

Utilizando monitoramento e atuação através de sistemas embarcados e móveis para a realização de experimentos em polarimetria

Everton F. Azevedo¹, Wellington W. F. Sarmiento¹

¹Instituto UFC Virtual – Universidade Federal do Ceará (UFC)
Av. Mister Hull, s/n – Pici – 60455-760 – Fortaleza – CE – Brasil

everton.azevedo95@gmail.com, wwagner@virtual.ufc.br

Abstract. *Scientific experimental learning is vital to the students of different ages to understand the world and its problems. Nowadays, this is a complex problem for teachers in underdeveloping countries because good laboratories are expensive and access to them is not universal. Another problem about scientific learning is in motivate students to learn the concepts behind the practices. How can teachers help these students pay more attention to their laboratory activities and apply their knowledge in the real world? One answer to this question is to use alternative ways as open hardware and software to create cheaper measuring instruments and different approaches to access them. The present paper has its primary objective to develop a didactic polarimeter of low cost and easy access for professors and students interested in Chemistry, Biology, and Optic Physics. The polarimeter's creation was used an open hardware platform called Arduino and the open-source software App Inventor to interface the user and the experiment. Finally, the evaluation of this work was done acceptance test with natural science teachers. The initial results were promising, showing a good functioning of the developed product and a good acceptance by the users.*

Resumo. *O aprendizado científico experimental é vital para que alunos de diferentes idades compreendam melhor o mundo e seus problemas. Hoje em dia, este é um problema complexo para professores em países subdesenvolvidos porque bons laboratórios são caros e o acesso a eles não é universal. Outro problema sobre o aprendizado científico é motivar os alunos a aprender os conceitos por trás das práticas. Como os professores podem ajudar esses alunos a prestar mais atenção em suas atividades de laboratório e aplicar seus conhecimentos no mundo real? Uma resposta a esta pergunta é usar formas alternativas como hardware e software abertos para criar instrumentos de medição mais baratos e diferentes abordagens para acessá-los. O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver um polarímetro didático de baixo custo e fácil acesso para professores e alunos interessados em Química, Biologia e Física Óptica. A criação do polarímetro utilizou uma plataforma de hardware aberta chamada Arduino e o software de código aberto App Inventor para fazer a interface entre o usuário e o experimento. Por fim, na avaliação deste trabalho foi feito teste de aceitação com professores de ciências naturais. Os resultados iniciais foram promissores, mostrando um bom funcionamento do produto desenvolvido e uma boa aceitação pelos usuários.*

1. INTRODUÇÃO

A experimentação dentro do ensino de ciências é fundamental para auxiliar estudantes e professores no processo de aprendizagem. Os equipamentos e experimentos tornam as experiências científicas mais concretas e facilitam o entendimento dos fenômenos naturais.

Sulzbach e Lüdke (2017) afirmam que devido à alta abstração de alguns conceitos, estes são constantemente deixados de lado, pode-se observar uma certa falta de empatia sobre o conteúdo abordado até por parte dos professores, resultando em dificuldades sérias para o aprendizado dos estudantes. Essas dificuldades podem ser associadas ao ensino tradicional, em que o estudante não tem participação ativa no processo de sua aprendizagem, tornando-se um agente passivo do método de ensino (Guimarães, 2009).

Completando este cenário, encontra-se mais um empecilho que dificulta o trabalho com equipamentos de experimentação: seu alto valor de aquisição que restringe quem pode ter acesso a esse tipo de vivência. A Tabela 1 mostra alguns fornecedores de equipamentos científicos e seus respectivos valores para um equipamento de experimentação chamado polarimetria. O valor médio encontrado é de R\$ 7.044,25.

Tabela 1. Modelos e valores de Polarímetro no mercado

Empresa	Modelo	Valor Unitário
3bscientific (2021)	Polarímetro rotacional	R\$ 12.161,00
Bunker (2021)	Nova WXG-4	R\$ 4.286,00
Loja NetLab (2021)	Polarímetro Circular	R\$ 6.630,00
Astro Shop (2021)	Novex Polarímetro 400	R\$ 5.100,00

Sulzbach e Lüdke (2017) apresentam que além de ser um campo de difícil ensino e compreensão, assuntos relacionados ao estudo do fenômeno da polarização da luz, contém conceitos bastante abstratos e com difícil acesso a atividades experimentais.

Em Oliveira (2016), pode-se observar que o estudo da polarimetria é importante em diversas aplicações. Nota-se, por exemplo, sua presença na indústria sucroalcooleira, para a determinação da qualidade de suco de cana de açúcar e na indústria farmacêutica, em que se verifica a pureza de alguns compostos. Com esses empregos, a necessidade do estudo de substâncias opticamente ativas torna-se evidente.

É neste contexto que se encontra o presente trabalho, onde se desenvolve um aparato experimental a fim de auxiliar alunos a trabalharem com conceitos de química e física através de uma abordagem mais prática e crítica, fazendo o uso de sistemas embarcados e dispositivos móveis.

O presente artigo está organizado da seguinte maneira: na primeira seção, apresentamos uma breve introdução ao assunto, a motivação do trabalho, o objetivo geral e objetivos específicos. Na seção dois, teremos uma noção base das principais partes que compõem o projeto, apresentando conceitos básicos de polarimetria e polarímetro; o que é o Arduino, como funciona, e exemplos de aplicações; o que é o App Inventor e como ele funciona. Para o fechamento desta seção são apresentados alguns trabalhos relacionados e suas diferenças em relação a solução. Na seção três é apresentada a metodologia empregada nos testes realizados neste trabalho, no desenvolvimento do polarímetro e do aplicativo. Na seção quatro é detalhado como ocorreu o desenvolvimento do instrumento polarímetro e do aplicativo e são apresentados os testes e resultados encontrados com o uso do polarímetro. E por fim, na seção cinco, é feita uma conclusão e são apresentadas propostas de trabalhos futuros.

1.1 OBJETIVO GERAL

Levando em consideração esse contexto acima apresentado, o presente trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de um polarímetro didático, de baixo custo e de fácil acesso para professores e estudantes interessados nesta área, com monitoramento e atuação feitos através de *Open hardware* e ferramentas *Open Source*.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- A. Desenvolver sistema embarcado utilizando o Arduino como base para as medições feitas no equipamento;
- B. Desenvolver aplicativo Android com App Inventor, para ser a interface entre o usuário e o polarímetro;
- C. Realizar teste de uso da solução proposta.
- D. Avaliar grau de satisfação dos usuários.

2. BASE TEÓRICA

A seguir, serão abordados alguns conceitos básicos e tecnologias utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho. Também serão abordados alguns trabalhos relacionados a esta proposta. As tecnologias utilizadas foram escolhidas devido às suas facilidades de implementação e comunidades que lhes dão apoio e suporte, fazendo com que aqueles com pouca experiência, seja iniciante e/ou leigo no desenvolvimento de artefatos digitais, sintam-se mais seguros em construir o experimento controlado através de Sistemas Embarcados e Sistemas Móveis.

2.1 Ambientes Maker

Em Raabe e Gomes (2018) observam que o movimento *Maker* é uma evolução do Faça Você Mesmo (em inglês, *Do-It-Yourself*), no qual os alunos se apropriam de ferramentas tecnológicas, por exemplo, as placas Arduino, para se tornarem mais um instrumento a incentivar um aprendizado a partir da criação e descoberta. Com o *Maker*, os estudantes tornam-se produtores, e não apenas consumidores.

O *Maker* está relacionado a aprendizagem prática, a qual o estudante é protagonista do processo de construção do seu conhecimento, sendo o autor da resolução dos problemas encontrados e do próprio contexto de aprendizagem (Raabe e Gomes, 2017), dessa forma é esperado que com o auxílio dos produtos a ser desenvolvido e através de experimentação com estes, seja possível tornar a vivência do aluno mais significativa, envolvendo-o em metodologias que fujam ou complementem as tradicionais.

2.2 Polarímetro

Em Souza (2017), define-se a luz como uma radiação eletromagnética dentro do intervalo em que são visíveis ao olho humano. A radiação eletromagnética são ondas transversais, que vibram numa direção ortogonal à direção de propagação, formadas por um campo elétrico oscilante e um campo magnético vibrando num plano perpendicular a este.

