



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 21 – Ano XI – 05/2022
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

ITINERÁRIO FORMATIVO EM CIÊNCIAS DA NATUREZA - RELATO DE CASO: A CONSTRUÇÃO, CONFIABILIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM OXÍMETRO COM SISTEMA ARDUINO

Prof. Dr. João Roberto de Souza Silva
Psicólogo / Pedagogo
Mestre em Distúrbios do Desenvolvimento
Doutor em Educação, Arte e História da Cultura
Universidade Presbiteriana Mackenzie – UPM – Brasil
Pós –Doutor em Educação: Psicologia da Educação
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC-SP – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3399115118635753>
E-mail: joaorssil@yahoo.com.br

Manuela Gregorin Fagundes
Mel de Nicola Muraca
Victória Amaral Fontes
Alunas do itinerário de Ciências da Natureza da 1º série do Ensino Médio
Colégio Visconde de Porto Seguro - Morumbi

Bruno Xavier do Valle
Bacharel e Licenciatura em Química
Mestre em Ensino de Ciências
Universidade de São Paulo – USP - Brasil

Ricardo Kandi Horauti
Licenciatura em Física
Universidade de São Paulo – USP - Brasil

Tiago Naves Brigido
Bacharel e Licenciatura em Ciências Biológicas
Universidade de Santo Amaro – UNISA – Brasil
Tecnólogo em Bioenergia
Faculdade Orígenes Lessa – FACOL - Brasil

Resumo: Por meio do itinerário formativo em Ciências da Natureza (CN) do Novo Ensino Médio, o qual pressupõe quatro eixos formativos: investigação científica, processos criativos, mediação e intervenção sociocultural e empreendedorismo, três alunas de 1ª série do Ensino Médio, sob a orientação dos professores de CN (Biologia, Física e Química), motivadas pela importância do monitoramento dos níveis de oxigenação de pacientes com COVID-19 construíram e testaram a confiabilidade e viabilidade econômica de um oxímetro com sistema Arduino. Este relato de caso registra como se desenvolveu todo um trabalho criativo de pesquisa e investigação científica com os conceitos das três disciplinas de CN, em um ambiente genuinamente interdisciplinar e com as alunas como protagonistas do processo de ensino e aprendizagem. Os dados estatísticos apresentados indicam que o equipamento se mostrou uma alternativa plausível para a determinação de frequência cardíaca e saturação de hemoglobina em relação aos equipamentos comerciais e portáteis de farmácia.

Palavras-chaves: Ensino Médio; Itinerário Formativo; Ciências da Natureza.

1. Introdução

A Lei nº 13.415/2017 alterou a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional e institui a Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral, ampliando o tempo que o aluno ficará na escola, que antes era de 800 horas para 1.000 horas anuais até 2022 e tornando mais flexível a organização curricular, que contemple uma Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2017).

O cronograma de implantação do Novo Ensino Médio entrou em vigor em 2022, para os alunos da 1ª série, sendo que a carga horária total ao longo dos três anos passará de 2.400 horas para 3.000 horas. Importante ressaltar que das 3000h da BNCC, 1800h são compostas pela Formação Geral Básica (FGB) e as outras 1.200 horas para os itinerários formativos (BRASIL, 2017).

As escolas devem oferecer pelo menos duas opções de escolhas dos itinerários formativos para os alunos, sendo elas:

- Linguagens e suas Tecnologias
- Matemática e suas Tecnologias
- Ciências da Natureza e suas Tecnologias
- Humanas e sociais aplicadas
- Formação técnica e profissional

Importante ressaltar que os itinerários formativos são a parte flexível do currículo que permitirá aos estudantes aprofundar os conhecimentos em uma ou mais áreas de seu interesse e devem contemplar os processos criativos, a investigação científica, mediação e intervenção sociocultural e empreendedorismo.

Assim, o presente artigo visa por meio de um relato de caso descrever a construção, confiabilidade e viabilidade econômica de um oxímetro com sistema Arduino, trabalho feito por alunos da 1ª série no itinerário formativo de Ciências da Natureza.

2. Método

Com intuito de relatar o trabalho feito pelos alunos dentro do itinerário formativo de CN no Novo Ensino Médio, optou-se pelo relato de caso. De acordo com Yoshida (2007), o relato de caso é um dos tipos mais comuns de apresentação em congressos ou publicação em revistas. Embora não seja considerado uma fonte científica de alto nível de evidência, é uma importante fonte de informação.

Ainda segundo o autor na descrição do caso, a sequência deve ser cronológica, organizada, com detalhes suficientes para que o leitor estabeleça sua interpretação, eliminando dados supérfluos. É importante, também, que os autores estabeleçam uma relação temporal e causal com a situação relatada.

