada amostra com sua concentração pré-determinada, sendo possível de se obter sua transmitância e absorbância.

3.1 USO DO ARDUINO UNO PARA A COLETA DE DADOS

A plataforma Arduino UNO foi utilizada para realizar as medições e processamento dos valores medidos pelo LDR, alimentar o LED e também para envio dos dados por bluetooth.

Ao ligar o Arduino o mesmo acende o LED que produziu um espectro de luz que melhor interage com a amostra analisada presente em uma cubeta de quartzo de 1 cm de caminho óptico. Ao passar pela cubeta, uma porção do espectro de luz do LED é absorvida pela substância nela contida e o restante é captado pelo LDR, como mostrado na figura 18. O espectro de luz absorvido pelo LDR altera a resistência no LDR de acordo com a intensidade da luz captada por ele. Essa resistência gera uma queda de tensão que é captada pelo Arduino UNO por uma porta analógica ligada por um divisor de tensão entre um resistor de $1k\Omega$ e o LDR (figura 18).

Figura 18: Diagrama de propagação do espectro

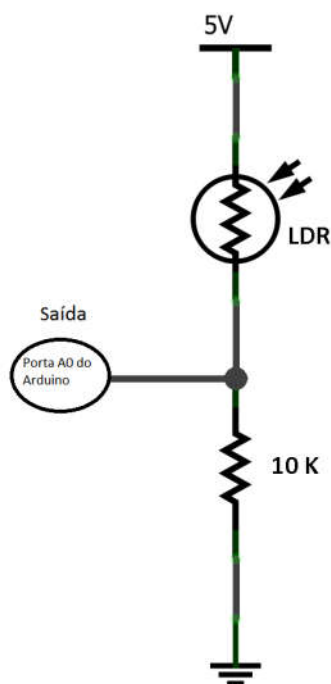


Fonte: Elaboração própria, 2017.

Para realização dos primeiros testes, o LED utilizado foi o de coloração verde monocromático. Porém houve a necessidade de identificar com qual espectro de luz as amostras melhor interagem. Sendo assim, foi utilizado nos testes seguintes o LED do tipo RGB onde com um incremento no sistema de botões é possível controlar qual espectro incide sobre as amostras.

A variação de tensão medida pelo Arduino na porta analógica ligada ao divisor de tensão mostrado na figura 19, é transformada em bits que varia em um valor de 0 a 1023. Esse esquema de divisor de tensão foi adotado para que quando a resistência do LDR estiver com seus valores mínimos a corrente não venha a subir o bastante para danificar o sistema, e também para gerar valores de sinais pequenos, na porta analógica do arduino, quando o sistema for submetido a altas concentrações.

Figura 19: Metodologia usada para captura dos dados



Fonte: www.fazedores.com, 2017.

Antes de medir a concentração da substância, a cubeta é preenchida com água destilada. O valor obtido pelo espectro de luz do LED passando pela cubeta com água destilada, será chamado de branco e corresponde ao sinal para um valor de concentração igual a zero. Desse modo pode-se medir a concentração da substância por intermédio da absorbância que será o log do valor do branco dividido pelo valor obtido para a substância em análise. Ou seja:

$$A = \frac{\text{Amostra do branco}}{\text{Amostra da concentração}}$$

Para determinação dos pontos que delimitam os valores possíveis de serem lidos no protótipo, foram realizados testes com situações extremas, onde para demarcar a região de mínima concentração foram medidos 15 valores em intervalos de 1 em 1 minuto da porta analógica responsável por receber as leituras do LDR, com a situação onde cada LED individualmente é ligado, incidindo seu espectro sobre o LDR sem interferência da cubeta como também, foram feitos testes com a cubeta de quartzo vazia no local. E para demarcar a máxima concentração, o mesmo procedimento foi realizado obtendo 15