Algumas fontes de luz lançam o que é chamado de luz despolarizada, que consiste na radiação que ela emite vibrando em todos os planos de sua direção, simultaneamente. Pode-se obter então, luz polarizada através de dispositivos específicos, como um polarizador. O seu funcionamento se dá da seguinte maneira: um feixe de luz despolarizada, representado por ondas vibrando em todas as direções, atravessa um polarizador que tem seu eixo de polarização na vertical. Somente os feixes de luz vibrando em paralelo a esta direção vão passar pelo

polarizador, ficando assim polarizados na vertical (Souza, 2017). Na figura 1 pode-se ver como funciona a polarização da luz.

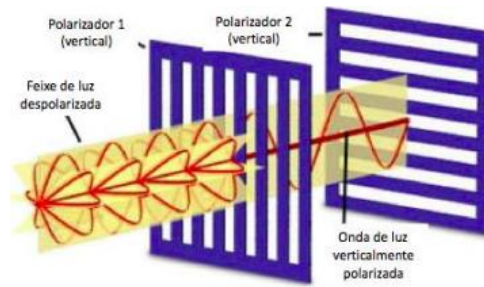


Figura 1. Modelo de polarização da luz. Fonte: Souza (2017)

Existem substâncias que são capazes de causar polarização na luz, tais substâncias recebem a classificação de opticamente ativas. O método polarimétrico trata-se de aplicar uma radiação já linearmente polarizada para incidir sobre uma substância opticamente ativa e então medir o ângulo resultante da rotação da luz que essa radiação sofreu após essa interação. Dessa forma consegue-se medir a rotação óptica de uma substância.

O valor dessa rotação está relacionado à concentração de moléculas de uma substância dentro de uma solução, por exemplo: em uma solução de água e açúcar, aplicando-se o método polarimétrico, é possível de saber a quantidade de sacarose presente na mistura a partir de rotação da luz resultante.

Existem vários tipos de instrumentos e métodos para medir a rotação óptica de substâncias, dependendo de sua aplicação, da exatidão requerida e do ângulo de rotação a ser medido.

Souza (2017) menciona que um polarímetro básico é composto por uma fonte de luz que incide através de um polarizador de entrada, um recipiente com uma amostra a ser medida, o polarizador de saída ou analisador, e um artefato de observação ou sistema de detecção. Na figura 2, é mostrado um exemplo de modelo de polarímetro.

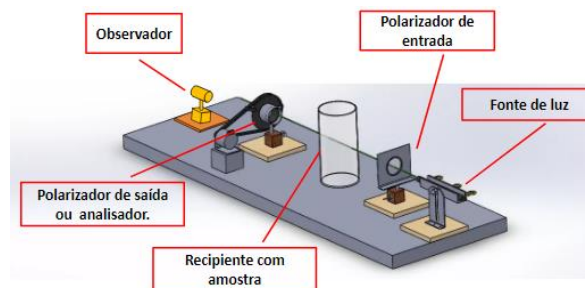


Figura 2. Modelo de Polarímetro. Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3 Utilizando o *hardware* Arduino para implementar um Sistema Embarcado.

Em Cunha (2007), define-se sistemas embarcados como resultado de colocar-se capacidade computacional dentro de um circuito integrado, equipamento ou sistema. Esse sistema é projetado para a realização de uma determinada tarefa, sendo ele completo e independente de outros recursos. Chase e Almeida (2007) completa o pensamento mostrando que um sistema é classificado como embarcado quando este é dedicado a uma única tarefa e interage continuamente com o ambiente a sua volta por meio de sensores e atuadores.

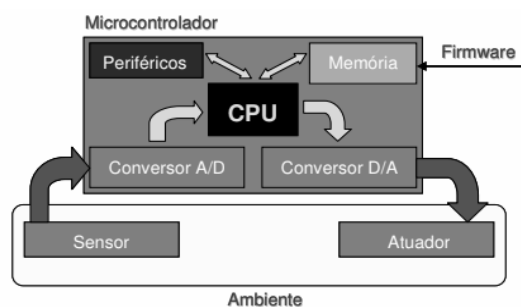


Figura 3. Modelo de Diagrama de um Sistema embarcado. Fonte Chase e Almeida (2007)

Todo sistema embarcado possui uma unidade de processamento, que pode ser um microcontrolador, e possui um software, que é classificado como *firmware*. Este *hardware* pode ser ou não independente de uma fonte de energia fixa, dependendo apenas da sua aplicação. Chase e Almeida (2007) mostram que os microcontroladores são pequenos sistemas computacionais bastante poderosos que englobam em um único chip: interfaces de entrada/saída digitais e analógicas, periféricos importantes como a memória RAM, memória Flash, interfaces de comunicação serial, conversores analógicos/digitais e temporizadores/contadores.

Sistemas embarcados estão se tornando cada vez mais comuns no nosso cotidiano. Pode-se encontrá-los dentro de eletrodomésticos, automóveis, computadores e dispositivos de comunicação e redes e em sistemas de aquisição de dados (Chase e Almeida, 2007). Um outro exemplo de dispositivo que se caracteriza por ser um sistema embarcado é o Arduino.

McRoberts (2011) define o Arduino, em termos práticos, como um pequeno computador que se pode programar para processar informações de entradas e saídas permitindo controle e monitoramento de outros dispositivos. Os componentes externos conectados a ele chamam-se de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de *hardware* e *software*. Banzi (2012) afirma que o Arduino é uma plataforma de computação física de fonte aberta, com base em uma placa simples de entrada/saída (*input/output*, ou I/O). A partir destas definições, é possível afirmar que o Arduino é uma proposta de *hardware* aberto que permite a criação de sistemas embarcados, possuindo um ambiente para desenvolvimento de *software* chamado Arduino Studio, uma linguagem de desenvolvimento baseada em C e um microcontrolador que faz o processamento de informações e a comunicação com dispositivos de I/O baseado em tecnologia de fabricante de processadores e microcontroladores.

O Arduino permite alterar seu projeto básico da forma que se desejar, sem pagar nada a mais por isso. Outra característica relevante deste sistema é que ele foi criado com um propósito educacional, o que facilita a sua utilização por iniciantes. Pode-se encontrar na internet muitos exemplos de trabalhos que utilizam o Arduino como ferramenta no processo de criação de projetos, como em Santana et al (2016), com o trabalho intitulado “Atividades Maker no Processo de Criação de Projetos por Estudantes do Ensino Básico para uma Feira de Ciências”, no qual os autores relatam a criação de projetos utilizando diferentes tecnologias, dentre elas o Arduino, e enfatizam uma atividade voltada a criação de artefatos a serem apresentados na feira de ciências de uma escola.

É possível utilizar o Arduino em diferentes aplicações, tal como, desenvolver objetos interativos, ou seja, que sejam capazes de interagir com pessoas ou os meios no qual estão inseridos, independentes ou associados a computadores, internet e *smartphones* (Banzi, 2012). Neste caso, o sistema pode ser utilizado para coletar informações através de sensores que se integram a ele e enviam essas informações a outros dispositivos. Na literatura pode-se

encontrar os mais diversos tipos de aplicações do Arduino, como no trabalho de Nascimento et al (2017), em que eles utilizam a plataforma no desenvolvimento de duas unidades didáticas em ciências naturais.

Existem diversas versões de Arduino disponíveis no mercado que podem ser usadas dependendo da necessidade e projeto na qual estão inseridas. Podem ser citadas, por exemplo, as versões Arduino Uno, Arduino Mega e Arduino Nano. O polarímetro que será desenvolvido terá como base o Arduino Uno V3, visto que ele é fácil de ser adquirido e possui documentação adequada para o desenvolvimento dos testes relacionados a este trabalho (Arduino.cc, 2020).

O Arduino Uno V3 é baseado no microcontrolador ATmega328P e possui 14 pinos de entrada/saída digitais 6 entradas analógicas, além de um ressonador de cerâmica de 16 MHz, conexão USB, conector de alimentação e botão de reinicialização, possui ainda tensão de saída de 3,3 volts e 5 volts e sua corrente de saída é de 40 miliampere. Para começar a usar este sistema, basta conectá-lo a um computador através de cabo USB¹ ou ligá-lo a um adaptador AC-DC² ou bateria, de 5 volts (Arduino.cc, 2020). Na figura 4 é mostrada uma foto de um Arduino Uno.

