

DESENVOLVIMENTO E USO DE UM DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA EXPERIMENTOS DE POLARIMETRIA E COLORIMETRIA COM SMARTPHONE

Development and Use of a Low-Cost Device for Polarimetry and Colorimetry Experiments Using a Smartphone

Jonathan Alves dos Santos [jonathandsfurg@gmail.com]

João Francisco Prolo Filho [joaoprolo@furg.br]

Everaldo Arashiro [earashiro@furg.br]

Universidade Federal do Rio Grande

Av. Itália, km 8, bairro Carreiros, Rio Grande, RS, Brasil, 96203-900

Recebido: 13/01/26

Aceito: 27/03/2026

Resumo

Este artigo apresenta o desenvolvimento e a avaliação de um dispositivo de baixo custo para experimentos de polarimetria e colorimetria com smartphones, visando propor uma alternativa para lidar com a carência de equipamentos laboratoriais em escolas públicas. Fundamentado na teoria da Aprendizagem Significativa e amparado pela Lei nº 15.100/2025, o estudo investiga a viabilidade do aplicativo *Phyphox* como ferramenta na realização de atividades experimentais para o ensino de Física. O aparato foi construído com materiais acessíveis e avaliado por meio de experimentos controlados, que demonstraram fortes correlações lineares entre concentração e ângulo de rotação na polarimetria ($R^2 = 0,990$) e entre concentração e absorvância na colorimetria ($R^2 = 0,978$). Testes de campo em contextos universitário e ensino médio comprovaram sua usabilidade, versatilidade e potencial de engajamento. Conclui-se que o dispositivo representa uma alternativa viável para o ensino de óptica, promovendo integração interdisciplinar e aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Ensino de Física; Polarimetria; Colorimetria; Smartphone; *Phyphox*.

Abstract

This article presents the development and evaluation of a low-cost device for polarimetry and colorimetry experiments using smartphones, aiming to propose an alternative to address the lack of laboratory equipment in public schools. Grounded in Meaningful Learning theory and supported by Law No. 15,100/2025, the study investigates the feasibility of the *Phyphox* app as a tool for conducting experimental activities in Physics teaching. The apparatus was built with accessible materials and evaluated through controlled experiments, which demonstrated strong linear correlations between concentration and rotation angle in polarimetry ($R^2 = 0.990$) and between concentration and absorbance in colorimetry ($R^2 = 0.978$). Field tests in university and high school settings confirmed its usability, versatility, and engagement potential. It is concluded that the device represents a viable alternative for teaching optics, promoting interdisciplinary integration and meaningful learning.

Keywords: Physics Education; Polarimetry; Colorimetry; Smartphone; Phyphox.

Trabalho apresentado no IV Encontro Nacional do Mestrado Nacional em Ensino de Física (ENMNPEF) e IX Escola Brasileira de Ensino de Física (EBEF).

1. Introdução

A onipresença dos smartphones no Brasil, com mais de 242 milhões de dispositivos em uso (CNN Brasil, 2022), contrasta com a precariedade de equipamentos laboratoriais em muitas escolas públicas. Essa disparidade representa tanto um desafio quanto uma oportunidade para o ensino de ciências. A recente Lei nº 15.100/2025 (BRASIL, 2025), que autoriza o uso pedagógico de dispositivos móveis, oferece um respaldo legal para transformar celulares, tradicionalmente vistos como fontes de distração, em ferramentas educacionais poderosas.

Entre os aplicativos disponíveis, o *Phyphox* (Staacks *et al.*, 2018), disponível gratuitamente tanto para iOS quanto para Android, destaca-se por transformar smartphones em laboratórios portáteis, viabilizando experimentos quantitativos (Bauman Bertti *et al.*, 2022) antes restritos a equipamentos especializados. No entanto, um levantamento bibliométrico da produção nacional, realizado entre 2018 e 2023 nas plataformas SciELO, periódicos CAPES e Google Acadêmico, utilizando como palavras-chave “Phyphox”, “smartphone” e “ensino de Física”, resultam em 39 trabalhos que ao serem analisados revelam uma distribuição temática assimétrica: enquanto 87% dos estudos concentram-se em experimentos de Mecânica, apenas 5% abordam conceitos de Óptica. Esta lacuna é particularmente significativa, considerando o potencial pedagógico dos fenômenos ópticos para a integração interdisciplinar entre Física, Química e Matemática.