3. Relato de caso

Este trabalho foi realizado em 2020, em um colégio particular da cidade de São Paulo, de classe média alta, localizado na zona oeste da cidade. Importante ressaltar que este trabalho foi feito por três alunas da 1ª série do Ensino Médio, ou

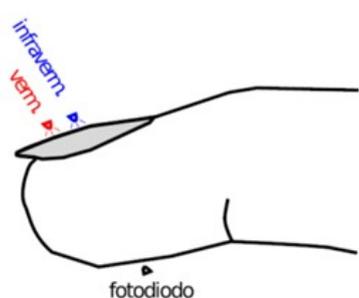
seja, com idade entre 14 e 15 anos sob a orientação dos professores das disciplinas de Biologia, Física e Química em um ambiente interdisciplinar e com o uso de metodologias ativas de ensino e aprendizagem.

A pesquisa nasce a partir do interesse dos estudantes frente a pandemia da COVID-19 e motivadas pela importância do monitoramento dos níveis de oxigenação de pacientes com COVID-19 construíram e testaram a confiabilidade e viabilidade econômica de um oxímetro com sistema Arduino.

3.1 O oxímetro

Segundo CHAN (2013) o oxímetro é um dispositivo não-invasivo que mensura a saturação de oxigênio (SpO_2) na hemoglobina presente no sangue arterial a partir de dois LED's que emitem feixes de luz, um com comprimento de onda de 660nm no espectro da luz vermelha e outro de 910nm na área do infravermelho.

Essa medição, ainda segundo ao autor, usa como base a espectrometria, fazendo uso da Lei de Lambert-Beer, de acordo com a diferença de absorção de luz da Hb e da HbO_2 ao se aplicar os dois feixes de luz para atravessar algum dos dedos da mão ou o lóbulo da orelha, sendo lido após esse processo em um fotodiodo que fica posicionado na outra extremidade (figura 1).



Fonte: SANTANA, S.H.C, 2017

Figura 1: Elementos básicos de um oxímetro de pulso

O sangue “rico” em oxigênio, com alta concentração de HbO_2 , absorve mais intensamente a luz infravermelha e menos a luz vermelha, enquanto o sangue com pouco oxigênio, com maior concentração de hemoglobina, absorve mais a luz vermelha e menos a infravermelha. Portanto, no primeiro caso haverá uma maior intensidade de luz vermelha atravessando o dedo sob análise, enquanto que no

segundo a luz infravermelha chegará ao receptor com maior intensidade (CHAN, 2013)

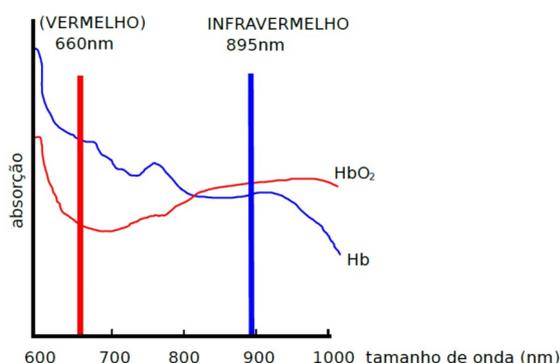


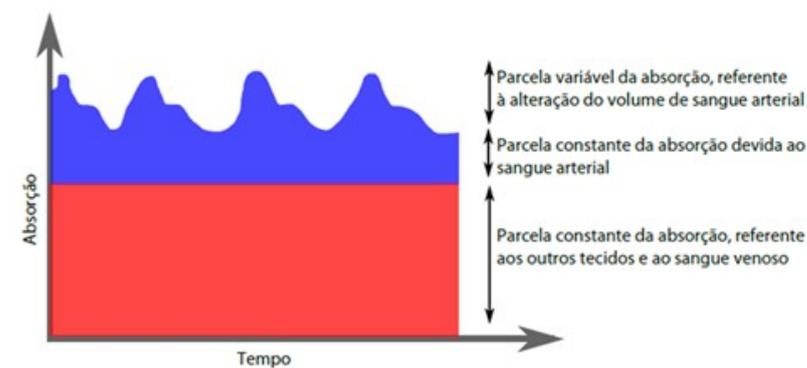
Figura 2 - Gráfico de absorbância de Hb e HbO₂ em função do comprimento de onda (SANTANA, S.H.C., 2017).

A luz emitida pelos LEDs interage com os tecidos, nos quais estão presentes o sangue arterial (rico em O₂) e o sangue venoso (deficiente em O₂), que, como dito anteriormente, absorvem uma parcela da luz emitida, dado que a cada batimento cardíaco o sangue alcança a máxima dilatação dos vasos sanguíneos, o que propicia uma maior absorção de luz. Por esse motivo, é possível observar picos e vales de na leitura de absorção de luz (figura 3). Logo, a periodicidade dos picos indica a frequência cardíaca do paciente naquele momento (SANTANA, 2017).