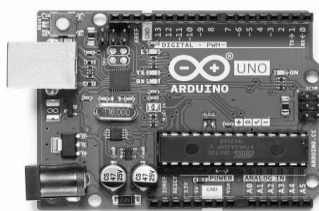


Figura 4. Arduino Uno. Fonte: Arduino.cc, 2020

2.4 Controlando o experimento usando um *smartphone* com o aplicativo *App Inventor*

Observa-se em Lopes e Pimenta (2017) que, mais precisamente *smartphone*, tem estado cada vez mais presente na vida das pessoas, sobretudo na dos jovens. Como um recurso facilitador de comunicação, interação social, estudo, pesquisa e trabalho, o seu uso tende a aumentar. O uso do *smartphone* de maneira positiva dentro de sala de aula depende em grande parte de seu manejo, ou seja, de como ele será usado em um contexto formal de educação. Sendo assim, seu uso como ferramenta de ensino trará ao estudante novas habilidades cognitivas através do contato com os recursos aplicativos e midiáticos que essa tecnologia pode oferecer (Lopes e Pimenta, 2017).

O *App Inventor* é um ambiente de programação visual *online* que possibilita a criação de aplicações para dispositivos móveis Android através de blocos de código, sem requerer, portanto, conhecimentos avançados em programação (Massachusetts Institute of Technology, 2020). Ele foi inicialmente desenvolvido pela Google e atualmente é mantido pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT). O *App Inventor* possibilita que recém-chegados à programação de computadores criem aplicações de *software* sem que tenham um conhecimento aprofundado de programação (Leôncio, 2017). Além disso, a plataforma possibilita, por exemplo, que os usuários criem aplicações que incorporam serviços baseados na *web*, interação com redes sociais, leitura de códigos de barras, geolocalização e Comunicação *Bluetooth* (Gomes e Melo, 2013).

Atualmente o ambiente conta com um número mensal de usuário em torno de 770 mil pessoas, em um total de 8,2 milhões de usuários cadastrados e está presente em mais de 190

¹ Universal Serial Bus

² Fonte de alimentação de corrente alternada para corrente contínua.

países, tendo sido a ferramenta utilizada para o desenvolvimento de mais 34 milhões de aplicativos (Massachusetts Institute of Technology, 2020).

Para o desenvolvimento no *App Inventor* trabalha-se em duas abas principais, denominadas *Designer* e *Blocks*. Na aba de *Designer* (ver Figura 5) é possível criar a interface do aplicativo. Para isto, utilizamos os elementos denominados *Components*. Os *Components*, disponíveis na área *Palette*, são arrastados para outra região do ambiente, denominada *Viewer*. Na aba *Blocks*, (ver Figura 6) por sua vez, é realizada a programação dos componentes. Em outras palavras, ela possibilita estabelecer o modo como os componentes incorporados ao aplicativo na aba *Designer* irão se comportar (Gomes e Melo, 2013).

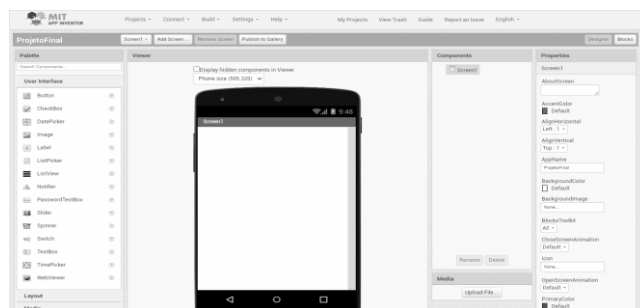


Figura 5. Aba *Designer* *App Inventor*. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 6. Aba *Blocks* *App Inventor*. Fonte: Elaborado pelo autor.

2.5 Trabalhos Relacionados

A seguir serão apresentados dois trabalhos relacionados a este. Eles foram selecionados a partir de busca feita em bibliotecas e repositórios *online*, como por exemplo o Google Escola e a plataforma Scielo, segundo algumas palavras chaves: Arduino, Polarímetro, Arduino AND Polarímetro, Arduino AND Ótica e Laboratório Física & Arduino, e com base em uma avaliação se estes artigos estão dentro do escopo deste trabalho, com a proposta de criação de software ou dispositivos físicos de experimentação no campo da polarimetria. A tabela 2 mostra informações gerais dos dois trabalhos escolhidos.

Tabela 2. Autores e trabalhos Relacionados.

Autores	Título	Ano
José Nunes da Silva Júnior, Francisco Geraldo Barbosa, Antonio José Melo Leite Junior	Polarímetro virtual: desenvolvimento, utilização e avaliação de um software educacional	2012
Ana Cristina Sulzbach, Everton Lüdke	O ensino de isomeria óptica por meio da utilização de um polarímetro didático	2017

O primeiro trabalho, cujo título é “Polarímetro virtual: desenvolvimento, utilização e avaliação de um *software* educacional” têm como objetivo principal o desenvolvimento de um software educacional que fosse simples, interativo e gratuito. O *software* tem como principal função auxiliar estudantes e professores na conceituação e cálculo da temática que envolve polarimetria.

O trabalho foi desenvolvido utilizando o Adobe Flash 13, no qual, segundo os autores, a plataforma foi escolhida devido a sua praticidade e eficiência no uso educacional com a possibilidade de geração de ferramentas multimídias para as mais diversas plataformas de *software* da época.

O recurso foi utilizado em turmas de graduação de 5 cursos diferentes, durante as aulas da disciplina de química orgânica. A validação do trabalho foi feita através de uma avaliação voluntária de 91 utilizadores, no qual se pôde levantar dados qualitativos e quantitativos do recurso. Todos os dados levantados indicaram a aceitabilidade da ferramenta educacional e a receptividade positiva dela por parte dos estudantes, mostrando o sucesso do trabalho.

A segunda obra, com o título “O ensino de isomeria óptica por meio da utilização de um polarímetro didático”, possui como objetivo principal de viabilizar o ensino de conceitos vinculados ao tema de isomeria óptica com a construção de materiais didáticos que favorecessem o ensino destes conceitos.

Com o auxílio do material didático produzido, os estudantes puderam compreender a natureza de substâncias opticamente ativas e suas implicações para a sociedade, possibilitando novas formas facilitadoras para o ensino de isomeria óptica. A hipótese levantada seria a de que a experimentação possui papel de fundamental importância no processo de construção do conhecimento, e tendo em vista a necessidade de materiais didáticos para que a experimentação seja viável no ensino de isomeria óptica, a pesquisa produziu a construção de um polarímetro didático (Sulzbach e Lüdke, 2015).

A validação do trabalho se deu por meio de um questionário respondido pelos alunos com perguntas objetivas e discursivas, em que essa se mostrou capaz de levantar dados para uma análise mais completa e abrangente, dando resultados mais conclusivos. Os resultados foram favoráveis quanto à potencialidade didática do projeto, com alunos relatando que suas experiências de maneira geral foram bem positivas.

O presente trabalho tem como diferencial dos mencionados acima três fatores principais: o primeiro é sua característica *open source* e *open hardware*, com todos os códigos e modelos de montagens sendo compartilhado com quem tiver interesse; o segundo ponto é o uso de sistemas embarcados para sua construção, tornando o projeto mais atual e fácil de ser requalificado, de acordo com as necessidades que venha a surgir; por último, o terceiro ponto é o uso de *smartphones* como interface entre o dispositivo e o utilizador, deixando o projeto mais acessível a quem possui pouco recurso tecnológico à disposição. A tabela 3 apresenta o resumo dos principais diferenciais do trabalho.

Tabela 3. Comparação de trabalhos Relacionados.

Trabalho	Recurso Digital	Dispositivo Físico	Uso de smartphone
Silva Júnior Et Al (2012)	✓	✗	✗
Ulzbach E Lüdke (2017)	✗	✓	✗
Trabalho Proposto	✓	✓	✓

3. METODOLOGIA

Em Gil (2002), define-se que pesquisas que tenham como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vista a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses, são classificadas como pesquisas exploratórias. Estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é flexível, considerando variados aspectos relativos ao fato estudado, no caso deste trabalho, o desenvolvimento de um polarímetro com o uso de sistemas embarcados e sistemas móveis.

Para a validação da pesquisa foi realizada a análise do dispositivo desenvolvido com um teste prático de seu funcionamento e posteriormente foi produzido um vídeo³ de apresentação do produto. Esse vídeo foi exibido a um grupo de 10 professores das áreas de física, química e ciências, do ensino médio e superior. Após sua exibição, foi solicitado que cada professor preenchesse uma pesquisa a respeito de suas impressões quanto ao produto desenvolvido. O vídeo e o questionário foram disponibilizados de maneira *online* para serem assistidos e respondidos individualmente. Isso se deu principalmente em razão do fato de que durante o período de teste do produto, a localidade no qual foi realizado o levantamento de dados estava no período de isolamento social rígido, medida essa que foi tomada como instrumento de controle da disseminação da doença COVID-19.

