

UMA PROPOSTA DE INTRODUÇÃO DA FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO POR MEIO DE EXPERIMENTOS PRÁTICOS

Rafaelle da Silva Souza¹, Maria Gabriela Ribeiro da Silva², Jenifer Vitória de Jesus Santos³, Ariane Menezes Benedito⁴

¹ Instituto Federal da Bahia campus Salvador/Departamento de Física/ rafaellesilva@ifba.edu.br

²³⁴ Instituto Federal da Bahia campus Salvador

INTRODUÇÃO

A inserção da Física Quântica (FQ) no Ensino Médio representa, simultaneamente, um desafio epistemológico e uma oportunidade ímpar para renovar o ensino de Física, aproximando-o dos desenvolvimentos científicos que moldaram a tecnologia e a sociedade contemporâneas. Embora seus fundamentos sustentem dispositivos ubíquos como lasers, circuitos integrados, ressonância magnética e fibras ópticas, a abordagem da FQ na escola básica permanece, em grande parte, marginalizada, restrita a menções históricas ou a exposições excessivamente abstratas e descontextualizadas (PEREZ, 2016). Tal cenário não apenas limita o entendimento dos estudantes sobre fenômenos centrais do mundo moderno, como também mantém a disciplina afastada de debates científicos atuais, reforçando o distanciamento entre ciência escolar e ciência de fronteira.

Estudos recentes reforçam a urgência dessa atualização curricular. Ostermann e Cavalcanti (2004) já apontavam que a ausência sistemática de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio compromete a formação científica dos estudantes, perpetuando concepções ingênuas sobre a natureza da ciência. Em consonância, Bitzenbauer (2021) demonstra que a pesquisa internacional sobre ensino e aprendizagem de FQ tem crescido significativamente, revelando uma transição de abordagens estritamente conteudistas para investigações empíricas que exploram estratégias didáticas mais acessíveis, centradas na construção conceitual. No contexto brasileiro, entretanto, o panorama é mais restrito. Souza, Reis e Hora (2024), ao analisarem o estado da arte da divulgação científica em FQ, evidenciam que a maior parte das produções nacionais ainda se apoia em formalismos matemáticos sofisticados, resultando em materiais pouco adequados ao público não especializado e reforçando a ideia de que a teoria quântica é intrinsecamente inacessível.

Diante dessa lacuna, torna-se necessário desenvolver alternativas pedagógicas que aproximem os estudantes dos fenômenos quânticos sem exigir, em um primeiro momento, o domínio de formalizações matemáticas complexas. Argumentamos que a experimentação prática pode desempenhar papel central nesse movimento ao oferecer experiências concretas, manipuláveis e cognitivamente significativas. Protocolos experimentais envolvendo emissão e absorção de radiação, observação de espectros atômicos ou investigações do efeito fotoelétrico podem possibilitar que os estudantes construam bases conceituais sólidas antes do tratamento formal da

teoria, alinhando-se às recomendações de Greca e Herscovitz (2002), que defendem uma introdução conceitual inicial para minimizar dificuldades cognitivo-epistemológicas.

A proposta aqui apresentada organiza-se em três eixos articulados: (1) experimentos acessíveis e de baixo custo que abordam fenômenos quânticos fundamentais; (2) integração entre atividades práticas e simulações computacionais para explorar aspectos contra-intuitivos da teoria; e (3) contextualização histórica e tecnológica que evidencie a relevância contemporânea da FQ e sua presença em dispositivos cotidianos. Esta estrutura visa não apenas favorecer a compreensão conceitual, mas também ampliar a percepção dos estudantes acerca da natureza da ciência, seus métodos, limitações e potencial transformador.

Resultados preliminares coletados junto a realização de oficinas indicam que a experimentação prática contribui significativamente para ressignificar a FQ no imaginário escolar: de um campo “difícil e abstrato” para um domínio “fascinante, acessível e conectado com a realidade”. Assim, defendemos que estratégias experimentais, quando aliadas a mediações conceituais bem estruturadas, têm o potencial de não apenas favorecer a aprendizagem, mas também aproximar os estudantes da cultura científica contemporânea e da investigação física como prática social.

METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida caracteriza-se como um estudo de abordagem qualitativa, com ênfase em procedimentos investigativos baseados na experimentação prática e na análise das interações dos estudantes durante oficinas temáticas de FQ. O objetivo metodológico central foi avaliar o potencial pedagógico de atividades experimentais acessíveis, apoiadas pelo uso de Arduino, simulações e materiais de baixo custo, para a introdução de conceitos fundamentais da FQ no Ensino Médio.