Neste contexto, o presente estudo propõe desenvolver e avaliar um dispositivo de baixo custo destinado à realização de experimentos quantitativos de polarimetria e colorimetria utilizando smartphone. Embora existam propostas de equipamentos acessíveis para essas áreas (Baptista Filho *et al.*, 2024; da Silva Santos & Laia, 2023), a literatura carece de soluções que integrem ambas as técnicas em um único instrumento assistido por smartphone. A investigação norteia-se pela necessidade de verificar a viabilidade técnica de se construir um aparato acessível que garanta medições confiáveis, que permita simultaneamente uma análise do comportamento do dispositivo em ambientes educacionais reais e as consequentes implicações pedagógicas dessa abordagem para o ensino de ciências.

A fundamentação teórica seguiu a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2003), que destaca a importância da ancoragem de novos conhecimentos em subsunçores pré-existentes. O smartphone, enquanto objeto familiar aos estudantes, atua como subsunçor robusto, facilitando a assimilação de conceitos abstratos de óptica quando transformado em instrumento científico.

2. Fundamentação teórica

A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2003) postula que a aprendizagem efetiva ocorre quando novas informações se relacionam de maneira substantiva e não arbitrária com conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz (subsunçores). No ensino de ciências, esta relação é frequentemente mediada por experiências concretas que ancoram conceitos abstratos.

Os smartphones emergem como subsunçores particularmente poderosos na educação contemporânea. Mais do que dispositivos tecnológicos, representam elementos constitutivos da cultura digital juvenil (Moreira, 2011). A Lei nº 15.100/2025 (BRASIL, 2025), ao regulamentar seu uso pedagógico, não apenas autoriza, mas legitima esta integração, transformando um artefato cotidiano em ferramenta educacional. Essa mudança de entendimento é essencial para uma aprendizagem significativa, uma vez que conecta o conhecimento escolar ao universo experiencial dos estudantes.

O aplicativo *Phyphox* potencializa a contribuição do uso dos smartphones no processo de ensino-aprendizagem ao transformar sensores nativos em instrumentos de coleta de dados, ampliando a capacidade investigativa dos estudantes por permitir que estes realizem medições precisas em contextos reais (Vygotsky, 1978). Esta mediação tecnológica é particularmente valiosa em colorimetria e polarimetria, tradicionalmente dependentes de equipamentos caros e complexos.

A polarimetria e a colorimetria são técnicas analíticas clássicas da ciência, fundamentadas na interação entre a luz e a matéria.

A polarimetria explora a propriedade de algumas substâncias (chamadas opticamente ativas) de rotacionar o plano de polarização da luz que as atravessa (Skoog *et al.*, 2021). O ângulo de rotação (α) é diretamente proporcional à concentração (c) da substância e ao caminho óptico percorrido (l) pela luz na amostra, conforme a relação:

$$\alpha = [\alpha] \cdot l \cdot c \quad (1)$$

onde $[\alpha]$ é a rotação específica, uma propriedade característica de cada composto. Essa técnica é amplamente utilizada para análise de açúcares, aminoácidos e em controle de qualidade na indústria alimentícia e farmacêutica.

Já a colorimetria baseia-se na Lei de Beer-Lambert, que estabelece uma relação linear entre a absorbância (A) de uma solução e a concentração (c) do soluto absorvedor, para um dado comprimento de onda e caminho óptico (l) (Harris, 2016). Matematicamente, é expressa por:

$$A = \epsilon \cdot l \cdot c \quad (2)$$

onde ϵ é o coeficiente de absorção. Esta relação permite a determinação quantitativa das concentrações em química e bioquímica.

Ambas as técnicas, por dependerem de equipamentos especializados (colorímetros e polarímetros), são de acesso limitado em muitos contextos educacionais devido ao seu custo. O desenvolvimento de alternativas de baixo custo que capturem os princípios fundamentais dessas medições torna-se, portanto, uma estratégia valiosa para democratizar a experimentação quantitativa.