Para identificar o grau de satisfação dos usuários, o questionário foi constituído de 8 questões, onde uma questão era para determinar o nível de conhecimento do participante a respeito do Arduino, enquanto nas outras 7 questões foi utilizado uma escala de cinco pontos, baseada na *Likert*, no qual os valores iam de 1 ponto (discordo totalmente) até 5 pontos (concordo totalmente). Para analisar os itens assim como Bonici e Araújo (2011), o cálculo do *Ranking Médio* (RM) foi aplicado. Neste modelo atribui-se um valor de no mínimo 1 ponto e no máximo 5 pontos. É calculado então uma média ponderada para cada item, a partir da quantidade de vezes que ele foi escolhido. Assim, o cálculo do RM segue o procedimento mostrado na figura 7:

$$\begin{aligned} \text{Média Ponderada (MP)} &= \sum (fi \cdot Vi) \\ \text{Ranking Médio (RM)} &= \text{MP} / (\text{NS}) \\ fi &= \text{frequência observada de cada resposta para cada item} \\ Vi &= \text{valor de cada resposta} \\ \text{NS} &= n^{\circ} \text{ de sujeitos} \end{aligned}$$

Figura 7. Cálculo do *Ranking Médio*. Bonici e Araújo (2011)

Quanto mais próximo de 5 o *ranking* médio estiver, maior será o nível de satisfação dos participantes, da mesma forma, quanto mais próximo de 1, menor será.

O teste prático consistiu inicialmente na conexão entre o polarímetro e o *smartphone* com o aplicativo já instalado. Posteriormente foram feitas medições de valores obtidos com algumas amostras de soluções preparadas para o experimento. As amostras escolhidas para o teste foram água pura, água com açúcar, refrigerante e água de coco. As medições foram realizadas cinco vezes e os resultados encontrados foram comparados entre si, a fim de observar se o comportamento do dispositivo teve regularidade e se os dados mantiveram uma constância.

Os dados obtidos com o polarímetro dependem de algumas variáveis de ambiente, e da amostra a ser analisada. Souza e Alvarenga (2017), argumentam que as principais variáveis envolvidas no processo de experimentação do polarímetro são: o comprimento de onda da radiação incidente, a temperatura na substância que será analisada e o número de moléculas de substância no caminho da luz. O cenário de experimento realizado levou em consideração estas questões.

O desenvolvimento do aplicativo e do polarímetro utilizou método incremental durante todo o processo. Em Sommerville (2007), define-se que o desenvolvimento incremental é

³ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rPwGGJNYGsk>

baseado na ideia de construir uma implementação inicial, expô-la aos comentários dos usuários e continuar por meio da criação de várias versões até que um sistema adequado seja desenvolvido. No caso do presente trabalho as entregas intermediárias passaram por uma avaliação interna, com o intuito de verificar se os requisitos inicialmente levantados foram atingidos com sucesso.

Atividades de especificação, desenvolvimento e validação são interpolados, deixando o andamento do processo mais interativo e menos suscetível a possíveis erros. Summerville (2007) indica ainda que cada incremento ou versão do sistema incorpora alguma funcionalidade necessária para o produto e tais incrementos iniciais incluem geralmente as funcionalidades mais importantes. Na figura 8 é apresentado o desenho do modelo utilizado para o desenvolvimento da aplicação desenvolvida neste trabalho.

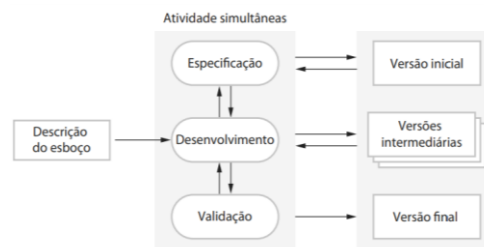


Figura 8. Modelo Incremental. Fonte Summerville (2007).

O Modelo Incremental possui certas vantagens em relação a outros modelos de desenvolvimento, como no modelo em cascata, por exemplo. Pode-se citar como pontos principais dessa metodologia de desenvolvimento:

- Mudanças de requisitos por parte do cliente tem o seu valor reduzido, visto que a cada incremento é feita uma demonstração ao cliente.
- Os clientes conseguem mais facilmente relatar feedbacks das partes já desenvolvidas e comunicar suas observações a respeito das entregas realizadas.
- Entrega e implementação de um projeto útil, ou seja, funcional para o cliente, pode acontecer de maneira lúcida, na medida que as funcionalidades principais são implementadas inicialmente, atendendo necessidades mais urgentes do usuário.

4. PRODUTO

4.1 Dispositivo Desenvolvido

Nesta seção serão apresentados primeiramente os componentes que fazem parte do dispositivo desenvolvido, bem como as suas funções dentro do projeto. Logo depois haverá uma explicação de como o polarímetro desenvolvido trabalha com os componentes em conjunto. Ao final da seção será apresentado o código utilizado no sistema embarcado.

4.1.1 Componentes

O Arduino é a central do dispositivo físico. Como apontado anteriormente no trabalho, a versão utilizada é a Arduino Uno V3. Sua principal função é o controle dos componentes eletrônicos, tais como: acionar ou desligar a fonte luminosa, receber as leituras do sensor de luminosidade, estabelecer o funcionamento em conjunto dos componentes, fornecer através de suas portas de saída a alimentação elétrica, e por último instituir a comunicação com o *smartphone* através do *Bluetooth*. Pertence também a ele a responsabilidade de fazer os cálculos quanto a variável de luminosidade resultante depois da interação do feixe de luz com a amostra a ser analisada.

A fonte luminosa do artefato, que tem como encargo incidir e interagir com o polarizador de entrada, com a amostra a ser analisada e o polarizador de saída, possuindo como destino final o sensor de luminosidade, é de responsabilidade do módulo laser KY-008. A sua tensão de operação é de 3,3 Volts a 5 Volts. Quanto maior a tensão aplicada ao módulo, maior

será a luminosidade expelida. No caso desse projeto, a fonte de iluminação é operada com a tensão máxima. A sua conexão ao Arduino é através de seus dois terminais, o negativo e o positivo. A cor do feixe de luz emitido é vermelha e possui o comprimento de onda de 650nm. Na figura 9 encontra-se uma imagem do módulo.

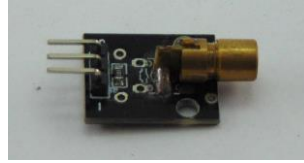


Figura 9. Módulo KY-008 Fonte: Elaborado pelo autor.

A responsabilidade de perceber as variações de luminosidade resultante da interação do feixe de luz com a amostra e os polarizadores de entrada e saída é por parte do Módulo LDR LM393. Ele é composto por um fotoresistor, ou seja, um resistor variável depende de luz, em que ao ser exposto a um ambiente com uma determinada quantidade de luz apresentará uma certa resistência.

Seguindo a lei Lei de Ohm, temos que $T = R \cdot I$, onde T é tensão resultante, R resistência elétrica e I é corrente elétrica. Em ambientes com maior luminosidade o fotoresistor terá menor resistência e por consequência uma tensão menor. Em ambientes com menor luminosidade, ele terá maior resistência, resultando uma tensão maior.

A tensão de funcionamento do módulo é de 3,3 volts até 5 volts, no caso desse projeto, o sensor de luminosidade é operado com a tensão de 5 volts. A sua conexão com o Arduino é através de seu terminal positivo e seu terminal negativo, além disso, o valor de luminosidade obtido em volts é enviado ao Arduino através do seu terminal de saída analógico, visto que a luminosidade captada tem uma natureza analógica de variação. A figura 10 traz uma foto do Módulo LDR LM393.

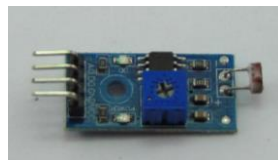


Figura 10. Módulo LDR LM393 Fonte: Elaborado pelo autor.

O módulo *Bluetooth* RS232 HC-05 é encarregado pela comunicação do artefato ao *smartphone* com o aplicativo que foi desenvolvido. Através desse módulo o Arduino é capaz de enviar ao *smartphone*, pela Porta Serial *Bluetooth*, todos os dados obtidos através da leitura da luminosidade feita pelo sensor de intensidade de luz. A sua tensão de funcionamento pode variar entre 3,3 volts e 5 volts. No projeto apresentado a sua tensão de operação é de 5 volts. O módulo *Bluetooth* RS232 HC-05 possui a versão 2.0+EDR do *Bluetooth*, a distância máxima de alcance chega aos 10 metros. Pode-se ver o módulo *Bluetooth* RS232 HC-05 na figura 11.