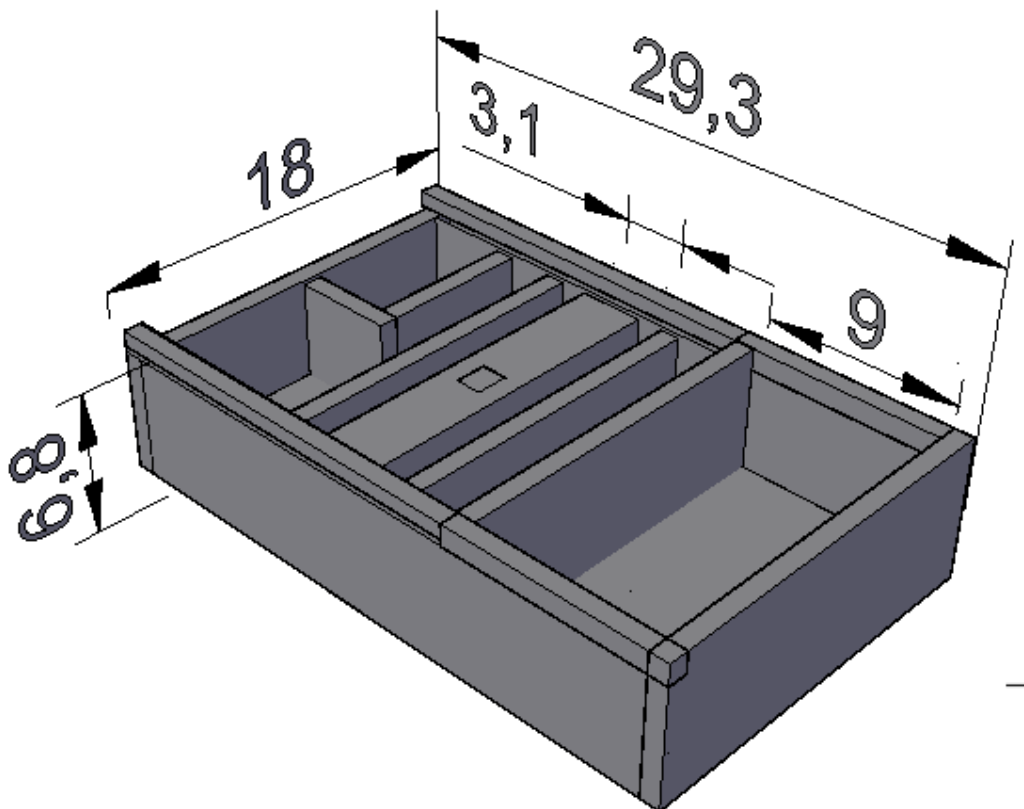
valores, em intervalos de 1 em 1 minuto, das leituras do LDR com os LED's apagados.

4 PROTÓTIPO

4.1 MODELO ESTRUTURAL

A estrutura do protótipo foi construída em formato de caixa com várias divisórias. Todo feito em madeira MDF sendo que na divisória onde se localizava sua parte eletrônica, era totalmente exposta para coleta dos dados e manuseio do Arduino UNO. E o restante do projeto foi construído com uma tampa removível de tal forma a poder manusear a cubeta para as medições sem interferência do meio externo (figura 20).

Figura 20: Estrutura do protótipo



Fonte: Elaboração própria, 2017.

4.2 VALORES COMERCIAIS

Um dos pontos principais da ideia é o desenvolvimento de um protótipo portátil capaz de obter resultados aceitáveis, assim como um custo menor em comparação aos equipamentos de bancadas dos laboratórios que já possuem

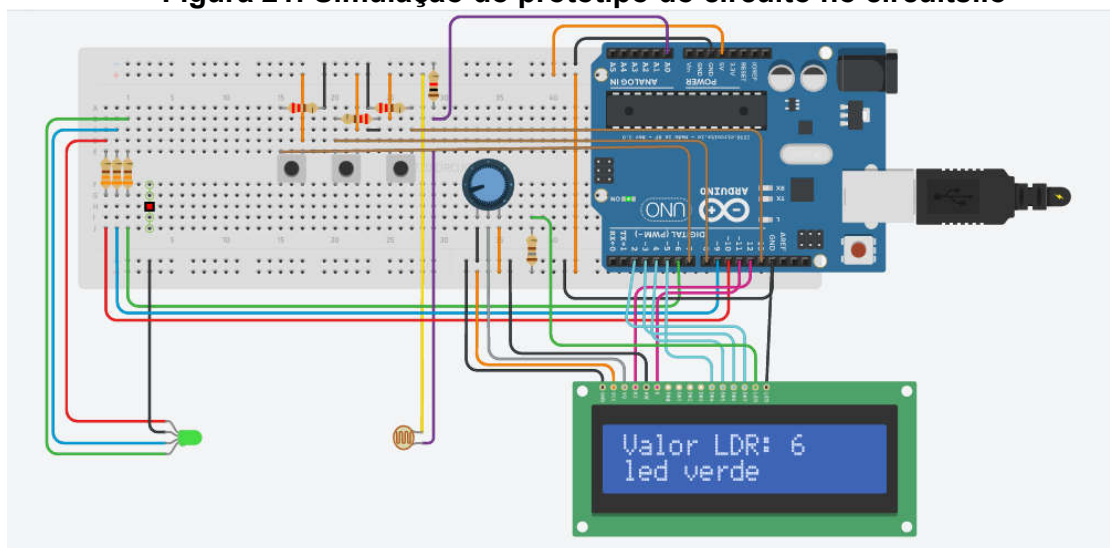
no mercado, em virtude dos mesmos possuírem um valor elevado como citado em Skoog (2002), entre outros autores,