A integração dos conceitos de Física (interação luz-matéria), Química (propriedades das soluções) e Matemática (análise de dados) fazem com que a colorimetria e a polarimetria sejam vistas como áreas de estudos fortemente interdisciplinares. Esta integração favorece a formação de redes conceituais robustas, pois permite que conhecimentos de diferentes disciplinas se articulem para explicar fenômenos complexos. Na perspectiva ausubeliana, tal associação fortalece a estrutura cognitiva dos aprendizes, promovendo uma compreensão mais profunda e duradoura.

3. Métodos e Materiais

3.1 Abordagem Geral

Esta pesquisa adotou uma abordagem de desenvolvimento e avaliação qualitativa e quantitativa, estruturada em três fases interligadas: (1) desenvolvimento do dispositivo; (2) avaliação experimental em condições controladas; (3) testes de campo em ambientes educacionais reais. A fundamentação metodológica baseou-se nos princípios da pesquisa-ação, com ciclos sucessivos de prototipagem, teste e refinamento.

3.2 Desenvolvimento do Dispositivo

O dispositivo foi concebido e construído em uma configuração vertical otimizada (Figura 1a), visando solucionar dois desafios pedagógicos centrais: garantir um caminho óptico suficiente para uma detecção confiável em polarimetria; e possibilitar a visualização da tela do smartphone durante as medições, permitindo o acompanhamento do experimento em tempo real pelos estudantes. Para tal, o aparato emprega, como cubeta, uma proveta de 100 mL cuja base de plástico tem uma abertura permitindo a passagem de luz (Figura 1b), proporcionando um caminho óptico de aproximadamente 16 cm. O espaço na base, próprio para o encaixe do smartphone, foi projetado de forma que a tela permaneça visível durante a realização do experimento e que o sensor de luminosidade do celular fique alinhado ao caminho que a luz faz pela proveta.

Os materiais principais utilizados na construção foram: MDF (15 mm) para a estrutura, tubos de PVC para câmara escura, alinhamento do caminho óptico, proveta de 100 mL, polarizadores lineares, transferidor de acrílico, uma fonte de luz LED e um smartphone com o aplicativo *Phyphox* instalado. O custo total estimado para a montagem é inferior a R\$ 100,00.

Na configuração final, um dos polarizadores é fixado na base do dispositivo (Figura 1c), abaixo da proveta, o outro polarizador, denominado de analisador, está localizado no tubo próximo a fonte LED, onde também foi fixado um transferidor (Figura 1d). Essa montagem é otimizada para a polarimetria, onde a rotação relativa entre polarizador e o analisador é essencial. Para os experimentos de colorimetria, nos quais a polarização da luz não é um fator relevante, a presença desse polarizador fixo na trajetória óptica não interfere nas medições de transmitância ou absorbância, atuando meramente como um componente transparente à luz não polarizada da fonte LED.

As instruções detalhadas para montagem, incluindo diagramas esquemáticos, medidas precisas e o passo a passo da construção, encontram-se integralmente descritas na cartilha educacional disponível online (Alves dos Santos, Prolo Filho & Arashiro, 2025).