As atividades foram realizadas em formato de oficinas experimentais, estruturadas por um grupo de estudantes da Licenciatura em Física que participaram de todas as etapas: montagem dos dispositivos, escrita dos roteiros, implementação das oficinas e discussão conceitual. A implementação das oficinas foi realizada na Semana Quântica – 4ª edição no Instituto Federal da Bahia campus Salvador (GETUPSCIENCE, 2025). Cada oficina teve duração média de duas horas e seguiu uma sequência didática composta por: 1) Apresentação contextual do fenômeno quântico associado; 2) Montagem orientada na qual os estudantes manipulavam diretamente os materiais; 3. Discussão conceitual guiada conectando os resultados obtidos às interpretações quânticas.

As oficinas contemplaram quatro conceitos da FQ principais: (a) absorção e emissão de radiação por corpos metálicos; (b) exploração do Princípio da Incerteza de Heisenberg; (c) determinação da constante de Planck por meio de LEDs; (d) exploração do Efeito Fotoelétrico. Esses tópicos foram selecionados por apresentarem alta relevância histórica e conceitual, além de permitirem experimentação direta com recursos de baixo custo.

Experimento 1: Absorção e Emissão de Radiação por um Corpo Metálico

Nesta atividade, duas vasilhas, uma preta e outra branca, foram equipadas com sensores de temperatura conectados a uma placa Arduino. As vasilhas foram submetidas a uma fonte de radiação térmica (lâmpada incandescente) para registrar diferenças na absorção e emissão de calor. O Arduino foi programado para monitorar continuamente as temperaturas por meio do monitor serial, permitindo acompanhamento em tempo real dos dados coletados. Os estudantes participaram da demonstração do experimento com atenção para a operação do sistema durante o aquecimento dos materiais. Os dados numéricos foram registrados em planilhas e posteriormente analisados, relacionando as diferenças de temperatura às propriedades ópticas dos materiais. Essa abordagem permitiu discutir princípios fundamentais da radiação térmica, quantização e origem histórica da FQ.

Experimento 2: Princípio da Incerteza de Heisenberg

A segunda oficina utilizou um sistema de fenda ajustável construído com lápis e elásticos, associado a um laser de baixa potência. Ao variar a largura da fenda, os estudantes observaram experimentalmente a relação entre confinamento espacial e alargamento do padrão de difração, caracterizando a relação inversa entre Δy (incerteza na posição) e Δp_y (incerteza no momentum). Os participantes registraram o padrão de difração, anotaram mudanças decorrentes da variação da fenda e responderam a questões reflexivas sobre a natureza da luz e o comportamento dual onda-partícula. Paralelamente, foi utilizada uma caixa opaca controlada por Arduino para simular de maneira lúdica a ideia de superposição e colapso (experimento mental do Gato de Schrödinger), favorecendo a compreensão de conceitos abstratos em situações concretas.

Experimento 3: Determinação da Constante de Planck

Na terceira oficina, grupos de estudantes receberam kits contendo Arduino, LEDs de diferentes cores, resistores e multímetros. Cada grupo montou circuitos simples para medir a tensão limiar necessária para acender cada LED. A partir dessa tensão, calcularam a energia aproximada dos fótons emitidos e a relacionaram à frequência correspondente, obtida pelo comprimento de onda fornecido. Os registros foram compartilhados, permitindo comparação entre os grupos e discussão sobre fontes de incerteza, como precisão dos instrumentos, variações ambientais e estabilidade das conexões. O cálculo coletivo da constante de Planck aproximada constituiu o momento culminante da atividade, promovendo articulação entre práticas laboratoriais e fundamentos matemáticos elementares da FQ.

Experimento 4: Efeito Fotoelétrico

A quarta oficina integrou história, tecnologia e experimentação para introduzir tópicos da FQ por meio de uma contextualização sobre a invenção da lâmpada por Thomas Edison e a evolução dos estudos sobre a luz, abordando como os átomos emitem radiação, o Efeito Hertz e o efeito

fotoelétrico explicado por Albert Einstein. Em seguida, os participantes conheceram o Arduino e aprenderam a utilizá-lo em experimentos de eletrônica básica. A etapa prática envolveu a montagem de circuitos e a execução de dois experimentos: acender e apagar um LED e simular um semáforo, relacionando programação, eletrônica e conceitos físicos. A oficina foi finalizada com uma breve avaliação conceitual sobre o efeito fotoelétrico, consolidando a aprendizagem de forma interativa e acessível.