o cientista interessado em medidas de absorção molecular nas regiões ultravioleta, visível e infravermelho próximo tem uma centena ou mais tipos e modelos de instrumentos para escolher. Alguns são simples e baratos (algumas centenas de dólares); outros são dispositivos computadorizados e complexos, custando US\$30 mil ou mais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Buscando analisar as amostras com diferentes espectros de emissão, o protótipo foi alterado na parte elétrica. O sistema foi modificado do princípio inicial que consistia somente em um único LED verde emitindo o espectro, para um sistema que adota o LED RGB como fonte de emissão e botões para controle dos espectros, como mostrado na figura 21.

Figura 21: Simulação do protótipo do circuito no circuits.io



Fonte: www.circuits.io, 2017.

Com essa modificação foram feitos os testes com a amostra 03 do Cromo Hexavalente obtendo os seguintes dados de leitura com as cores vermelha, verde e azul, emitidas pelo LED RGB, mostrados nas tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 1: Leituras das concentrações do Cromo Hexavalente utilizando o LED RGB com espectro de emissão vermelho

Tabela com a amostra 03 do Cromo Hexavalente utilizando LED vermelho (RGB)											
Concentração (mg/L)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	Branco
Leitura 01	632	629	628	627	626	624	626	626	626	624	635
Leitura 02	632	629	628	627	626	624	626	626	626	624	635
Leitura 03	632	629	628	627	626	624	626	626	625	624	634
Leitura 04	631	629	628	627	626	624	626	626	625	624	634
Leitura 05	631	629	628	626	625	624	626	625	625	623	634
Leitura 06	631	629	628	626	625	624	626	625	625	623	633
Leitura 07	631	629	627	626	625	624	626	625	625	623	633
Leitura 08	631	629	627	626	625	624	626	625	625	623	633
Leitura 09	631	629	627	626	625	624	626	625	625	623	633
Leitura 10	631	629	627	626	625	624	626	625	625	623	633
Leitura 11	630	629	627	626	625	624	625	625	624	623	633
Leitura 12	630	629	627	626	625	624	625	625	624	623	632
Leitura 13	629	629	627	626	625	624	625	625	624	623	632
Leitura 14	629	629	627	626	625	624	625	625	624	623	632
Leitura 15	629	629	627	626	625	624	625	625	624	623	632
Média	630,67	629,00	627,40	626,27	625,27	624,00	625,67	625,27	624,80	623,27	633,20

Fonte: Elaboração própria, 2017.

Tabela 2: Leituras das concentrações do Cromo Hexavalente utilizando o LED RGB com espectro de emissão verde

Tabela com a amostra 03 do Cromo Hexavalente utilizando LED verde (RGB)											
Concentração (mg/L)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	Branco
Leitura 01	589	580	572	566	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 02	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 03	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 04	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 05	589	580	572	565	558	549	542	536	528	521	599
Leitura 06	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 07	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 08	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 09	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 10	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	598
Leitura 11	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 12	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 13	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 14	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Leitura 15	589	580	572	565	558	550	542	536	528	521	599
Média	589,00	580,00	572,00	565,07	558,00	549,93	542,00	536,00	528,00	521,00	598,93

Fonte: Elaboração própria, 2017.

Tabela 3: Leituras das concentrações do Cromo Hexavalente utilizando o LED RGB com espectro de emissão azul

Tabela com a amostra 03 do Cromo Hexavalente utilizando LED azul (RGB)											
Concentração (mg/L)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	Branco
Leitura 01	572	566	563	560	558	550	551	549	544	543	575
Leitura 02	571	566	563	560	557	550	551	549	544	543	575
Leitura 03	571	566	562	559	557	550	550	549	544	543	575
Leitura 04	571	566	562	559	557	550	550	548	544	542	575
Leitura 05	570	566	562	559	557	550	550	548	544	542	575
Leitura 06	570	566	562	559	557	550	550	548	544	542	575
Leitura 07	570	566	562	559	557	550	550	548	544	542	575
Leitura 08	570	566	562	559	557	550	550	548	544	542	575
Leitura 09	570	566	562	559	557	550	550	548	544	542	575
Leitura 10	570	566	562	559	557	550	550	548	544	542	575
Leitura 11	570	566	562	559	556	550	550	548	544	542	575
Leitura 12	570	565	562	559	557	550	550	548	544	542	575
Leitura 13	570	565	562	559	557	550	550	548	544	542	575
Leitura 14	570	565	562	559	557	550	550	548	544	542	575
Leitura 15	570	565	562	559	557	550	550	548	544	542	575
Média	570,33	565,73	562,13	559,13	557,00	550,00	550,13	548,20	544,00	542,20	575,00

Fonte: Elaboração própria, 2017.