É a partir desses picos e vales, segundo Kendrick (2008), que são extraídas as informações de batimento cardíaco e oxigenação do sangue arterial, sendo que a última se mede a partir da razão:

$$SPO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb}$$

Onde os valores obtidos são precisos para SpO₂ com valores entre 80% e 100%, podendo ter uma margem de erro de 2% para limites inferiores ou superiores.



Fonte: SANTANA, S.H.C., 2017

Figura 3: Gráfico da absorção de luz na leitura de um oxímetro de pulso

Webster (2009) defende a utilização dos oxímetros de pulso em unidades de tratamento intensivo (UTI's), procedimentos cirúrgicos e monitoramento diário por conta de seu método não-invasivo, dessa forma não causa dores ou desconfortos no paciente, além do fato do oxímetro fornecer dados contínuos e instantâneos.

Ainda sobre a medição da SpO_2 é importante salientar que alguns cuidados devem ser tomados para que não haja interferências durante o processo, como a interferência de luz de alguma fonte externa, a utilização de esmalte (principalmente cores escuras) ou unhas postiças que pode atrapalhar tanto em relação a absorção de luz quanto com a redução da superfície de contato, a presença de ondas eletromagnéticas e há algumas condições médicas que podem causar alterações como a vasoconstrição (contração dos vasos sanguíneos) e a hipotermia (baixa temperatura corporal) (CHAN, 2013).

3.2 Arduino

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, projetada com um microcontrolador Atmel AVR com suporte de entrada/saída embutida, ela possui uma linguagem de programação padrão, que se originou a partir da linguagem Wiring, e é essencialmente C/C++. (SOUZA, *et.al.* 2011).

Quando criado o objetivo a princípio era de desenvolver um dispositivo que fosse tanto barato quanto funcional e que tivesse um baixo nível de dificuldade para se programar. A intenção era de ser voltado para um público de estudantes e

projetistas amadores, para que pudessem criar dispositivos eletrônicos que reagissem fisicamente à medida que fossem estimulados e que, ao mesmo tempo, fosse acessível a um público não especialista. O propósito era criar uma plataforma, onde qualquer pessoa pudesse elaborar um projeto interativo, sem precisar necessariamente ter noções muito avançadas acerca de engenharia e física, ou seja, qualquer indivíduo com disposição teria a capacidade de ser um criador de tecnologia, independentemente da idade ou especialidade, apenas enaltecendo a criatividade (SOUZA, *et.al.* 2011).

3.2 A construção do oxímetro com sistema Arduino pelas alunas

Primeiramente, foram feitos dos protótipos com sistema e montagens idênticos, porém com apresentações externas distintas.

Na primeira opção (Figura 4), o oxímetro foi colocado dentro de uma caixa de madeira (material reutilizado), de dimensões de 20cm x 15cm x 15cm, com a decoração focada para crianças, ao passo que, dessa maneira este exame não será algo assustador para os menores.

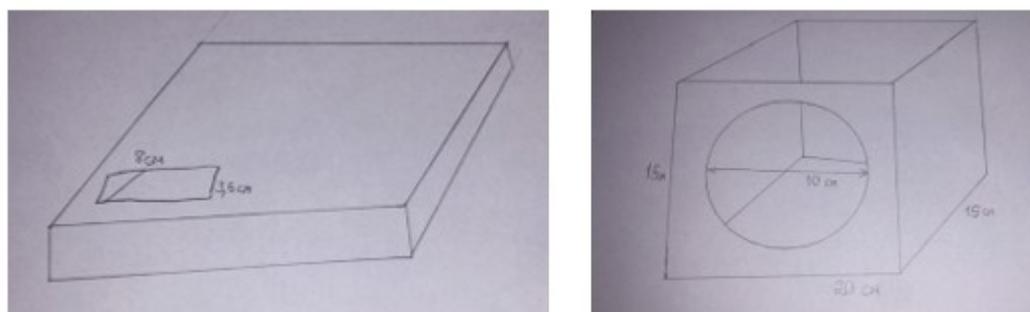


Figura 4: Desenho dos esboços da caixa

Em seu interior ficará o sensor e o mecanismo de funcionamento, como as placas e fios, já na tampa o resultado da medição será exibido. O display LCD será encaixado na tampa a partir de um corte de 8 cm x 3,5 cm, conforme suas dimensões, pois nele o resultado será exibido em forma de porcentagem. Além disso, LEDs decorativos exibirão o resultado em forma visual, o qual planejamos para que se o produto final for normal (entre 95% e 100%) a luz verde será acesa, caso seja intermediário (entre 90% e 94%) a luz amarela e se for negativo (abaixo de 90%) a luz vermelha.