Figura 11. Módulo *Bluetooth* RS232 HC-05. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os polarizadores de entrada e de saída são constituídos por filtros velhos de televisores LCD. Na estrutura eles são posicionados com uma angulação de 90° entre si, ou seja, o eixo de polarização dos filtros está posicionado de maneira que o feixe de luz emitido pelo laser não consiga atravessar todo o percurso. Dessa forma, no estado inicial, sem amostra para análise e

sem interação com a luz, os valores lidos pelo sensor de luminosidade deverão apresentar o comportamento de baixa luminosidade ou ausência total de luz.

A estrutura no qual os equipamentos foram organizados e postos é feita em alumínio. Nela tem-se duas hastes reguláveis com parafusos, onde é possível ajustar a posição tanto do laser quanto do sensor. A estrutura possui o polarizador de saída posicionado de maneira fixa enquanto o polarizador de entrada possui um eixo giratório em que é possível regular a posição de angulação dos filtros. Existe ainda um espaço livre entre os dois polarizadores que tem como tarefa ser o local de posicionamento das futuras amostras a serem observadas. A figura 12 mostra a estrutura do polarímetro.

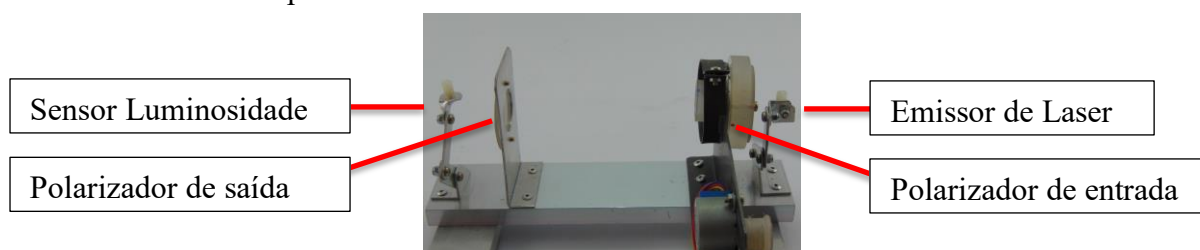


Figura 12. Estrutura Polarímetro. Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Orçamento

Agora será apresentado na tabela 4 um orçamento referente aos componentes do aparelho produzido. Os preços apresentados referem-se aos menores valores encontrados em lojas *online* (valores encontrados até o momento da escrita deste trabalho), sem considerar os custos de frete.

Tabela 4. Vendedores e valores dos componentes.

Componente	Empresa vendedora	Valor
Arduino Uno R3	Curto Circuito (2021)	R\$ 59,90
Módulo Laser KY-008	Byte Flop Componentes Eletrônicos (2021)	R\$ 5,50
Módulo LDR LM393	Master Walker Electronic Shop (2021)	R\$ 7,90
Módulo <i>Bluetooth</i>	Auto Core Robótica (2021)	R\$ 39,90
		Total: R\$113,20

Os equipamentos de polarimetria disponíveis no mercado apresentam valor médio de R\$7.044,25, enquanto o custo base do polarímetro aqui relatado é de R\$113,20, valor 98,39% menor em comparação aos já existentes. Com a apresentação desses números é nítido que o valor final do polarímetro construído neste trabalho apresenta uma vantagem financeira para seu desenvolvimento, fazendo com que o acesso a esse tipo de tecnologia seja mais viável a futuros usuários com menos poder aquisitivo.

4.1.3 Modelo Eletrônico

A seguir pode-se observar como os componentes estão conectados dentro do dispositivo. A montagem foi realizada com jumpers fazendo as conexões entre os componentes eletrônicos com intuito de diminuir problemas de mal contato entres os elementos. Seguindo o modelo apresentado na figura 13 é possível que toda a parte eletrônica do polarímetro seja reconstruída.

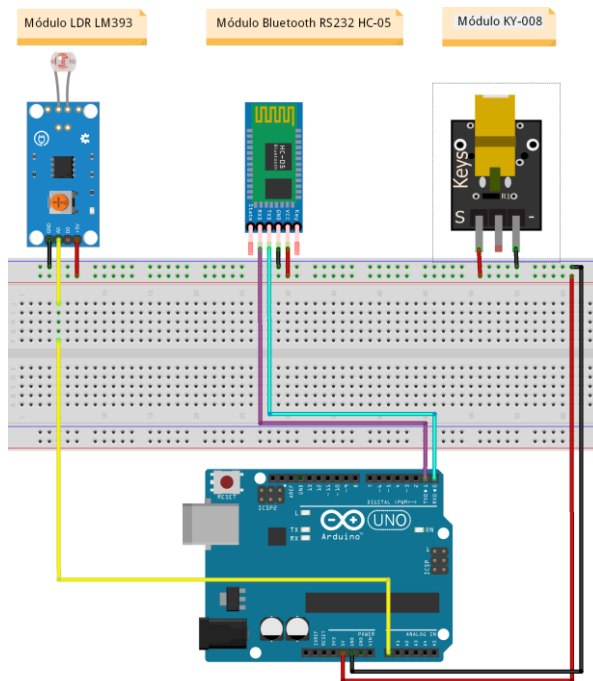


Figura 13. Modelo eletrônico polarímetro. Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.4 Código

Abaixo é apresentado o código que foi desenvolvido no sistema embarcado. Ele foi implementado e exportado para o Arduino através da IDE Arduino. Seu funcionamento é explicado através dos comentários de código. A figura 14 traz o programa que foi instalado dentro do Arduino.

```

1 //Declaração de porta de Conexão do Sensor
2 int PinoLeituraSensor = A0;
3
4 void setup() {
5   //Inicialização de porta Serial com taxa de transferência de Bits por segundo
6   Serial.begin(9600);
7   //Configuração do Pino de conexão do sensor como entrada de dados
8   pinMode(PinoLeituraSensor, INPUT);
9
10 }
11
12 void loop() {
13   //Leitura do valor na porta de entrada do sensor
14   byte LeituraAnalogicaLuminosidade = map(analogRead(PinoLeituraSensor), 0, 1024.0, 0, 255);
15   //Enviar dados da leitura por serial
16   Serial.write(LeituraAnalogicaLuminosidade);
17   //Delay de espera para sincronização
18   delay(400);
19 }

```

Figura 14. Código Arduino. Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. Aplicativo Desenvolvido

Nesta seção será apresentado o código utilizado no desenvolvido do aplicativo utilizando o App Inventor.

4.2.1. Funcionalidades

O Aplicativo Android, como indicado anteriormente, foi completamente desenvolvido no *App Inventor*. Por sua característica de programação em blocos, sua implementação é bastante simples e rápida, ideal para pessoas que não possuem familiaridade com programação. Abaixo iremos explicar os principais componentes do código.

Para a conexão do *Bluetooth* acontecer, é necessário primeiramente criar uma lista de endereços *Bluetooth* que já tenham sido emparelhados com o *smartphone* anteriormente. A Figura 15 exibe os comandos necessários para essa tarefa.

```

when ListPicker1 BeforePicking
do set ListPicker1 Elements to BluetoothClient1 AddressesAndNames

```

Figura 15. Código App Inventor função listas endereços *Bluetooth*. Fonte: Elaborado pelo autor.

Após exibir a lista de endereços disponíveis para conexão, o usuário pode selecionar o *Bluetooth* correspondente ao dispositivo que estará conectado ao polarímetro. Ao escolher o *Bluetooth* a ser conectado é feita uma chamada ao cliente *Bluetooth* para o pareamento. A figura 16 mostra os comandos necessários para essa tarefa.

```

when ListPicker1 AfterPicking
do set ListPicker1 Selection to call BluetoothClient1 Connect
address ListPicker1 Selection
set Label4 BackgroundColor to #00FF00
set Label4 TextColor to #000000
set Label4 Text to "Conectado"

```

Figura 16. Código App Inventor função conectar *bluetooth*. Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a conexão *Bluetooth* ser executada com sucesso, o aplicativo irá iniciar o gráfico em tempo real dos valores recebidos via *Bluetooth* pelo Arduino. Através dele, o usuário poderá perceber de maneira visual como os dados do polarímetro se comportam, de acordo com a amostra que estiver em análise. Pode-se ver na figura 17 como essa funcionalidade foi implementada. Percebe-se que quando alcança o tamanho máximo da tela, o gráfico é zerado para continuar a fazer a leitura e exibição dos dados recebidos.

```

when Clock1 Timer
do if BluetoothClient1 IsConnected
then if call BluetoothClient1 BytesAvailableToReceive > 0
then set global X_before to get global X
set global Y_before to get global Y
set global X to get global X + 1
set global Y to call BluetoothClient1 ReceiveUnsigned1ByteNumber
set Label2 Text to get global Y

set Canvas1 PaintColor to #0000FF
call Canvas1 DrawLine
x1 get global X_before
y1 Canvas1 Height - get global Y_before
x2 get global X
y2 Canvas1 Height - get global Y

if get global X >= Canvas1 Width
then call Canvas1 Clear
set global X_before to 0
set global X to 0

```

Figura 17. Código App Inventor função gerar código. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os blocos de códigos utilizados para salvar dados recebidos pelo *Bluetooth* são exibidos logo abaixo. A cada vez que o botão “salvar” é acionado, o aplicativo pega o valor correspondente da leitura e encapsula os valores em uma lista simples, que será armazenada no TinyDB. O TinyDB é um banco de dados local, em que os dados ficam restritos ao celular no qual o aplicativo foi instalado. A figura 18 mostra os comandos dessa funcionalidade.