Segundo PEREIRA, et al (2013),

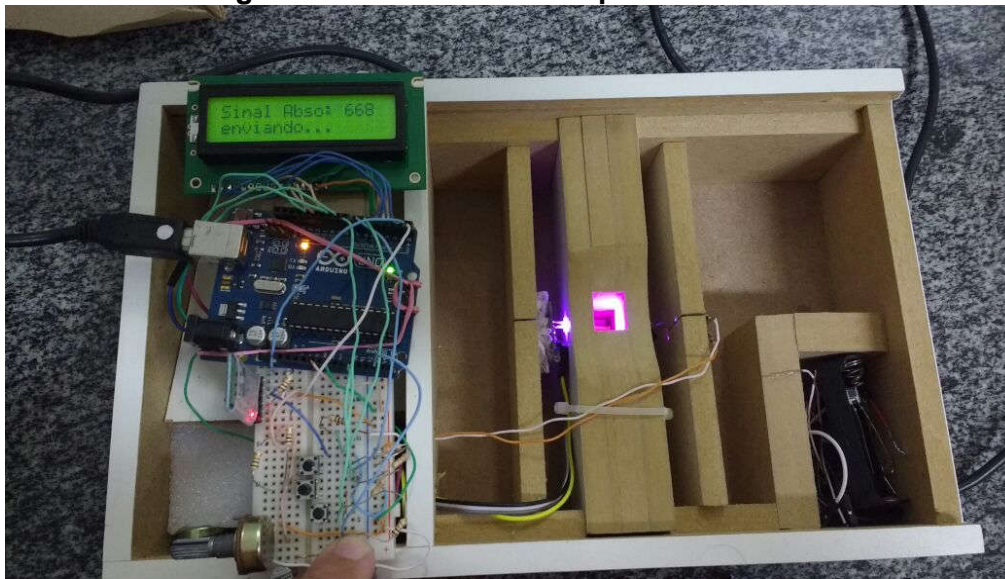
Instrumentos analíticos portáteis são importantes em vários aspectos em atividades da indústria e humanas. Podem ser utilizados em diferentes áreas incluindo análises ambientais para verificação da poluição do ar, em indústria alimentos, em análises clínicas. Geralmente muitas amostras nestes setores mudam rapidamente suas propriedades. Desta forma, instrumentos analíticos portáteis possibilitam aplicação em análise "*in situ*", onde as amostras podem ser analisadas quase simultaneamente ao tempo de coleta.

Ele ainda considera que, os resultados "*in situ*" são de grande importância para obtenção dos dados das amostras, obtidos em tempo real e diretamente no ambiente, onde os instrumentos portáteis facilitam essa análise "*in situ*", tendo em vista que possuem sensibilidade aceitável, rapidez e facilidade de operação, e desta forma tornando possíveis algumas análises que necessitam laboratórios sofisticados e utilização pessoas altamente qualificadas desnecessárias.

No decorrer do estudo o protótipo foi melhorado para que fosse possível além do envio dos dados por bluetooth com apenas um comando dado no

sistema, também controlar a intensidade luminosa através da variação de resistências conectadas em serie a cada terminal do LED do RGB individualmente, por potenciômetros. Na figura 22, demonstra o sistema real em pleno funcionamento.

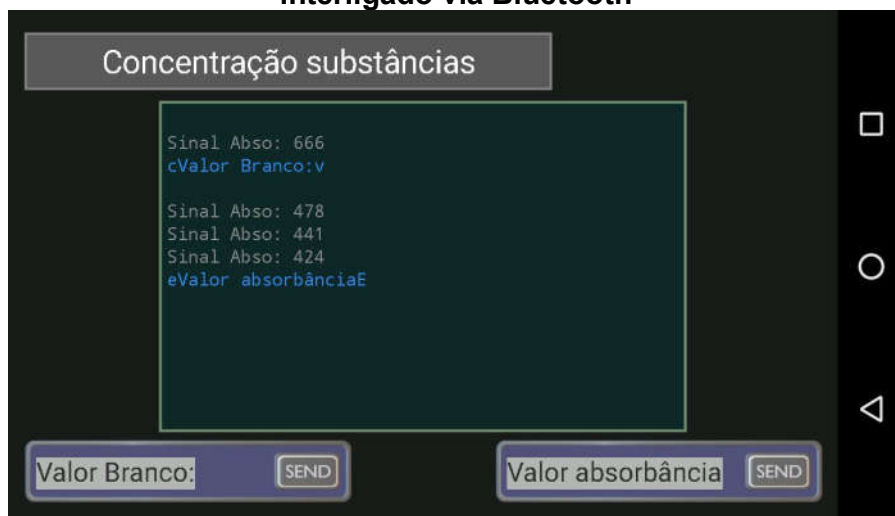
Figura 22: Sistema real em pleno funcionamento



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Na figura 23 é possível perceber a eficácia do sistema enviando em tempo real, a partir de um comando no protótipo, o sinal coletado pelo próprio para um dispositivo Android, utilizando o aplicativo *BlueTooth Electronics*, conectado ao mesmo via Bluetooth.