De acordo com uma pesquisa do Departamento de Saúde, Educação e Bem-Estar dos Estados Unidos da América a mão de uma criança de 6 a 11 anos mede

Revista Vozes dos Vales – UFVJM – MG – Brasil – Nº 21 – Ano XI – 05/2022
Reg.: 120.2.095-2011 – UFVJM – QUALIS/CAPES – LATINDEX – ISSN: 2238-6424 – www.ufvjm.edu.br/vozes

de 5 a 7 cm. Sendo assim, em uma lateral da caixa, assim será feito um buraco com diâmetro de 10 cm para que os pacientes infantis utilizem sem problemas. Além disso, para que a iluminação do ambiente não interfira na medição do aparelho o corte será rodeado de EVA.

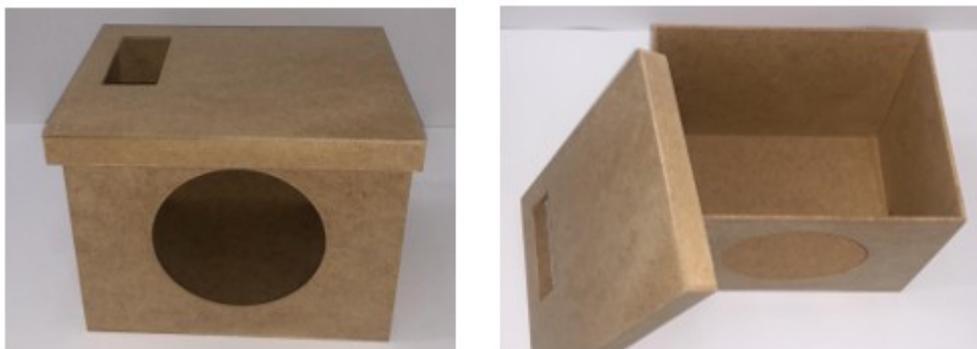


Figura 5: Layout 1 (caixa de madeira)

No segundo, foi utilizada uma caixa branca de plástico reutilizada, de dimensões 11 x 11 x 6 cm. Tal montagem se mostrou mais compacta, portanto com melhores condições de armazenagem e portabilidade, conforme apresentada nas figuras abaixo.



Figura 6: Layout 2 (caixa de plástico)

3.3 Custos

Os custos para a aquisição das peças para o oxímetro em sistema Arduino estão compilados abaixo. (Tabela 1). Não foram considerados os custos da caixa suporte, pois a mesma foi reaproveitada. Também não foram monetizados o tempo de execução e personalização da caixa suporte.

Tabela 1: Custos das peças para o oxímetro em sistema Arduino

| Item | Quantidade (unidades) | Custo unitário (R\$) | Custo total do item (R\$) |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Placa Arduino UNO R3 | 1 | 50,00 | 50,00 |
| Display LCD com módulo I2C | 1 | 30,00 | 30,00 |
| Sensor oxímetro MAX30100 | 1 | 40,00 | 40,00 |
| Cabos Jumper macho-macho | 7 | 0,37 | 2,59 |
| Cabos Jumper macho-fêmea | 9 | 0,37 | 3,33 |
| Protoboard 400 | 1 | 15,00 | 15,00 |
| Resistor 10k | 1 | 0,30 | 0,30 |
| Suporte de pilha | 1 | 5,00 | 5,00 |
| Pilha 9V | 1 | 12,49 | 12,49 |

Fonte: Dados do pesquisador

O oxímetro comercial de farmácia custa R\$ 184,90.

3.4 Procedimentos experimentais

Os dados foram coletados por uma das integrantes do grupo, de maneira individual e em sua residência, em função dos protocolos sanitários e preventivos estabelecidos pelas autoridades competentes e exigidos pela escola, com o intuito de preservar a saúde de todos os envolvidos. Todas as medidas foram feitas com a participante em boas condições de saúde, sem nenhum sintoma de gripe ou alguma síndrome respiratória e após repouso prolongado. Os dois tipos de oxímetro exigem um certo tempo de espera para a estabilização dos números apresentados no visor, justamente para que haja sincronia entre os emissores e receptores de luz, balizado pelo valor dos BPMs da pessoa testada. Um pré-teste foi feito com o objetivo de se perceber quanto tempo seria necessário para esta estabilização. Basicamente, os valores se estabilizam entre 5 e 8 segundos após a colocação do dedo no equipamento. Definiu-se que os dados seriam considerados 10s após à colocação do dedo no local adequado.