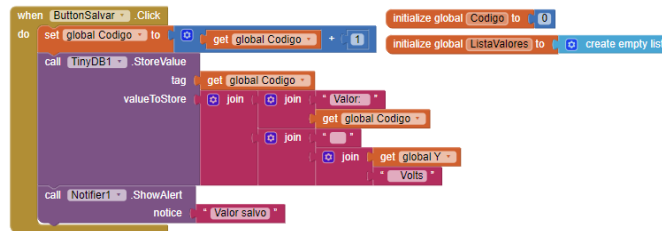


Figura 18. Código App Inventor função salvar dados. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando a função “exibir dados” é ativada, uma estrutura de repetição é iniciada com o número de repetições igual a quantidade de dados salvos pelo usuário. Esses dados serão percorridos um a um, e cada um dos valores será inserido numa mesma variável a cada ciclo de repetição. Após todo o preenchimento, o valor final da variável será definido como valor inicial de uma nova tela, que então exibirá os dados salvos. A figura 19 mostra os como foi construído o código.

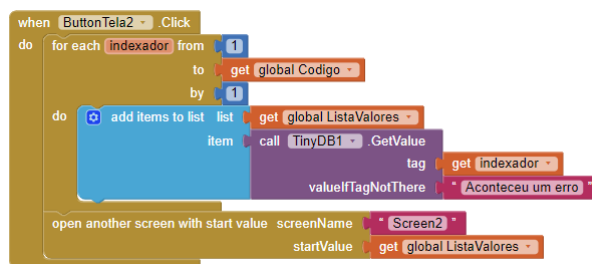


Figura 19. Código App Inventor função exibir dados. Fonte: Elaborado pelo autor.

O compartilhamento dos dados é realizado usando o código apresentado na figura 20. Inicialmente os dados salvos serão todos aglutinados numa variável de nome “compartilhar”. Quando o botão de compartilhamento for clicado, as informações serão salvas em um arquivo de texto simples que pode ser enviado a outros usuários através de redes sociais, do Google Classroom e do email, por exemplo.



Figura 20. Código App Inventor função compartilha dados. Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Interface

A seguir são apresentadas as duas telas principais do aplicativo na figura 21. O design foi simplificado com o intuito de facilitar sua implementação e também por não haver a necessidade de grande exibição de informações.

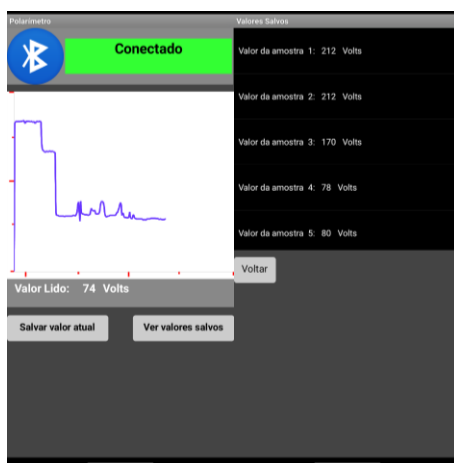


Figura 21. Interface Aplicativo. Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4. Teste de funcionamento do polarímetro

Para a captação dos dados ocorrer com sucesso e ser válida para análise, é necessário que o experimento seja realizado o mais próximo possível da realidade. Primeiramente foi preparado um local com baixa iluminação e o dispositivo foi inserido em uma caixa de madeira MDF⁴, com o intuito de evitar a interferência de uma fonte de luz externa nos dados lidos pelo sensor de luminosidade. Logo depois, o dispositivo polarímetro foi ligado e ajustado para o feixe de luz incidir diretamente no sensor. Os polarizadores de entrada e de saída foram posicionados de maneira perpendicular quanto a sua angulação de polarização, a fim de em um estado inicial, impossibilitar a passagem de algum feixe de luz para o sensor. Com o polarímetro regulado para o funcionamento, um *smartphone* com o aplicativo já instalado foi conectado ao *Bluetooth* do polarímetro.

Após a configuração do polarímetro e aplicativo, iniciou-se então a coleta dos dados. A sequência do teste foi: primeiramente coletar o valor do polarímetro sem amostra; em segundo lugar, coletar o valor de 200ml de água que foi colocado em um recipiente de vidro e em seguida posicionado entre os polarizadores de entrada e saída. Após a captação do valor da água pura, o próximo passo foi a dissolução de aproximadamente 20g de açúcar, uma colher de sopa rasa, nos 200ml de água para a uma nova assimilação. Novamente foi acrescentado mais 20g de açúcar nessa mistura, tornando-se 40g para 200ml de água, e então foi realizada uma nova coleta. Uma última adição de 20g de açúcar foi realizada, gerando no total aproximadamente 60g de açúcar em 200ml de água, para assim ser executada outra captura. Por último, foi preparada uma amostra de refrigerante e de água de coco para nova a testagem do dispositivo.

Todo processo foi realizado cinco vezes, com o intuito de gerar dados suficientes para uma análise mais completa do funcionamento do polarímetro. No começo da captação dos dados, as duas amostras, de refrigerante e de água de coco, encontravam-se em uma temperatura abaixo da temperatura ambiente. No decorrer do experimento, as amostras entraram em um estado de equilíbrio térmico com o ambiente. Essa condição foi construída para analisar se a temperatura da amostra influencia na leitura do polarímetro construído.

4.5. Análise de resultados do polarímetro

Na tabela 5 pode-se observar os valores captados no experimento de uso do polarímetro.

⁴ *Medium Density Fiberboard*

Tabela 5. Valores das leituras das amostras.

Coletas	Sem Amostra	Água Pura	20g Açúcar	40g Açúcar	60g Açúcar	Refrigerante	Água de Coco
1	218 mV ⁵	231 mV	226 mV	221 mV	217 mV	237 mV	212 mV
2	218 mV	233 mV	231 mV	220 mV	217 mV	238 mV	211 mV
3	214 mV	234 mV	231 mV	218 mV	212 mV	239 mV	211 mV
4	214 mV	233 mV	231 mV	225 mV	211 mV	239 mV	213 mV
5	214 mV	233 mV	230 mV	225 mV	218 mV	239 mV	213 mV

O gráfico da figura 22 foi montado a partir dos valores sem amostras lidos pelo polarímetro.

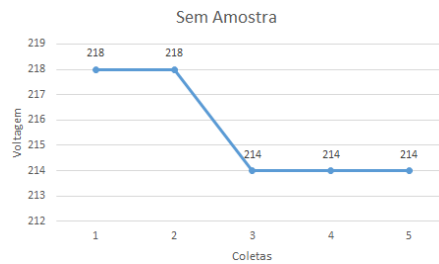


Figura 22. Gráfico Valores sem amostras. Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação às medições sem a presença de amostra, os valores apresentaram uma média de 215,6 milivolts, a variância foi de 4,8 milivolts e um desvio padrão de aproximadamente 2,19 milivolts. Essa variação de valor pode ser explicada, primeiramente, porque o ambiente em que os testes foram realizados não estava completamente isento de luz. Além disso o módulo LDR possui um LED que tem como função indicar que o módulo está em funcionamento, e em alguns casos, essa fonte luminosa pode vir a interferir na leitura do sensor

O gráfico da figura 23 foi montado a partir dos valores da amostra de água pura lidos pelo polarímetro e armazenados em arquivo texto.