Figura 23: Obtenção dos dados do protótipo pelo dispositivo Android interligado via Bluetooth



Fonte: Elaboração própria, 2017.

A figura 23 também ilustra nas suas medições, o sinal das absorbâncias medido de diferentes concentrações como também a absorbância do branco, crucial para o cálculo da concentração das substâncias.

Com o modelo ilustrado na figura 18 foram feitos os testes com as amostras 01 e 02 de cromo hexavalente, com o LED verde monocromático, obtendo uma média de 4 medições de cada concentração. Os resultados foram expressos nas tabelas 4 e 5 respectivamente. Já na tabela 6, expressa os dados onde se obtiveram leituras com os diferentes espectros do LED RGB, ligados individualmente, para média dos máximos e mínimos valores de concentração.

Tabela 4: Leitura das concentrações da amostra 01 do Cromo Hexavalente

Tabela com a amostra 01 do Cromo Hexavalente utilizando LED verde											
Concentração (mg/L)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	Branco
Leitura 01	564	554	544	534	525	517	509	499	484	485	581
Leitura 02	564	554	544	533	524	517	509	500	484	486	582
Leitura 03	563	555	544	534	525	517	509	499	485	486	581
Leitura 04	563	554	544	534	525	517	509	500	484	485	581
Média	563,50	554,25	544,00	533,75	524,75	517,00	509,00	499,50	484,25	485,50	581,25

Fonte: Elaboração própria, 2017.

Tabela 5: Leitura das concentrações da amostra 02 do Cromo Hexavalente

Tabela com a amostra 02 do Cromo Hexavalente utilizando LED verde											
Concentração (mg/L)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	Branco
Leitura 01	563	553	543	534	524	516	506	498	492	485	577
Leitura 02	562	553	542	533	525	516	508	498	492	485	577
Leitura 03	563	552	543	534	524	516	506	499	492	485	577
Leitura 04	562	553	544	533	525	515	507	499	492	485	577
Média	562,50	552,75	543,00	533,50	524,50	515,75	506,75	498,50	492,00	485,00	577,00

Fonte: Elaboração própria, 2017.

Tabela 6: Leitura dos valores obtidos de máximos e mínimas concentrações.

Leituras do LDR com os LED's com/sem cubeta de Quartzo							
LED	Verde		Vermelho		Azul		LED's desligados
Condição	sem cubeta	com cubeta	sem cubeta	com cubeta	sem cubeta	com cubeta	com/sem cubeta
Leitura 01	558	559	583	599	541	536	0
Leitura 02	558	559	583	598	541	536	0
Leitura 03	558	559	583	598	541	536	0
Leitura 04	558	559	583	598	541	536	0
Leitura 05	558	559	583	598	541	536	0
Leitura 06	558	559	583	598	541	536	0
Leitura 07	558	559	583	598	541	535	0
Leitura 08	558	559	583	598	541	535	0
Leitura 09	558	559	583	598	541	536	0
Leitura 10	558	559	583	597	541	535	0
Leitura 11	558	559	583	597	541	535	0
Leitura 12	558	559	583	598	541	535	0
Leitura 13	558	559	583	597	541	535	0
Leitura 14	558	559	583	597	541	535	0
Leitura 15	558	559	583	597	541	535	0
Média	558,0000	559,0000	583,0000	597,7333	541,0000	535,4667	0,0000

Fonte: Elaboração própria, 2017.

Com os valores colhidos dos sinais pelo Arduino UNO, através do LDR, variando somente os LED's e conservando as variáveis do sistema constantes, foram feitos o processamento dos dados, mostrados nas tabelas anteriores de cada LED, e obtendo-se os seguintes valores de transmitância e absorbância, mostrados na tabela 7.