Todos os ensaios foram feitos em triplicata (3 pontos) e de maneira simultânea com o oxímetro comercial, para que houvesse um controle e um parâmetro de comparação. Os dados foram submetidos a uma média aritmética com seus respectivos Desvios Padrão (DESVPAD), para a percepção da dispersão dos

pontos e, portanto, da avaliação da precisão dos mesmos. O DESVPAD se calcula de acordo com a equação a seguir:

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_A)^2}{n}}$$

Basicamente, essa equação determina o módulo das variações dos pontos específicos em relação à média dos pontos.

O oxímetro comercial de farmácia foi adquirido em uma rede de drogarias de grande porte. Da marca *Multilaser*,[®] modelo HC 261, indica nominalmente que os seus erros de medidas são de ± 1 BPM e de $\pm 2\%$ na saturação de SpO₂. No manual do usuário não são apresentadas informações dos comprimentos de onda emitidos para as aferições, nem na região do espectro visível, nem na região do infravermelho.

A seguir, apresenta-se os 3 testes propostos e suas respectivas descrições procedimentais:

3.4.1. Teste 1: a influência dos dedos

Este teste visava checar se há diferenças estatisticamente relevantes nos resultados quando são utilizados dedos diferentes para as aferições. Habitualmente, se utiliza o dedo indicador para tais medidas, porém surgiram os questionamentos sobre a necessidade de ser sempre o dedo indicador, além da possibilidade de avaliar a consistência do oxímetro com programação Arduino em comparação ao oxímetro comercial, algo que poderia ser maximizado com a variação do dedo utilizado. Ou seja, teríamos 15 pontos medidos em vez dos 3 de apenas um único dedo. Desta forma, foram testados os 5 dedos da mesma mão, de uma mesma pessoa.

3.4.2. Teste 2: a influência da luminosidade

Os dados foram coletados seguindo os procedimentos gerais e sempre utilizando o mesmo dedo (indicador direito). Os testes de “luz acesa” ocorreram em ambiente bem iluminado artificialmente por lâmpadas brancas de tonalidade natural, sem nenhum tipo de sombra ou obstrução sobre os sensores dos equipamentos. Os testes “luz acesa” foram feitos no período da noite e antecederam os testes de “luz apagada”, justamente para que não houvesse nenhum tipo de interferência nos resultados, visto que um grande intervalo de tempo entre as medidas enfraqueceria

a comparação. Os testes de “luz apagada” ocorreram com todas as fontes de luzes do ambiente desligadas e com um pano preto envolvendo o dedo e o sensor. Os testes de “flash” foram realizados com luzes acesas e com pulsos intensos de luz, que partiram de um flash de máquina fotográfica profissional, o qual foi programado para pulsar numa frequência de 1Hz (1 pulso por segundo). Tal equipo estava cerca de 1 metro de distância do sensor.

3.4.3. Teste 3: a influência do esmalte de unha

Os dados foram coletados seguindo os procedimentos gerais e sempre utilizando dedos equivalentes das duas mãos. As medidas “sem esmalte” foram feitas simultaneamente com os dois oxímetros, bem como as medidas “com esmalte” de forma idêntica. Foi utilizado um esmalte de unha de cor vermelha, de tonalidade intermediária e aberta, da marca “*Colorama®*” e denominado “*Vermelho Ivete*”, disponível em lojas de cosméticos.

4. Resultados e Discussão

4.1. Teste 1: A relação entre os dedos

Relacionando o oxímetro comercial vendido em farmácias com o oxímetro programado em plataforma Arduino, foi examinado se havia uma possível alteração de valores de saturação e batimentos cardíacos quanto ao dedo em que se mede a oximetria. Os dados compilados encontram-se tabulados a seguir:

Tabela 2 – Dados de BPM e SpO2 aferidos no dedo polegar nos dois tipos de oxímetro.

| Polegar | | | | |
|-----------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO2 | DESVPAD SpO2 |
| Farmácia | 83 | 4 | 96 | 1 |
| Arduino | 80 | 1 | 96 | 1 |

Fonte: Dados do pesquisador

Tabela 3 – Dados de BPM e SpO2 aferidos no dedo indicador nos dois tipos de oxímetro.

| Indicador | | | | |
|------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO2 | DESVPAD SpO2 |
| Farmácia | 74 | 4 | 97 | 1 |
| Arduino | 74 | 5 | 96 | 0 |

Fonte: Dados do pesquisador

Tabela 4 – Dados de BPM e SpO2 aferidos no dedo médio nos dois tipos de oxímetro.

| Médio | | | | |
|-----------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO2 | DESVPAD SpO2 |
| Farmácia | 76 | 2 | 96 | 1 |
| Arduino | 76 | 2 | 95 | 0 |

Fonte: Dados do pesquisador

Tabela 5 – Dados de BPM e SpO2 aferidos no dedo anelar nos dois tipos de oxímetro.