Levantamento de dados

Para compreender como os estudantes vivenciaram o processo de planejamento e execução das quatro oficinas da Semana Quântica, utilizou-se a Análise de Conteúdo proposta por Bardin (2011), por ser um método robusto e amplamente empregado na investigação de sentidos atribuídos pelos participantes em discursos orais. O corpus analisado foi composto por entrevistas gravadas – através do Podcast Fisicamente – com os estudantes responsáveis pelas oficinas, posteriormente transcritas. O processo analítico ocorreu em três etapas principais. Na pré-análise, realizou-se uma leitura flutuante de todo o material a fim de identificar elementos recorrentes e potenciais unidades de sentido relacionadas à experiência formativa. Em seguida, procedeu-se à exploração do material, etapa em que foram selecionados os trechos significativos das falas e atribuídos códigos iniciais. A codificação foi conduzida de forma indutiva e dedutiva: parte das categorias emergiu diretamente das falas, enquanto outras foram orientadas pelos objetivos das oficinas e pelos pressupostos teóricos da divulgação científica e da aprendizagem ativa.

Do processo de codificação resultaram nove categorias temáticas: dificuldades teóricas em FQ, desafios técnicos com Arduino, aprendizagem prática, transposição didática, trabalho em equipe, papel da professora orientadora, engajamento do público, perseverança diante de dificuldades e importância da aplicação prática. Cada categoria foi validada por meio da presença de múltiplos trechos de fala atribuídos por diferentes participantes. Para auxiliar a visualização da distribuição dessas categorias, as ocorrências foram quantificadas e organizadas em um quadro de frequência, posteriormente representado em um gráfico de barras (figura 1), permitindo observar quais temas se destacaram mais intensamente nas entrevistas.

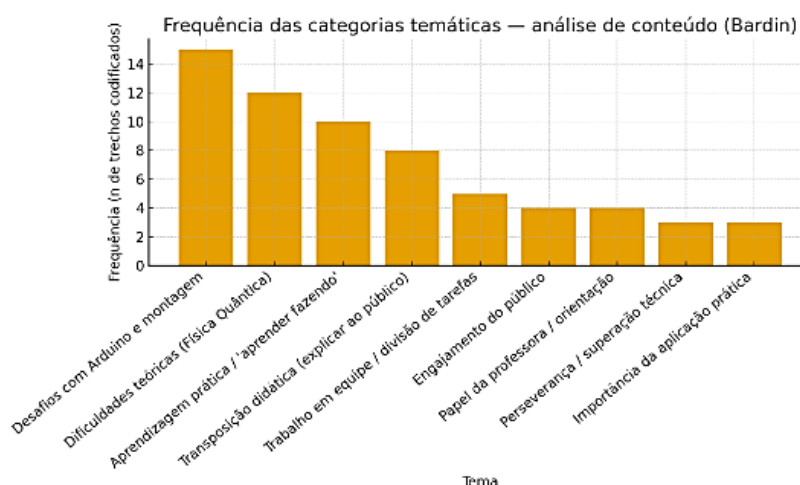
Quadro 1. Categorias de Análise e Trechos de Falas das Entrevistas

CATEGORIA DE ANÁLISE	DESCRIÇÃO	TRECHOS DAS FALAS (EVIDÊNCIAS)
Dificuldades teóricas em Física Quântica	Participantes relatam que os conceitos quânticos foram difíceis e exigiram estudo aprofundado.	“No início do projeto encontramos algumas dificuldades... a necessidade de estudar sobre o assunto tratava de um tema que envolvia partes da física.” “Tivemos que aprender e estudar um pouco mais além da disciplina.”
Desafios com Arduino e montagem de circuitos	As equipes revelam dificuldades com protoboard, componentes e código.	“As dificuldades encontradas foram manusear os componentes, montar o circuito...”