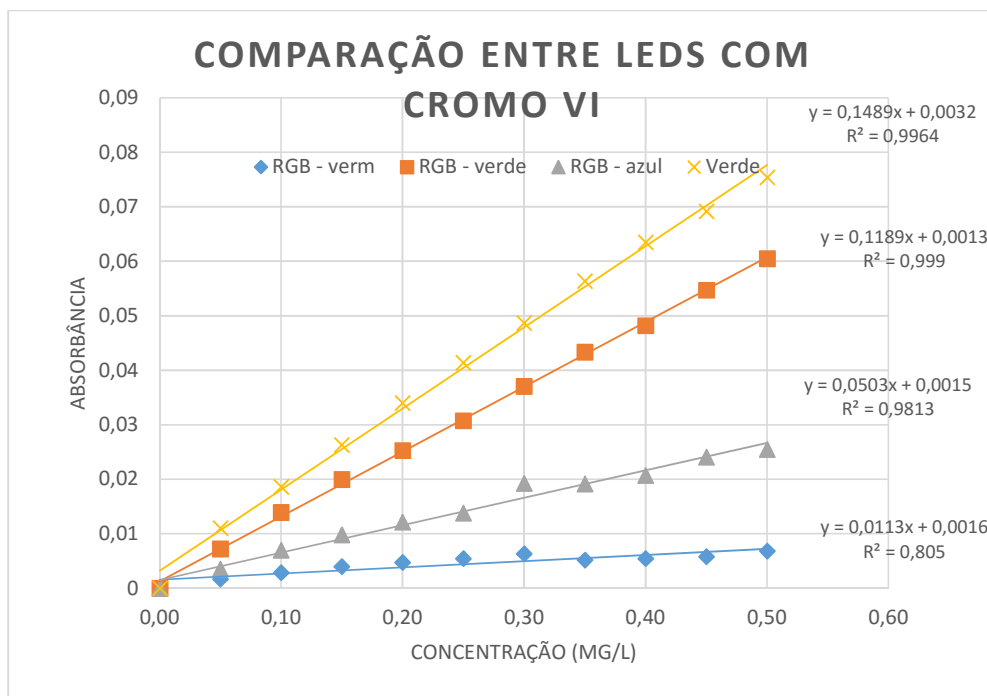
Tabela 7: processamento dos sinais colhidos nos testes com o cromo VI

Conc	Sinal				S/S0 = transmitância = T				A = - log(T) = absorbância				540 nm
	RGB - verm	RGB - verde	RGB - azul	Verde	RGB - verm	RGB - verde	RGB - azul	Verde	RGB - verm	RGB - verde	RGB - azul	Verde	
0,00	633,20	598,93	575,00	577,0	1,00	1,00	1,00	1,00	0	0	0	0	0,000
0,05	630,67	589,00	570,33	562,5	1,00	0,98	0,99	0,97	0,001741	0,007263189	0,00353909	0,0110533	0,030
0,10	629,00	580,00	565,73	552,8	0,99	0,97	0,98	0,96	0,00289	0,013950491	0,007056076	0,0186471	0,065
0,15	627,40	572,00	562,13	543,0	0,99	0,96	0,98	0,94	0,003996	0,019982455	0,009828506	0,026376	0,108
0,20	626,27	565,07	559,13	533,5	0,99	0,94	0,97	0,92	0,004782	0,025278795	0,012152461	0,0340414	0,145
0,25	625,27	558,00	557,00	524,5	0,99	0,93	0,97	0,91	0,005476	0,030744285	0,01381265	0,0414303	0,173
0,30	624,00	549,93	550,00	515,8	0,99	0,92	0,96	0,89	0,006356	0,03706844	0,019305155	0,0487366	0,212
0,35	625,67	542,00	550,13	506,8	0,99	0,90	0,96	0,88	0,005198	0,043379198	0,019199884	0,0563821	0,253
0,40	625,27	536,00	548,20	498,5	0,99	0,89	0,95	0,86	0,005476	0,048213695	0,020728813	0,0635107	0,291
0,45	624,80	528,00	544,00	492,0	0,99	0,88	0,95	0,85	0,0058	0,054744562	0,024068945	0,0692107	0,319
0,50	623,27	521,00	542,20	485,0	0,98	0,87	0,94	0,84	0,006867	0,060540761	0,025508331	0,0754341	0,354

Fonte: Elaboração própria, 2017.

Ainda na tabela 7, a última coluna descreve os valores de absorbância tomados como referência, obtidos no aparelho espectrofotômetro de UV-Visível Thermo Fisher Scientific®. No gráfico 1, as curvas de respostas dos sinais transformados em absorbância, são demonstradas entre os diferentes LED's usados e nele é possível ver que os LED's de cor verde, seja ele um LED monocromático ou verde do LED RGB, apresentou uma melhor sensibilidade, confirmando ser a cor complementar para análise do cromo (VI) pelo método da difenilcabazida.