| Anelar | | | | |
|-----------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO2 | DESVPAD SpO2 |
| Farmácia | 78 | 3 | 98 | 1 |
| Arduino | 78 | 2 | 98 | 1 |

Fonte: Dados do pesquisador

Tabela 6 – Dados de BPM e SpO₂ aferidos no dedo mínimo nos dois tipos de oxímetro.

| Mínimo | | | | |
|-----------------|------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO₂ | DESVPAD SpO₂ |
| Farmácia | 78 | 10 | 95 | 1 |
| Arduino | 78 | 12 | 95 | 1 |

Fonte: Dados do pesquisador

Assim, verifica-se que dentre todos os dedos, o mínimo foi o único que apresentou alguma alteração de padrão nos dados. Embora não haja uma alteração entre as médias, os desvios padrão (DESVPAD) das medidas de BPM se mostraram mais elevados (MÉDIA DESVPAD [dedo mínimo] = 11) em relação às medidas dos outros dedos (MÉDIA DESVPAD [outros dedos] = 2,8). Isso indica uma menor precisão das medidas, maximizando a chance de erros de medidas para medições únicas, maneira como se utiliza tal dispositivo quando necessário. Essa menor precisão na média dos BPMs do dedo mínimo, possivelmente, comprometeria os dados de SpO₂ dos dois dispositivos (Arduino e oxímetro comercial). Apesar do dado registrado se mostrar dentro de uma faixa compatível com o que se espera para uma pessoa saudável, sabe-se que a frequência de captura dos dados para SpO₂ é vinculada ao BPM, assim a confiabilidade dos dados para SpO₂ pode ter sido comprometida.

Os dados menos precisos referentes ao dedo mínimo podem ser explicados pela menor espessura dele, o que diminui o caminho óptico das ondas eletromagnéticas dentro dos tecidos. O sensor trabalha com a variação entre a intensidade de luz emitida e aquela que o alcança, admitindo que a diferença é a luz que fora absorvida pelas estruturas da oxi-hemoglobina (HbO₂) e hemoglobina (Hb). Outro parâmetro importante, é o fato do ramo da artéria palmar digital comum que abastece o dedo mínimo é a mais fina dentre todos os dedos, o que confere ao mesmo um menor fluxo sanguíneo (ALVES, *et.al*, 2016.)

4.2. Teste 2: A influência da luminosidade

A partir da análise de apenas um dedo (indicador) com as luzes acesas, apagadas e com flash. Os dados compilados encontram-se tabulados a seguir.

Tabela 7 – Dados de BPM e SpO₂ aferidos em diferentes condições de luminosidade.

| Teste 2 | | | | | |
|---------|----------|-----------|-------------|------------------------|--------------------------|
| Apagada | Farmácia | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO ₂ | DESVPAD SpO ₂ |
| | | 73 | 9 | 96 | 2 |
| Apagada | Arduino | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO ₂ | DESVPAD SpO ₂ |
| | | 74 | 6 | 95 | 0 |
| Acesa | Farmácia | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO ₂ | DESVPAD SpO ₂ |
| | | 79 | 7 | 96 | 1 |
| Acesa | Arduino | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO ₂ | DESVPAD SpO ₂ |
| | | 80 | 4 | 96 | 1 |
| Flash | Farmácia | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO ₂ | DESVPAD SpO ₂ |
| | | 81 | 2 | 99 | 1 |
| Flash | Arduino | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO ₂ | DESVPAD SpO ₂ |
| | | 76 | 1 | 95 | 1 |

Fonte: Dados do pesquisador

Percebe-se que com a luz apagada não há mudança considerável entre as médias de BPM (farmácia = 73 ± 9 ; Arduino 74 ± 6) e SpO₂ (farmácia 96 ± 2 ; Arduino 95 ± 0), já que os valores das médias são próximos e encontram-se dentro do desvio padrão, demonstrando consistência. Quando se analisa com a “luz acesa”, percebe-se um aumento nos valores de BPM em comparação com a “luz apagada”, porém tanto as médias, quanto os DESVPAD se mostraram compatíveis e estatisticamente idênticos (farmácia 79 ± 7 ; Arduino 80 ± 4). Em relação aos dados de saturação de O₂ (SpO₂), em ambos os casos houve alta precisão e compatibilidade estatística (farmácia 96 ± 1 ; Arduino 96 ± 1). No entanto, houve aumento na dispersão dos pontos (DESVPADs maiores) nos testes de “luz apagada” e “luz acesa” em relação aos valores do teste 1, realizado com o dedo indicador. Não foi possível identificar uma razão plausível para tal.