		“Tivemos dificuldades com o funcionamento do ventilador...” “Tive bastante dificuldades no desenvolvimento, montagem e programação.”
Aprendizagem prática e evolução	Participantes relatam que aprenderam fazendo, superando erros e desenvolvendo autonomia.	“Fomos aprendendo a montar e programar, a gente foi assistindo vídeos e a professora mostrou um celular controlando motores...” “Criamos, modificamos e reconstruímos algo diversas vezes até chegar ao objetivo.”
Transposição didática (explicar para o público)	Os grupos apontam preocupação em tornar os conteúdos acessíveis.	“Buscamos aperfeiçoar a explicação para os alunos.” “O objetivo principal era explicar as leis físicas levadas em forma visual e prática.”
Reações e engajamento do público	As entrevistas mostram forte entusiasmo dos visitantes e impacto positivo.	“Eles gostaram muito da maquete... queriam apertar o botão.” “Os alunos ficaram felizes e interessados com a funcionalidade.”
Trabalho em equipe e colaboração	O processo revelou aprendizagem conjunta e apoio mútuo.	Cada um se empenhou para entender e poder desenvolver o que foi proposto.” “Nos ajudamos uns aos outros até concluir.”
Superação e perseverança	As falas evidenciam esforço contínuo diante de problemas técnicos e conceituais.	“Mesmo tendo dificuldades... tivemos empenho para concluir.” “Mesmo com dificuldades que encontrei no caminho consegui entender...”
Papel da Professora orientadora	A orientação foi citada como suporte fundamental.	“Com a supervisão da professora Rafaelle... tivemos ajuda nas dúvidas.” “Ela explicou sobre os motores e ajudou na construção.”
Importância da aplicação prática da ciência	Os estudantes destacam o impacto de experimentar a física de forma concreta.	“Foi uma experiência muito boa poder ver na prática o que estudamos.” “Os alunos gostaram de ver o motor funcionando, isso chamou atenção.”

Fonte: autoria própria

Figura 1. Frequências das categorias codificadas



Fonte: autoria própria

A etapa final consistiu no tratamento e interpretação dos resultados, focando na identificação de regularidades, convergências e tensões presentes no discurso dos estudantes. Essa etapa permitiu compreender tanto os desafios vivenciados, como as estratégias adotadas para superá-los, além

de evidenciar a importância atribuída à experimentação, ao uso do Arduino e à orientação docente na construção das oficinas. A triangulação entre categorias temáticas, citações e frequências contribuiu para uma compreensão abrangente da experiência formativa proporcionada pelo projeto, subsidiando a discussão apresentada na seção seguinte do artigo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise temática das entrevistas revelou um conjunto consistente de percepções, desafios e aprendizagens vivenciadas pelos estudantes responsáveis pela organização das quatro oficinas da Semana Quântica. A partir da codificação das falas, emergiram nove categorias principais, com maior frequência para: desafios técnicos com Arduino ($n=15$), dificuldades teóricas relacionadas à Física Quântica ($n=12$), aprendizagem prática por tentativa e erro ($n=10$) e transposição didática para o público estudantil ($n=8$). Categorias menos frequentes, mas igualmente relevantes, incluíram trabalho em equipe ($n=5$), papel da professora orientadora ($n=4$), engajamento do público ($n=4$), perseverança diante de dificuldades técnicas ($n=3$) e importância da aplicação prática para a compreensão conceitual ($n=3$).

Os trechos das entrevistas indicam que os estudantes perceberam as oficinas como uma experiência desafiadora e formativa, destacando tanto a complexidade da FQ quanto a necessidade de estudar conteúdos que, em muitos casos, ainda não haviam sido formalmente aprendidos em sala de aula. Relatos como “física quântica não é nada fácil, tive que ler e reler” e “precisamos estudar além do que foi visto nas disciplinas” mostram que o aprofundamento conceitual foi considerado essencial para a execução do projeto.

Do ponto de vista técnico, os estudantes relataram dificuldades significativas com o Arduino, especialmente na montagem de circuitos e na depuração de códigos. Foram frequentes expressões como “meu circuito deu curto” ou “tive que refazer várias vezes até funcionar”, evidenciando que o processo de construção foi marcado por tentativa e erro. Ainda assim, os estudantes reconhecem que esse processo contribuiu para sua autonomia, afirmando que “aprendemos fazendo”.

Outro resultado relevante foi a preocupação dos estudantes com a transposição didática: adaptar linguagem, selecionar exemplos acessíveis e conectar a teoria quântica com experimentos simples foram tarefas recorrentes. As entrevistas mostram também que a mediação da professora orientadora teve papel fundamental na consolidação dos conhecimentos técnicos e conceituais. Por fim, observou-se que o público das oficinas reagiu positivamente às demonstrações práticas, especialmente às montagens com LEDs, motores e sensores, com falas como “os alunos ficaram felizes e queriam apertar o botão”.