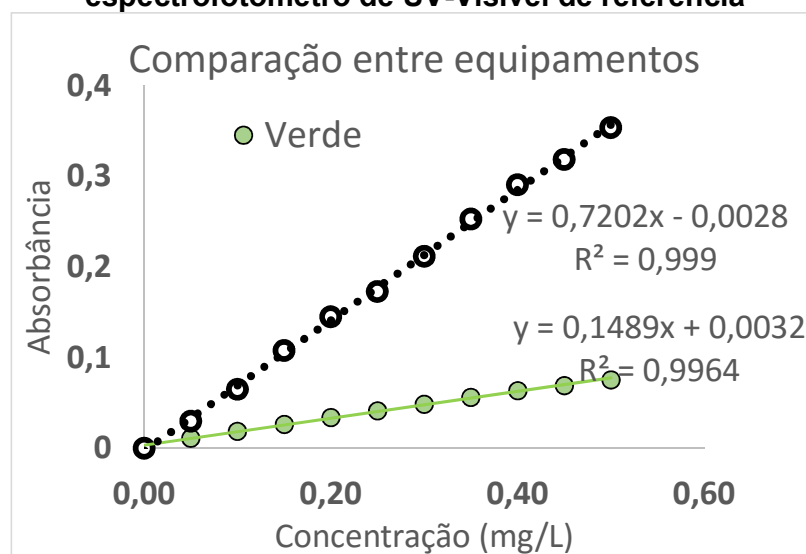
Gráfico 1: Curvas analíticas gerada pelas respostas do LDR para diferentes LED's



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Com maior coeficiente angular, o LED de coloração verde de única cor apresentou o melhor resultado de sensibilidade entre os LED's utilizados na pesquisa. Assim sendo, para comparação, o Gráfico 2 demonstra os valores do espectrofotômetro UV-Visível, tomado como referência na pesquisa e os valores obtidos utilizando o LED verde.

Gráfico 2: Comparativo entre o LED com melhor sensibilidade e o espectrofotômetro de UV-Visível de referência



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Após a realização de todos os ajustes no protótipo, foi realizado o levantamento dos componentes utilizados, como também uma cotação de preços. Percebendo que embora o equipamento tivesse uma sensibilidade reduzida em relação ao equipamento padrão, tomado como base, o mesmo apresentou resultados bastantes satisfatórios devido a obter leituras coerentes e ter um baixo custo associado ao mesmo, sendo possível constatar na tabela 8.

Tabela 8: Relação de preços dos componentes do protótipo

Lista de material protótipo de um espectrofotômetro de baixo custo	
Componente	Valor
Arduino UNO original	68,90
LED RGB anodo comum (4 pinos)	1,49
LDR	7,00
Shield bluetooth	57,80
Display LCD 16x2	39,89
Potenciômetro 5kΩ	15,00
Resistor 1kΩ	1,00
Resistor 330Ω	2,00
Puch button	1,00
Total(R\$)	194,08

Fonte: Elaboração própria, 2017

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pela observação dos aspectos analisados é possível perceber que o protótipo foi possível de ser desenvolvido com êxito, como também foi possível analisar o Cromo Hexavalente, apresentando um bom resultado nos testes.

Também identificou-se que o LED que obteve o melhor desempenho nos testes, foi o LED verde monocromático, sendo o mesmo comparado com a curva do espectrofotômetro de UV-Visível Thermo Fisher Scientific® identificando a sensibilidade do aparelho desenvolvido com o aparelho disponível no mercado, sendo então diagnosticado que esse protótipo é possível de determinar concentrações de substâncias fora dos laboratórios com uma sensibilidade menor.

A utilização de componentes de baixo custo para construção do protótipo, como também a comunicação com um smartphone via wireless por meio do Bluetooth inserido no mesmo, para envio das concentrações das substâncias analisadas em tempo real, torna o aparelho desenvolvido uma fonte de estudo para aprimoramento desse método.

Dado o exposto, deve-se deixar claro que o trabalho realizado, envolve as áreas da engenharia química e engenharia elétrica para desenvolver uma tecnologia que supra as necessidades de análise de concentração de substâncias fora dos laboratórios. Assim sendo, ainda serão realizados estudos no aparelho proposto, variando parâmetros como a fonte de emissão de luz, o tipo de detector, o recipiente onde é depositada a amostra e até mesmo a forma de medição.

REFERÊNCIAS

Ambientais relacionados ao Tratamento de Superfície com Cromatos. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, ano 3, Edição Especial, maio. 2008. Disponível em: <<http://www.unifoa.edu.br/pesquisa/caderno/especiais/pos-graduacao/01/48.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21 ed. Washington: APHA, 2005, 937p.

Arduino. 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

Blog Fazedores. 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://blog.fazedores.com/sensor-ldr-com-arduino/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

Blog Filipe Flop. 2017. 2 fotografias, color. Disponível em: <<http://blog.filipeflop.com/display/controlando-um-lcd-16x2-com-arduino.html>>. Acesso em: 13 mai 2017.