Figura 23. Gráfico Valores água pura. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados obtidos da amostra de água pura apresentaram valores mais constantes. A média ficou em 232,8 milivolts enquanto a variância foi de 1,2 milivolts e o desvio padrão ficou na casa de 1,09 milivolts aproximadamente. Apesar da pouca variabilidade dos valores levantados, pôde-se observar que na terceira coleta houve um pico no gráfico, isso ocorre pelo fato de que quando os dados são salvos no aplicativo, um valor momentâneo é salvo. Os valores

⁵ milivolts

exibidos no *smartphone* são atualizados a cada 400 milissegundos, nesse intervalo de tempo, uma mínima luz externa pode influenciar no valor salvo.

Os gráficos na figura 24 foram montados a partir das leituras das amostras de 20g, 40g e 60g de açúcar diluídos em 200 ml de água.

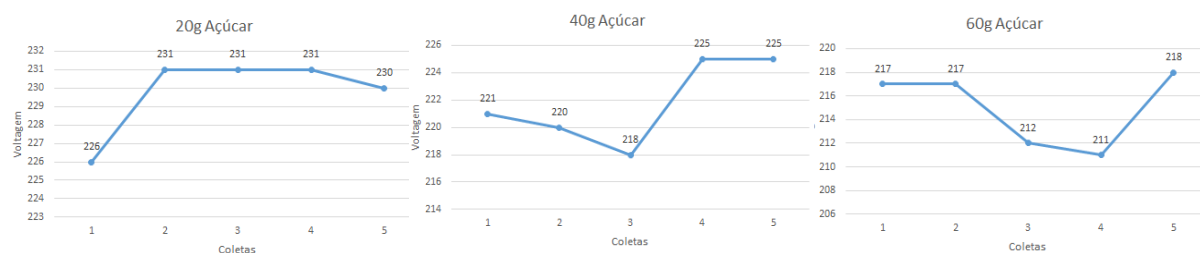


Figura 24. Gráfico Valores amostras com açúcar. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os gráficos de 20g, 40g e 60g de açúcar obtiveram respectivamente a variância de 4,7 milivolts, 9,7 milivolts e 10,5 milivolts, e os valores de desvio padrão de 2,16 milivolts, 3,11 milivolts e 3,24 volts. Esses valores foram os que apresentaram o comportamento mais irregular durante os testes. A explicação é que os valores de açúcar adicionados durante a realização dos testes eram minimamente diferentes, isso pelo fato de que a gramatura do açúcar misturada à água era medida somente com o auxílio de uma colher de sopa. O ideal é que a cada quantidade de açúcar adicionada à amostra, o valor em questão seja o mais próximo possível do valor escolhido para a testagem.

Observando o gráfico da figura 25, que foi montado a partir da média dos valores lidos de todas as amostras de água, pode-se notar que a tensão média lida pelo sensor diminui à medida que a concentração de açúcar na água aumenta, dando a entender que, quanto mais concentrada a amostra, os feixes de luz são mais desviados, diminuindo a resistência do sensor e consequentemente a tensão.

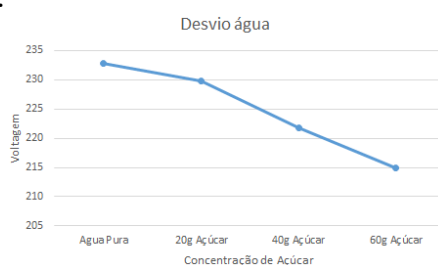


Figura 25. Gráfico Valores Desvio médio na água. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os gráficos da figura 26 foram montados a partir dos valores das amostras de refrigerante e de água de coco lidos pelo polarímetro.

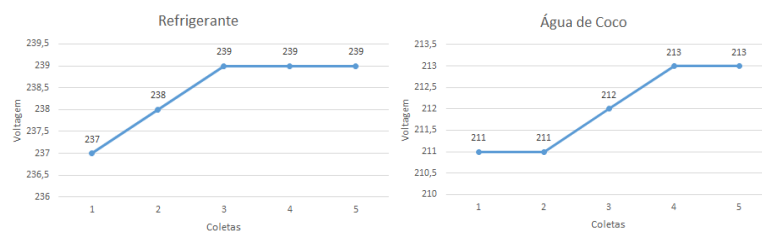


Figura 26. Gráfico Valores amostra refrigerante e água de coco. Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os dois gráficos, pôde-se perceber que a partir das primeiras coletas o gráfico tendeu a crescer. Isso ocorreu porque inicialmente as amostras de refrigerante e água de coco estavam com sua temperatura abaixo da temperatura ambiente, e ao decorrer do experimento, foram entrando em equilíbrio térmico com o ambiente, aumentando suas temperaturas médias e consequentemente alterando os valores de leitura de polarização da luz. As variâncias foram de 0,8 milivolts para o refrigerante e 1 milivolts para água de coco e os valores de desvio padrão foram de 0,89 milivolts para o refrigerante e 1 milivolts para água de coco, indicando novamente a constância no cálculo dos valores.

4.4. Teste de usuários

O vídeo de apresentação e questionário foi enviado a um grupo de professores e obteve o total de 9 respostas. As perguntas foram as seguintes: 1º Qual o seu conhecimento sobre o uso de experimentos com Arduino ou similares conectados com aplicações para *smartphone*? 2º Você acredita que o experimento tenha potencial para facilitar a aprendizagem do aluno? 3º O manuseio do equipamento pareceu simples? 4º A interface gráfica do aplicativo é simples e de fácil compreensão? 5º O grau de interatividade do equipamento e do aplicativo é elevado? 6º O equipamento e aplicativo motiva o estudante e coloca-o numa situação de aprendizagem ativa? 7º Utilizar o dispositivo em aulas tradicionais pode oferecer vantagem para a aprendizagem dos alunos? 8º Você utilizaria o experimento em uma de suas aulas, se esse fosse o caso?

A primeira pergunta teve o intuito de saber qual o grau de conhecimento que os participantes possuíam em relação ao Arduino. O resultado encontrado foi que 77,8% dos participantes que responderam ao questionário já possuíam um conhecimento base a respeito da plataforma, indicando que a visão deles sobre a proposta teve um olhar mais crítico e assertivo ao responder o questionário. A figura 27 exhibe o gráfico com os valores em porcentagem das respostas.

Qual o seu conhecimento sobre o uso de experimentos com Arduino ou similares conectados com aplicações para *smartphone*?

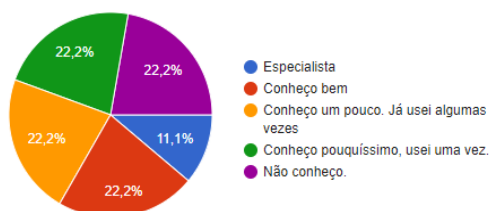


Figura 27. Gráfico Qual o seu conhecimento sobre o uso de experimentos com Arduino ou similares conectados com aplicações para *smartphone*? Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise do restante das perguntas foi feita com base no cálculo do *ranking* médio. Pode-se ver abaixo, na figura 28, o resultado final das respostas.

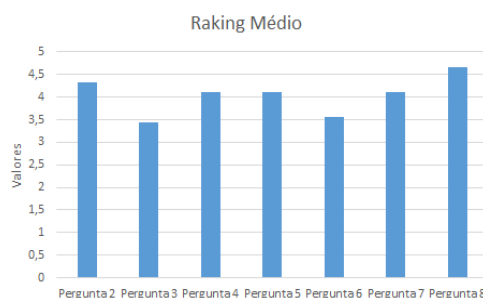


Figura 28. Gráfico *Ranking* Médio respostas. Fonte: Elaborado pelo autor.

O RM da pergunta 2 foi 4,33 pontos, indicando que na visão dos participantes o trabalho proposto possui um alto potencial de aprendizagem, sugerindo que se a ferramenta for utilizada em aula, trará um resultado positivo para os alunos. O RM da pergunta 3 foi de 3,44 pontos, o que aponta que apesar de um valor aceitável o polarímetro e o aplicativo ainda têm pontos a serem melhorados quanto ao seu processo de manuseio.

A quarta pergunta apresentou um RM de 4,11 pontos, um valor que mostra a boa aceitação da interface gráfica do aplicativo, indicando que as informações na tela são claras e de fácil compreensão. O RM dos itens 5 e 6 ficaram na casa dos 4,11 pontos e 3,55 pontos respectivamente. Esses dois pontos indicam principalmente que o polarímetro e o aplicativo têm a capacidade de deixar o processo de aprendizagem mais interativo para os alunos, deixando-os mais ativos em sala de aula.