Os resultados indicam que a experiência de elaboração e realização das oficinas funcionou como um ambiente complexo de aprendizagem, no qual teoria, prática e mediação pedagógica se

articularam de forma dinâmica. A predominância da categoria “desafios técnicos com Arduino” sugere que o uso de tecnologias maker, embora atrativo, requer um suporte estruturado de formação prévia. Isso corrobora estudos sobre ambientes STEAM e cultura maker, que apontam a necessidade de apoio docente e recursos contínuos para que estudantes desenvolvam confiança e autonomia em práticas de prototipagem e programação (SOUZA; TELES; RODRIGUES, 2022).

Da mesma forma, a forte presença de “dificuldades teóricas” reflete a natureza abstrata da FQ e confirma achados de pesquisas em ensino de física que ressaltam a importância de atividades investigativas, experimentação e estratégias de transposição didática para superar barreiras conceituais. Os relatos de esforço, releitura e busca de materiais suplementares mostram que os estudantes vivenciaram um processo de apropriação conceitual mais profundo do que o geralmente proporcionado por práticas expositivas tradicionais.

A categoria “aprendizagem prática” confirma a eficácia de metodologias ativas na formação de estudantes, que reconhecem a experimentação como elemento central para tornar a Física Quântica tangível. A literatura sobre aprendizagem significativa sugere que o entendimento se fortalece quando conceitos abstratos são articulados com situações concretas, exatamente o que ocorre nas montagens com Arduino, que traduzem fenômenos como fotoelétrico ou emissão de luz em experimentos visuais e manipuláveis.

A preocupação com a transposição didática demonstra maturidade pedagógica emergente. Os estudantes não apenas dominaram os conteúdos, mas também refletiram sobre como comunicá-los a diferentes públicos, o que dialoga com princípios freireanos de mediação crítica e com a competência docente de transformação de saberes especializados em saberes ensináveis.

Por fim, o destaque para o “engajamento do público” e para a “orientação docente” reforça que oficinas bem-sucedidas dependem tanto da qualidade do planejamento quanto de suas dimensões relacionais: interação, acolhimento, acessibilidade e suporte pedagógico contínuo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das entrevistas demonstra que as oficinas da Semana Quântica constituíram um ambiente formativo rico para os estudantes organizadores, combinando desafios cognitivos, técnicos e pedagógicos. Os participantes desenvolveram não apenas conhecimentos de Física Quântica e habilidades com Arduino, mas também competências de ensino, comunicação científica, trabalho colaborativo e resolução de problemas.

Os resultados evidenciam que a articulação entre teoria e prática, característica central do projeto, favoreceu uma aprendizagem profunda e significativa, permitindo aos estudantes vivenciar a ciência não apenas como conteúdo, mas como processo investigativo. A experiência revelou também a

importância da mediação docente e da oferta de suporte técnico contínuo, elementos fundamentais para o sucesso de iniciativas de divulgação científica baseadas em tecnologias educativas.

Conclui-se que projetos desse tipo contribuem para a formação integral dos estudantes, estimulam o protagonismo juvenil e ampliam a compreensão pública sobre temas complexos como a FQ. Recomenda-se que futuras edições reforcem momentos de formação prévia em eletrônica e pedagogia, ampliem os espaços de reflexão sobre a prática e incentivem maior sistematização dos registros, garantindo aprimoramento contínuo das ações educativas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro que permitiu a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011.

BITZENBAUER, Philipp. Quantum Physics Education Research over the Last Two Decades: A Bibliometric Analysis. *Education Sciences*, v. 11, n. 699, p. 1–20, 2021.

GRECA, I. M.; HERSCOVITZ, V. E. Introdução à Mecânica Quântica: notas de curso. Textos de apoio ao professor de Física, n. 13, 2002.

GETUPSCIENCE. Física moderna na perspectiva STEAM MAKER. Get UpScience, [2025]. Disponível em: <https://getupscience.com/fisica-moderna-na-perspectiva-steam-maker/>. Acesso em: 3 fev. 2025.

OSTERMANN, F.; Cavalcanti, C. J. H. Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 2, p. 112-119, 2004.

PEREZ, S. Mecânica Quântica: um curso para professores da Educação Básica. Editora Livraria da Física, 2016.

SOUZA, R. S.; TELES, J. N. S.; RODRIGUES, L. A. Atividades STEAM Maker: investigando contribuições de práticas extracurriculares no IFBA campus Seabra. *Revista de Estudos em Educação e Diversidade - REED*, v. 3, n. 7, p. 1-23, 2022.