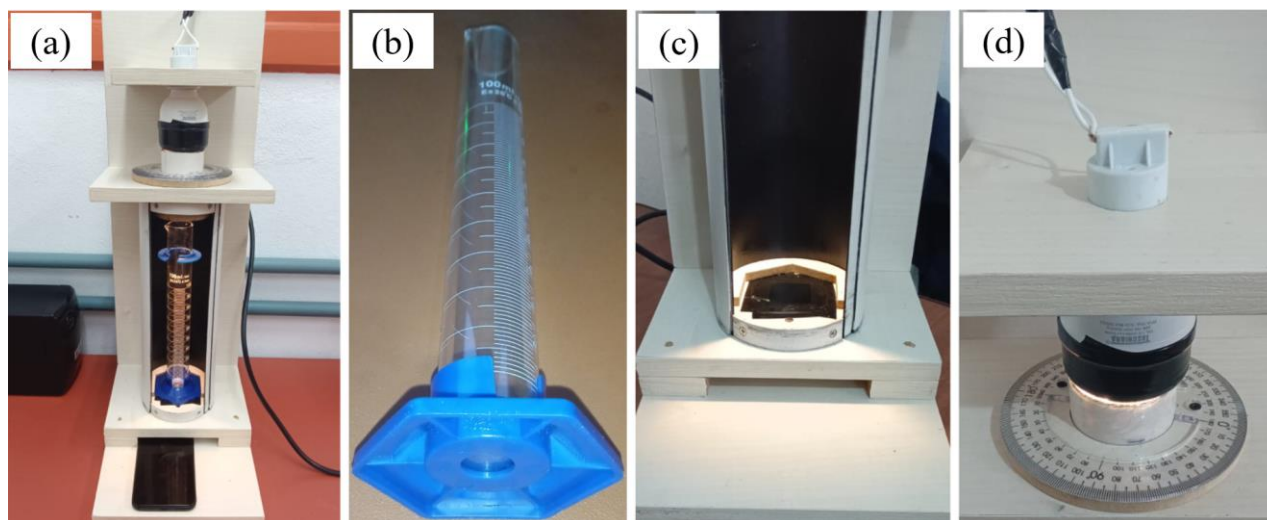


Figura 1: (a) Dispositivo final em configuração vertical com a proveta, sistema de iluminação e o celular com tela visível. (b) Proveta de 100ml com base de plástico vazado permitindo a passagem de luz. (c) Detalhe da câmara de amostragem e seu encaixe para a proveta e polarizador inferior fixo. (d) Detalhe do sistema de iluminação e analisador giratório do protótipo, composto por lâmpada LED, tubo de PVC rotatório e transferidor de 360°. Fonte: Os autores

3.3 Avaliação Experimental

Para validação técnica do dispositivo, realizaram-se dois conjuntos de experimentos:

Polarimetria: Prepararam-se soluções aquosas de sacarose, misturando açúcar à água, em concentrações crescentes (0,02 a 0,20 g/mL). Para garantir a total dissolução do soluto, especialmente nas concentrações mais elevadas, mas abaixo do limite de solubilidade, as soluções foram agitadas vigorosamente e deixadas em repouso antes das medições. Para cada concentração, mediu-se o ângulo de rotação do plano de polarização girando o analisador até encontrar a posição de mínima intensidade luminosa, monitorada em tempo real via *Phyphox*.

Colorimetria: Prepararam-se soluções de tinta de carimbo em diluições variadas, tomando-se o cuidado para evitar concentrações excessivamente elevadas que pudessem levar à saturação do sensor (intensidade transmitida próxima de zero), garantindo assim que as medições permanecessem dentro de uma faixa linear de resposta. A preparação da solução concentrada foi feita adicionando 6 gotas de tinta de carimbo em 1 L de água, homogeneizando para obter a solução estoque. As diluições foram preparadas em diferentes concentrações pela mistura de volumes variados da solução estoque com água destilada, completando sempre 100 mL na proveta. As concentrações relativas (c) foram calculadas como a fração volumétrica da solução estoque (por exemplo, 10 mL de estoque + 90 mL de água $\rightarrow c = 0,1$). Para cada solução, mediu-se a intensidade luminosa transmitida e calculou-se a absorbância por $A = -\log(I_0/I)$ onde I_0 é a intensidade com água pura.

A análise quantitativa da polarimetria e da colorimetria baseou-se na regressão linear, utilizando o coeficiente de determinação (R^2) como indicador de aderência às leis físicas fundamentais. Os dados completos, assim como os gráficos de regressão linear gerados, são apresentados e discutidos na Seção 4 (Resultados).

3.4 Testes de Campo

O dispositivo foi testado em dois contextos educacionais distintos: i) uma turma de Física Experimental para alunos de graduação do curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), onde se priorizou a precisão metodológica e a análise quantitativa; ii) uma escola pública estadual de Ensino Médio da cidade de São José do Norte - RS, cujo foco foi a usabilidade e o engajamento dos estudantes.