Com um RM de 4,11 pontos, a pergunta de número 7 apresenta um cenário favorável para o uso do dispositivo como complemento em uma aula tradicional, revelando que o instrumento tem seu valor didático. Para finalizar o questionário, a pergunta de número 8 apresentou o RM mais positivo, com o valor total de 4,66 pontos. Com isso, é correto afirmar que o polarímetro e o aplicativo desenvolvidos neste trabalho têm a capacidade de serem inseridos no contexto de sala de aula, e que seu uso por parte dos professores oferece segurança para utilização como ferramenta didática.

5. CONCLUSÃO

Com os resultados levantados, pode-se concluir que este trabalho obteve êxito em seu objetivo de desenvolver um polarímetro didático de baixo custo e de fácil acesso para professores e estudantes interessados nessa área de estudo. O seu custo final mostrou-se mais viável em comparação aos modelos atualmente disponíveis no mercado.

Além disso, com o resultado dos testes do dispositivo, o Arduino e o Aplicativo se mostraram capazes de servir como ferramentas para o desenvolvimento do experimento polarímetro. Os dados capturados foram analisados e indicaram que o trabalho desenvolvido apresentou um comportamento bem regular, com baixo índice de variação dos resultados. Todo o modelo eletrônico de montagem e código foi apresentado. Também foi explicada a função de cada elemento do polarímetro. Os blocos de código empregados para o desenvolvimento do Aplicativo no App Inventor foram demonstrados e explicados passo a passo.

Quanto à avaliação de aceitabilidade da proposta por parte dos usuários, foi apresentado um resultado satisfatório e promissor quando a potencialidade que a ferramenta oferece desde de aparelho de experimentação didática, quanto a capacidade de aprendizagem, e por fim, a sua possibilidade como ferramenta de apoio e diferenciação de uma aula tradicional.

A partir do que se levantou, pretende-se continuar a pesquisa com público de estudantes do ensino fundamental, bem como possibilitar o acesso ao equipamento através da internet, possibilitando que os alunos possam acessar os dados de forma mais independente do equipamento. Os dados seriam, neste caso, enviados por broadcast e recebidos pela aplicação móvel. Por fim, pretende-se que o acesso ao polarímetro possa se dar remotamente, com transmissão de vídeo em tempo real para os participantes.

REFERENCIAL

- 3B SCIENTIFIC. 3B Scientific Polarímetro. In: Polarímetro. [S. l.]: 3B Scientific, 1 dez. 2020. Disponível em: https://www.3bscientific.com.br/polarimetro-1008696-u33400,p_649_18706.html. Acesso em: 20 jan. 2021.
- ARDUINO. arduino.cc 2020. What is Arduino? Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 10 out. 2020.

- ASTRO SHOP.PT. Novex Polarímetro 400. In: Novex Polarímetro 400. [S. l.], 1 dez. 2020. Disponível em: <https://www.astroshop.pt/polarimetro/novex-polarimetro-400/p,9845>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- AUTO CORE ROBÓTICA. Autocorerobotica.com.br. [N.a.]. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/modulo-bluetooth-rs232-hc-05>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- BANZI, Massimo; SHILOH, Michael. Primeiros passos com o Arduino. São Paulo: Novatec, p. p1, 2011.
- BONICI, Rosângela Maura Correia; ARAÚJO JUNIOR, Carlos Fernando de. Medindo a satisfação dos estudantes em relação a disciplina on-line de probabilidade e estatística. São Paulo: Educação Universitária, 2011.
- BYTE FLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS. Byteflop.com.br. 2021. Disponível em: <https://www.byteflop.com.br/modulo-laser-5v-ky-008>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- CHASE, Otavio; ALMEIDA, F. Sistemas embarcados. Mídia Eletrônica. Página na internet www.sbajovem.org/chase, capturado em, v. 10, n. 11, p. 13, 2007.
- CUNHA, Alessandro F. O que são sistemas embarcados. Saber Eletrônica, v. 43, n. 414, p. 1-6, 2007.
- CURTO CIRCUITO. Curtocircuito.com.br. 2021. Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br/catalog/product/view/id/86/s/arduino-uno-r3-com-cabo-usb/>>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- GIL, A. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. [S.l.]: EDITORA ATLAS S.A., 2002. v. 4
- GOMES, Tancicleide C. S.; MELO, Jeane C. B. de. Mobile Learning: Explorando Possibilidades com o App Inventor no Contexto Educacional. Jornada de Atualização em Informática na Educação, [S.l.], nov. 2014. ISSN 23167734. Disponível em: <https://www.br-ie.org/pub/index.php/pie/article/view/3153/2667>. Acesso em: 01 out. 2020.
- GUIMARÃES, C. C. Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo à Aprendizagem Significativa. Revista Química Nova na Escola, Vol. 31, N. 3, 2009
- LEÔNICIO, Natália Nascimento et al. Programação em blocos com o Mit App Inventor: Um relato de experiência com alunos do ensino médio. Anais do Workshop de Informática na Escola, [S.l.], p. 1159, out. 2017. ISSN 2316-6541. Disponível em: <https://www.br-ie.org/pub/index.php/wie/article/view/7325/5123>. Acesso em: 5 out. 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.5753/cbie.wie.2017.1159>.
- LOJA BUNKER. NO WXG-4 - Polarímetro Rotacional. In: NO WXG-4 - Polarímetro Rotacional. [S. l.], 1 dez. 2020. Disponível em: <https://www.lojabunker.com.br/polarimetro-rotacional>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- LOJA NET LAB. Polarímetro Rotacional (Disco) Faixa De Medição De -180° A +180° Na Escala Vernier Divisão De Escala 1° Wxg-4. In: Polarímetro Rotacional. [S. l.], 1 dez. 2020. Disponível em: <https://www.lojanetlab.com.br/equipamentos/polarimetro/polarimetro-rotacional-disco-faixa-de-medicao-de-180-a-180-na-escala-vernier-divisao-de-escala-1o-wxg-4>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- LOPES, Priscila Almeida; PIMENTA, Cintia Cerqueira Cunha. O uso do celular em sala de aula como ferramenta pedagógica: Benefícios e desafios. Revista Cadernos de Estudos e Pesquisa na Educação Básica, Recife, v. 3, n. 1, p. 52-66, 2017.

- MASTER WALKER ELECTRONIC SHOP. Masterwalkershop.com.br. 2021. Disponível em: <https://www.masterwalkershop.com.br/modulo-fotoresistor-sensor-ldr>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- MCROBERTS, Michael. Arduino básico. Novatec Editora, 2018.
- NASCIMENTO, João et al. Utilização da plataforma Arduino no desenvolvimento de duas Unidades Didáticas em Ciências Naturais. *Enseñanza de las ciencias*, n. Extra, p. 0995-1002, 2017.
- OLIVEIRA, Anderson Roberto de. Polarímetro diferencial baseado na reflexão interna. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- RAABE, André; GOMES, Eduardo Borges. Maker: uma nova abordagem para tecnologia na educação. *Revista Tecnologias na Educação*, v. 26, n. 26, p. 6-20, 2018.
- SANTANA, André Maciel et al. Atividades Maker no Processo de Criação de Projetos por Estudantes do Ensino Básico para uma Feira de Ciências. *Anais do Workshop de Informática na Escola*, [S.l.], p. 181-190, nov. 2016. ISSN 2316-6541. Disponível em: <https://br-ie.org/pub/index.php/wie/article/view/6615>. Acesso em: 01 abr. 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.5753/cbie.wie.2016.181>.
- SILVA JÚNIOR, José Nunes da; BARBOSA, Francisco Geraldo; LEITE JUNIOR, Antonio José Melo. Polarímetro virtual: desenvolvimento, utilização e avaliação de um software educacional. *Química Nova*, v. 35, n. 9, p. 1884-1886, 2012.
- SOMMERVILLE, Ian. *Engenharia de Software*, 9. edição. Pearson, Addison Wesley, v. 8, n. 9, p. 10, 2007.
- SOUZA, Liliane Paiva de.; ALVARENGA, Ana Paula Dornelles de. Montagem de um sistema para a medição da rotação óptica em líquidos quirais. 2017.
- SOUZA, Liliane Paiva de. Montagem de um sistema para a medição da rotação óptica em líquidos quirais. 2017. Dissertação.
- SULZBACH, Ana Cristina; LÜDKE, Everton. O Ensino De Isomeria Óptica Por Meio Da Utilização De Um Polarímetro Didático. 2017. *Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI* ISSN 1809-1636.