Diante do flash pulsante, observam-se discrepâncias não desprezíveis. As médias de BPM não foram sobreponíveis (farmácia 81 ± 2 ; Arduino 76 ± 1). Possivelmente, a perda de consistência dos BPMs ocorreu por um provável descompasso dos pulsos entre a emissão das lâmpadas e da luz proveniente do

flash. Além disso, a grande intensidade da luz do flash pode ter feito o sensor capturar mais luz do que sua calibração prevê. Outra evidência de que houve prejuízo na consistência e confiabilidade dos dados na presença do flash pulsante encontra-se nas medidas de saturação (SpO_2), visto que os dados não são estatisticamente idênticos (farmácia 99 ± 1 ; Arduino 95 ± 1), diferentemente do padrão apresentado nas outras condições.

O valor de saturação do oxímetro comercial de farmácia (99 ± 1), discrepante dos valores aferidos consistentemente, é um indício de que houve problemas instrumentais na coleta dos valores. Todos os testes foram feitos em São Paulo, a uma altitude média de 760m e, portanto, com uma pressão parcial de O_2 cerca de 10% menor do que haveria ao nível do mar. O padrão médio e ideal de saturação das hemoglobinas é de 98%, ao nível do mar. Em maiores altitudes a tendência é haja um pequeno deslocamento para baixo, pois a saturação é diretamente proporcional à pressão parcial do gás oxigênio. Assim, o valor de SpO_2 em (99 ± 1) é improvável e não deve ser considerado válido.

4.3. Teste 3: A influência do esmalte de unha

Os resultados abaixo foram obtidos utilizando dedos equivalentes das duas mãos (indicador), de modo que em uma das mãos havia esmalte vermelho e no outro dedo nenhum produto sobre a unha. A análise dos dados deste teste 3 indicam alterações estatisticamente significativas na comparação dos valores aferidos para o oxímetro de farmácia quando o dedo continha a unha pintada com esmalte vermelho em relação a todos os outros valores.

Tabela 8: Valores de SpO_2 e BPM

| Esmalte | | Teste 3 | | | |
|-------------|----------|-----------|-------------|---------------|-----------------|
| Sem esmalte | Farmácia | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO_2 | DESVPAD SpO_2 |
| | | 79 | 1 | 97 | 1 |
| | Arduino | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO_2 | DESVPAD SpO_2 |
| | | 79 | 1 | 96 | 1 |
| Com esmalte | Farmácia | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO_2 | DESVPAD SpO_2 |
| | | 87 | 4 | 94 | 4 |
| | Arduino | Média BPM | DESVPAD BPM | Média SpO_2 | DESVPAD SpO_2 |
| | | 76 | 2 | 95 | 2 |

Fonte: Dados do pesquisador

Registra-se a perda de consistência nos valores de BPM para o oxímetro de farmácia, visto que ele apresentou média igual a (79 ± 1) no dedo sem esmalte e (87 ± 4) no dedo com esmalte, logo números estatisticamente diferentes. Quando se compara os dados do oxímetro com sistema Arduino aferidos no dedo sem esmalte (79 ± 1) em relação ao dedo com esmalte (76 ± 2) percebe-se dados estatisticamente idênticos, o que indica que para este tipo de esmalte, com a respectiva tonalidade utilizada, não gerou problemas de consistência ou confiabilidade. Os motivos dessas diferenças são difíceis de serem definidos ou explicados, pois: i) não se sabe o espectro de absorção de luz específico deste esmalte; ii) não se sabe a intensidade luminosa das emissões de luz vermelha, nem da frequência infravermelha dos dois tipos de oxímetro. Possíveis discrepâncias neste parâmetro podem ser suficientes para se determinar corretamente os dados no sistema Arduino e de forma conturbada no oxímetro de farmácia.

Estes resultados já eram esperados, visto que o esmalte de cor vermelha tende a espalhar a luz vermelha de volta à lâmpada emissora, além da superfície lisa que o produto gera sobre a unha aumentar a refletividade de luz de qualquer comprimento de onda. Além disso, a película vermelha gerada pelo esmalte tende a prejudicar o sincronismo existente entre o sensor receptor e o emissor de luz. O aumento no DESVPAD das medidas do SpO₂ no teste com oxímetro de farmácia com o indicador com esmalte corrobora tal explicação.

A comparação dos dados entre os dois dispositivos mostrou uma boa correlação, uma vez que:

- No teste 1, houve correlação estatística quando se utilizaram os dedos “polegar”, “indicador”, “médio” e “anelar”. Houve discrepâncias entre os dispositivos apenas quando o dedo “mínimo” foi utilizado. Isso significa que é possível realizar a oximetria com segurança, sem a obrigatoriedade de se aferir no dedo indicador.
- No teste 2, evidencia-se que a luminosidade do ambiente não interfere significativamente nas medidas, exceto em circunstância específica e improvável de ambiente com pulsos intensos e ritmados de luz (flash ou luz estroboscópica).