Figura 2: Aplicação do dispositivo em uma aula experimental na universidade (FURG), com estudantes coletando dados de polarimetria. Fonte: Os autores.



Figura 3: Aplicação do dispositivo em uma aula experimental para os alunos do ensino médio do Instituto Estadual São José - RS, com estudantes manipulando o dispositivo e interagindo com o aplicativo *Phyphox*. Fonte: Os autores.

Em ambas as instâncias, a intervenção seguiu um protocolo de aula experimental concentrada com duração de 100 minutos, estruturada linearmente em etapas de contextualização teórica, demonstração técnica, experimentação colaborativa em grupos e discussão coletiva. Para a análise do impacto pedagógico, os dados qualitativos foram levantados mediante observação participante, registros detalhados em diário de campo e a aplicação de um questionário breve de percepção ao final das atividades.

4. Resultados

4.1 Desempenho Técnico do Dispositivo

Polarimetria: A partir dos ângulos de rotação (α) obtidos pelo dispositivo para diferentes concentrações de soluções aquosas de sacarose, apresentados na Tabela 1, foi feita a Figura 4. Os dados experimentais mostraram uma forte correlação linear entre o ângulo de rotação (α) e concentração (c), com $R^2 = 0,990$. A equação da reta de regressão foi $\alpha = 103,64 \cdot c + 1,60$. A rotação específica aparente $[\alpha]$ da sacarose foi determinada através do coeficiente angular da reta ($103,64^\circ \cdot \text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$), método que minimiza o impacto de flutuações aleatórias nas medidas individuais. Considerando a lei fundamental da polarimetria (Equação 1) e o caminho óptico $l = 1,6 \text{ dm}$, obteve-se $[\alpha] = 64,78^\circ \cdot \text{mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dm}^{-1}$. Este resultado apresenta boa concordância com o valor teórico da sacarose ($66,5^\circ \cdot \text{mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dm}^{-1}$). O intercepto linear não nulo ($1,60^\circ$) sugere a presença de pequenos erros sistemáticos, possivelmente associados a desalinhamentos ou calibração do zero instrumental.

Tabela 1: Dados de polarimetria para soluções de sacarose.

Massa de Açúcar (g)	Concentração (c) [g/mL]	Ângulo de Rotação (α) [°]
2	0,02	4
4	0,04	5
6	0,06	7
8	0,08	10
10	0,10	13
12	0,12	15
14	0,14	16
16	0,16	18
18	0,18	20
20	0,20	22