C2O.PRO. 2017. 2 fotografias, color. Disponível em: <<http://www.c2o.pro.br/hackaguas/apj.html>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

CHEIS, D. **Os danos que o Cromo Hexavalente pode causar à saúde.** Revista TAE online. [on line]. São Paulo, ed 16. Ano III, 2013. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/noticialnt.asp?id=6928>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

Circuits.io. 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <<https://circuits.io/circuits/4520361-the-unnamed-circuit/edit>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

Eletrônica didática. 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.eletronicadidatica.com.br/protoboard.html>>. Acesso em: 13 mai 2017.

FEITOZA, S. **Espectrofotometria.** EBAH, 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAiFkAE/espectrofotometria?part=2>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

GARRIDO, E. L. **Concepção e certificação de nova geração de candeeiros de iluminação pública.** 2010. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page1196.htm>. Acesso em: 13 fev. 2017.

KLEIN, C; AGNE, S. A. A. **Fósforo: de nutriente à poluente!**. REGET/UFSM, 2012. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170). v(8), nº 8, p. 1713-1721, SET-DEZ, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/6430/pdf>>. Acesso em: 13 maio 2017.

LDR, Bóson Treinamento em Tecnologias. 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/curso-de-eletronica-o-que-e-um-ldr-light-dependent-resistor/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

LED RGB, Bóson Treinamento em Tecnologias. 2017. 2 fotografias, colors. Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/curso-de-eletronica-como-funciona-um-led-rgb/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

LED RGB. **Anodo Comum e Catodo Comum** - In Como fazer as coisas, 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <http://www.comofazerascosas.com.br/posts/arquivos/posts/241/leds_rgb_esquema.jpg>. Acesso em: 03 abr. 2017.

Ligação elétrica do Shield Bluetooth ao Arduino UNO – In limawill wordpress.com. 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <<https://limawill.wordpress.com/2013/06/27/modulo-bluetooth-jy-mcu/>>. Acesso em: 03 mai. 2017.

MARCOLAN, L.; BOUROTTE, C.; BERTOLO, R. **Estratificação das concentrações de cromo hexavalente nas águas subterrâneas do aquífero adamantina, município de urânia, sp, brasil**. 2008. 20f. Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<file:///C:/Users/erion/Downloads/23697-85924-1-PB.pdf>>. Acesso em: 16 mai 2017.

MENDES, Marcus Fabiano de Almeida. **Espectrofotometria**, UFRGS. 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/leo/site_espec/conceito.html>. Acesso em: 13 fev. 2017.

Osram, As cores de luzes de LED. Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/noticias-e-conhecimento/pagina-de-led/conhecimento-profissional/principios-basicos-do-led/cores-da-luz/index.jsp>. Acesso em: 13 fev. 2017.

PEREIRA, N. R. et al. **Aplicações do elsholz led fotosensor em análises de água**. 2013. UEMG, Minas Gerais.

SANTOS, R. P. **Física Ondas - Cores não são o que você pensa!**. In Física Interessante. 8 Mar. 2016. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.fisica-interessante.com/fisica-ondas-cores.html>>. Acesso em: 03 de abr. 2017.

SANTOS, L. R. **Espectrofotometria** – Infoescola, 2017. 2 fotografias, color. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/quimica/espectrofotometria/>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

SANTOS, D. M. LED - **Diodo Emissor de Luz** – Infoescola, 2017. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/electronica/led-diodo-emissor-de-luz/>>. Acesso em: 14 fev. 2017.

SILVA, E.; FRANÇA, L. P.; NASCIMENTO, M. M. G. S.; ZOPELARO, R. M.; CHAVES NETO, O.; SOARES, R. A. R.; GENESTRA, M. S.. **Proposta à Prevenção de Riscos**

SIQUEIRA, Wallace Vilas Boas. **O Microcontrolador Arduino como uma Central de Monitoramento de Consumo de Energia Elétrica**. 2014. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, 2014.

SKOOG, A. D.; HOLLER, F.; NIEMAN, A. T. **Princípios de Análise Instrumental**. 5. ed. Traduzido por CARACELLI, I.; ISOLANI, P. C.; SANTOS, R. H. A.; FRANCISCO, R. H. P. São Paulo: Bookman, 2002. 849 p.

SpectraSchool, Rsc. Disponível em: <<http://www.rsc.org/learn-chemistry/collections/spectroscopy/introduction>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

TODA MATÉRIA. **Eletromagnetismo**, 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/eletromagnetismo/>>. Acesso em: 13 mai 2017.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e aplicações**. Fortaleza: Editora Erica, 2011. 216 p. 1 fotografia, preto e branco. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/19265740/sensores_industriais__fundamentos_e_aplicacoes_>. Acesso em: 01 mai. 2017.