- No teste 3, os dados indicam que o uso de esmaltes pode sim interferir nos resultados aferidos. Essa interferência foi percebida no oxímetro comercial de farmácia, entretanto isso não necessariamente significa que o oxímetro com sistema Arduino passe ileso em relação a essa condição, visto que seria importante maximizar os testes para diferentes tipos de esmaltes, com diferentes cores e acabamentos para que se obtenha algo mais robusto e significativo.

Os testes realizados possuem suas limitações, porém são suficientes para indicar certa consistência e confiabilidade para o oxímetro com sistema Arduino, visto que os seus resultados foram comparáveis com o oxímetro comercial de farmácia, o qual passa pelo aval de agências regulatórias como a ANVISA, além do padrão de qualidade das corporações que os fabricam.

Em um dos testes (teste 4 - esmalte), o oxímetro com sistema Arduino se mostrou mais confiável que o seu equivalente de farmácia. Sobre a precisão, em apenas 1 dos 11 testes considerados válidos (estatisticamente comparáveis – o teste do dedo mínimo foi descartado) tiveram um DESVPAD maior para o oxímetro com sistema Arduino. Extrapolando para condições reais de uso, na qual a medida é feita uma única vez, ter maior precisão é crucial para que o resultado seja o mais próximo possível da realidade fisiológica do organismo do paciente. Por fim, ressalta-se que o custo das peças no varejo foi próximo ao custo do equipamento comercial de farmácia.

5. Considerações Finais

Diante do momento histórico da pandemia do COVID-19, mesmo com as aulas online, os alunos desenvolveram sob supervisão dos professores a construção, confiabilidade e viabilidade econômica de um oxímetro com sistema Arduino, cujos objetivos pedagógicos foram:

- Entender o que significa uma pandemia e suas consequências;
- Estudar, entender e aplicar o método científico;

- Perceber a importância de se discutir assuntos com base nas ideias e argumentos, evitando o senso comum, a assimilação e propagação de informações falsas;
- Compreender o princípio de funcionamento do oxímetro de pulso;
- Aprender conceitos científicos específicos de temas fundamentais para o contexto (espectroscopia, espectro eletromagnético, hematose, estrutura dos vírus, dogma da biologia molecular, respiração celular, estrutura de proteínas, complexos químicos, equilíbrio químico, sistema circulatório, metabolismo humano, pressão arterial, pressão parcial gasosa, a química dos surfactantes entre outros);
- Aprender conceitos de estatística (média, desvio padrão,) suas aplicações e limitações;
- Perceber a importância da viabilidade econômica, logística e temporal para a execução de uma ideia.

Desse modo, as alunas puderam desenvolver um trabalho criativo de pesquisa e investigação científica com os conceitos das três disciplinas de CN, em um ambiente genuinamente interdisciplinar, o qual no final do processo mostrou que os oxímetros com sistema Arduino se apresentaram como alternativa plausível para a determinação de frequência cardíaca e saturação de hemoglobina em relação aos equipamentos comerciais e portáteis de farmácia. Ressaltando que toda esta pesquisa foi realizada dentro do itinerário formativo em Ciências da Natureza no Novo Ensino Médio.

6. Referências

ALVES, A. M. M. *et al.* Oximetria de Pulso: Princípios de Funcionamento e Aplicações. **Revista Univap**, v.22, n.40, p.76-86, 2016.

BRASIL. Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017. Altera as Leis nos 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, e 11.494, de 20 de junho 2007, que regulamenta o Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação, a Consolidação das Leis do Trabalho CLT, aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1o de maio de 1943, e o Decreto-Lei no 236, de 28 de fevereiro de 1967; revoga a Lei no 11.161, de 5 de agosto de 2005; e institui a Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral. **Portal da Legislação**, Brasília, 2017.

CHAN *et al.* Pulse oximetry: Understanding its basics principles facilitates appreciation of its limitations. **Respiratory Medicine**, v. 107, n.1, p. 789-799, 2013.

KENDRICK, A. **The buyers' guide to respiratory care products**. Sheffield: Latimer Trend, 2008.

SANTANA, S. H. C., 2017. **Implementação de uma arquitetura microcontrolada para análise do contorno da curva fotoplestimográfica**. TCC apresentado à Faculdade de Engenharia da Computação da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2017.

SOUZA, A. R. *et.al.* A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1702-5, 2011.

YOSHIDA, W.B. Redação do relato de caso. **J. vasc. bras.** v.6, n.2, 2007.

WEBSTER, J.G. **Design of Pulse Oximeters**. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Wisconsin-Madison, 2009.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Publicado na Revista Vozes dos Vales - www.ufvjm.edu.br/vozes em: 05/2022

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524