Fonte da Tabela: Dados da pesquisa

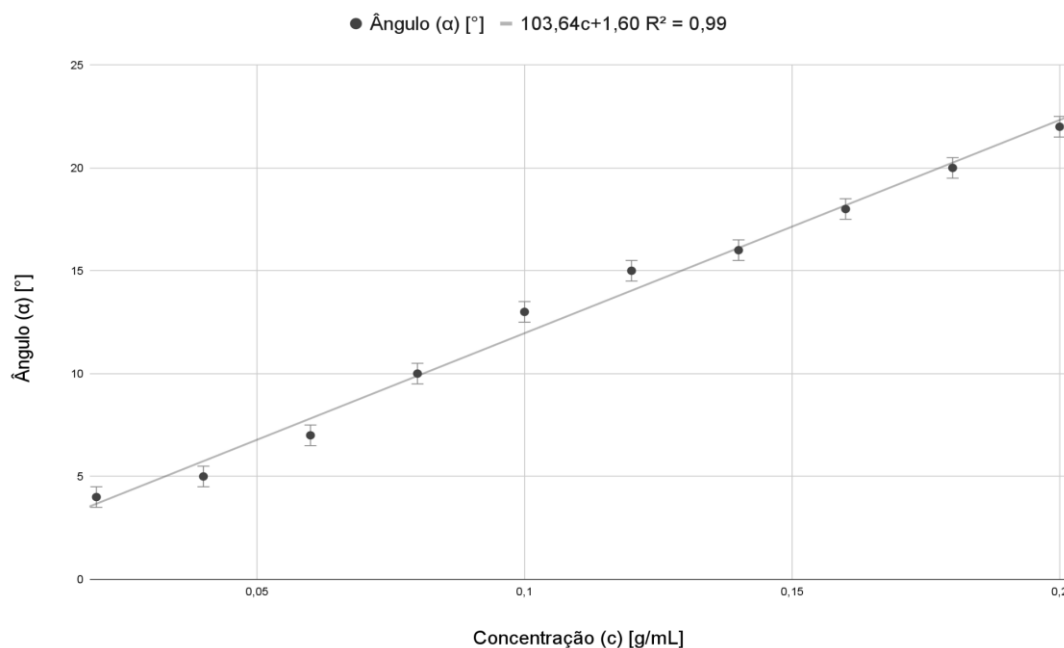


Figura 4: Gráfico de dispersão e regressão linear para os dados de ângulo de rotação (α) em função da concentração (c) de açúcar. A incerteza do ângulo de rotação foi estimada como a metade da menor divisão da escala do transferidor. Fonte: Dados da pesquisa

Colorimetria: A dependência da absorbância (A) em função da concentração relativa (fração volumétrica) (c) é apresentada na Figura 5. A análise de regressão linear dos dados experimentais (Tabela 2) apresentou uma correlação satisfatória ($R^2 = 0,978$), resultando na equação $A = 2,55 \cdot c - 0,36$. Com base na Lei de Beer-Lambert (Equação 2), onde o coeficiente angular corresponde ao produto do coeficiente de absorção (ϵ) pelo caminho óptico (l), e considerando ($l = 1,6$ dm), determinou-se um coeficiente de absorção experimental de $\epsilon \approx 1,6$ dm $^{-1}$. Devido à natureza comercial da tinta de carimbo utilizada como soluto, não há valores de referência na literatura para comparação direta; contudo, a linearidade observada valida o comportamento do sistema dentro da faixa de concentrações analisada. O intercepto negativo na regressão da colorimetria ($-0,36$) pode indicar um pequeno desvio sistemático, possivelmente relacionado à calibração do zero ou à influência de luz ambiente.

Tabela 2: Dados de colorimetria para soluções de tinta.

Concentração (c)	Intensidade (I) [lux]	Absorbância (A)
0,00	880	0,000
0,10	640	0,138
0,20	610	0,159
0,30	460	0,282
0,40	240	0,564
0,50	140	0,798
0,60	75	1,070

0,70	32	1,439
0,80	18	1,688
0,90	8	2,041
1,00	5	2,246

Fonte da Tabela: Dados da pesquisa

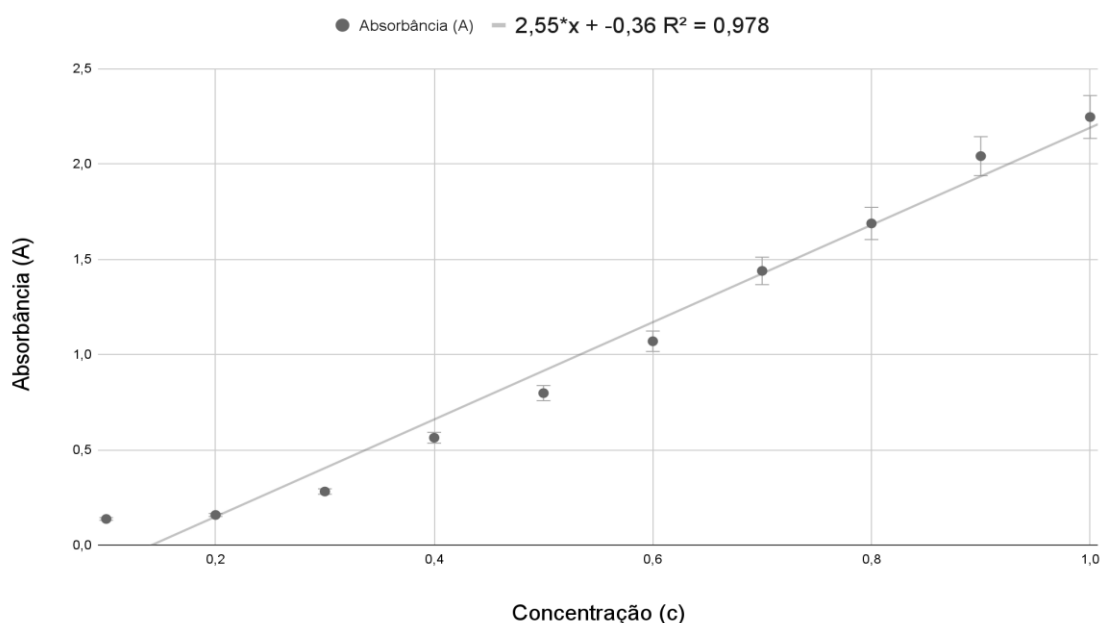


Figura 5: Gráfico de dispersão e reta de regressão para a absorvância (A) em função da concentração relativa (c) de tinta de carimbo. As barras de erro na absorvância foram estimadas a partir da propagação de erro das incertezas das intensidades luminosas obtidas pelo dispositivo.

Fonte: Dados da pesquisa

4.2 Aplicação em Contextos Educacionais

A aplicação do dispositivo junto a dois públicos distintos, alunos universitários e do ensino médio, revelou nuances pedagógicas importantes. No âmbito do Ensino Superior, os discentes demonstraram autonomia na realização de medições precisas e na elaboração de gráficos de regressão linear, voltando seu interesse para a correlação entre teoria e prática e levantando discussões críticas sobre fontes de erro experimental, algo corroborado pelo relato de um estudante que destacou o valor de visualizar a construção dos dados em tempo real durante a variação da concentração de açúcar: *“A parte mais legal foi ver os dados se formando na tela quando a gente adicionava mais açúcar”*.

Em contrapartida, no Ensino Médio, o equipamento destacou-se pela alta usabilidade e rápida curva de aprendizado após breve demonstração, gerando elevado engajamento, sobretudo na etapa de identificação do ângulo de mínima intensidade na polarimetria. As percepções qualitativas reforçam o impacto da ferramenta, variando desde a surpresa dos secundaristas quanto à capacidade científica de seus smartphones, expressa em falas como *“Nunca imaginei que meu celular pudesse*

fazer isso” até o reconhecimento, por parte de um docente observador, do potencial do aparato para aplicações além das inicialmente propostas: “Como professor, vejo potencial para várias outras aplicações além das sugeridas”.

5. Discussão

Os resultados obtidos confirmam a viabilidade técnica e pedagógica do dispositivo, conforme atestado pelos elevados coeficientes de determinação, para ambos os experimentos, e pela proximidade do valor experimental da rotação específica com o teórico da polarimetria. Para o contexto educacional, a consistência das relações lineares observadas é mais significativa que a precisão absoluta, pois permite aos estudantes visualizarem leis físicas fundamentais em ação, como a dependência linear entre concentração e absorbância ou ângulo de rotação.

A pesquisa também identificou desafios inerentes à abordagem, como a variabilidade entre sensores de diferentes smartphones, a dificuldade de controle experimental em ambientes de sala de aula e a demanda de tempo superior ao de uma aula convencional. Estas limitações, contudo, não invalidam a proposta; pelo contrário, elas abrem espaço para discussões ricas sobre o método científico, fontes de erro e estratégias de controle, integrando-se aos próprios objetivos formativos.

Em síntese, este trabalho oferece três contribuições principais para o ensino de ciências. Primeiro, demonstra um caminho viável para a democratização da experimentação quantitativa, com um custo drasticamente reduzido. Segundo, facilita uma integração curricular efetiva entre Física, Química e Matemática através de técnicas intrinsecamente interdisciplinares. Por fim, apresenta um modelo replicável de inovação pedagógica baseada em recursos acessíveis, cujo potencial é amplificado e compartilhado através da cartilha educacional (Figura 6), disponibilizada digitalmente (Alves dos Santos, Prolo Filho & Arashiro, 2025). O principal legado, portanto, transcende o aparato em si, residindo na demonstração de que a criatividade metodológica e uma sólida fundamentação pedagógica podem superar limitações materiais para promover uma educação científica de qualidade e significativa.



Figura 6: Imagens da cartilha educacional, disponibilizada digitalmente (Alves dos Santos, Prolo Filho & Arashiro, 2025), que busca criar uma alternativa viável e acessível para o ensino experimental de polarimetria e colorimetria. Fonte: Os autores.

6. Conclusão

Este estudo foi desenvolvido e avaliado com sucesso um dispositivo de baixo custo para experimentos de colorimetria e polarimetria com smartphones, demonstrando sua viabilidade técnica e pedagógica como alternativa aos equipamentos especializados escassos em muitos contextos educacionais. Os resultados validam a capacidade do aparato em gerar dados quantitativos, com elevadas correlações lineares que permitem aos estudantes visualizar e compreender leis físicas fundamentais em ação.

O processo de desenvolvimento, particularmente a transição para uma configuração vertical otimizada, evidenciou como soluções técnicas podem ser diretamente orientadas por objetivos pedagógicos. Ao tornar a tela do smartphone visível durante a experimentação, o dispositivo permitiu que os estudantes acompanhassem em tempo real a relação entre manipulação experimental e coleta de dados, facilitando a ancoragem conceitual. Sua aplicação em distintos níveis de ensino confirmou seu potencial de engajamento e usabilidade.

Embora desafios como a variabilidade entre sensores e o tempo operacional tenham sido identificados, estes se apresentam como oportunidades para enriquecer a discussão metodológica em sala de aula.

Por fim, o principal legado desta pesquisa reside na demonstração de que a integração entre criatividade experimental, fundamentação pedagógica sólida e recursos acessíveis pode efetivamente democratizar a investigação científica e promover uma educação científica de qualidade, mesmo em condições materiais adversas. O dispositivo, assim, se configura menos como um fim em si e mais como um exemplo replicável de inovação educacional contextualizada.

7. Agradecimentos

Agradecimento ao PDE/FURG 2022 e 2024, PIBITI-CNPq 2023 e PIBIC/CNPq 2025 pelo apoio financeiro.

8. Referências

Alves dos Santos, J., Prolo Filho, J. F. & Arashiro, E. (2025). *Laboratório Portátil de Óptica com Smartphone (LABÓPTICA): Um guia prático para experimentação de baixo custo em colorimetria e polarimetria*. <https://ciencia3d.furg.br/laboptica>

Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano.

Baptista Filho, M., Admiral, T. D., Machado, C. B. H., & Munaldi Lube, L. (2024). Explorando a absorção óptica através da construção de um colorímetro de baixo custo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46, e20240205. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0205>

Bauman Bertti, C. V., Arashiro, E. ., das Neves Avelaneda, V., & Neves Silveira, A. (2022). Determinação da aceleração da gravidade em um experimento de lançamento horizontal usando o detector de som de um smartphone. *Revista Do Professor De Física*, 6(2), 10–24. <https://doi.org/10.26512/rpf.v6i2.43178>

Brasil. (2025, 13 de janeiro). Lei nº 15.100, de 13 de janeiro de 2025. *Diário Oficial da União*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/L15100.htm

CNN Brasil. (2022, 26 de maio). Brasil tem mais smartphones que habitantes, aponta FGV. CNN Brasil. <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/brasil-tem-mais-smartphones-que-habitantes-aponta-fgv/>

da Silva Santos, M. F., & Laia, A. S. (2023). Abordagem quantitativa da polarização da luz: Explorando a Lei de Malus com o aplicativo PhyPhox. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 45, e20220320. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0320>

Harris, D. C. (2016). *Análise química quantitativa* (9a ed.). LTC.

Moreira, M. A. (2011). *Aprendizagem significativa: A teoria e textos complementares*. Livraria da Física.

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2021). *Fundamentos de química analítica* (9a ed.). Cengage Learning.

Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics education*, 53(4), 045009. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e>

Vygotsky, L. S. *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. São Paulo: Martins Fontes, 1978.