



Luciano Gomes de Medeiros Junior¹# , Amanda Ribeiro de Azevedo Rodrigues Mendes¹ 

¹Departamento de Ciências Exatas, Biológicas e da Terra, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Palavras-chave

física moderna e contemporânea
experimentos de baixo custo
ensino de física
formação de professores
metodologias ativas

Resumo

Esta pesquisa investigou o ensino de física moderna e contemporânea (FMC) em escolas públicas do Noroeste Fluminense/RJ, desenvolvendo oficinas com experimentos acessíveis sobre o tema para os professores de física. Os resultados demonstraram que a proposta foi eficiente como recurso pedagógico, particularmente em contextos de escolas com carência de materiais e docentes com formação inadequada, revitalizando o ensino de física e despertando o interesse dos alunos pela FMC.

1. Introdução

No final do século XIX, Lord Kelvin (William Thomson) afirmou, em uma famosa palestra em 1900, que a física estava praticamente completa, restando apenas “duas pequenas nuvens no horizonte” - referindo-se às dificuldades em explicar a radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico. Essas “nuvens” acabariam desencadeando a revolução da física moderna, com o surgimento da teoria da relatividade (Einstein) e da mecânica quântica (Planck, Bohr e Heisenberg, entre outros) [1].

A virada do século XX revelou fenômenos inexplicáveis pela física clássica - raios X, radioatividade, efeito fotoelétrico -, culminando na

chamada “catástrofe do ultravioleta”. Como destacam Ostermann e Cavalcanti, “a física é um dos mais claros exemplos de construção do conhecimento humano” [2], sendo essencial para formar cidadãos conscientes. Contudo, mesmo no século XXI, muitos desses conceitos revolucionários ainda não chegam adequadamente às salas de aula.

Como destacam Ostermann e Cavalcanti, “a física é um dos mais claros exemplos de construção do conhecimento humano”

Nosso trabalho desenvolveu uma abordagem prática para o ensino de física moderna

e contemporânea (FMC) no Noroeste Fluminense/RJ, utilizando experimentos de baixo custo adaptados à realidade de escolas públicas. A metodologia incluiu questionários diagnósticos, oficinas práticas e implementação em sala de aula, demonstrando que mesmo profes-

#Autor de correspondência. E-mail: lucianomedeiros@id.uff.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

sores sem formação específica em física conseguiram aplicar com sucesso os conceitos. Os resultados confirmaram o potencial das atividades experimentais para tornar acessíveis temas complexos, alinhando-se às necessidades curriculares e à formação cidadã dos estudantes.

2. A experimentação como estratégia pedagógica no ensino de física

A experimentação no ensino de ciências tem sido defendida há séculos por pensadores como Locke, Rousseau, Pestalozzi, Montessori e Dewey, que valorizavam a aprendizagem ativa e a experiência concreta [3, 4]. Hoje, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) reforça esse princípio, destacando a experimentação como essencial para desenvolver o pensamento científico, a investigação e a criticidade dos estudantes - habilidades fundamentais em uma era de excesso de informação [5]. A BNCC estabelece quatro objetivos principais para a experimentação em física: (1) promover a cultura científica, (2) desenvolver análise crítica, (3) facilitar a compreensão de fenômenos complexos e (4) contextualizar o conhecimento na realidade dos alunos [5].

Da Silva [6] ressalta que a experimentação exige uma mudança no papel do professor, que deve passar de transmissor de conhecimento para mediador de investigações. Este trabalho adota o método demonstrativo, que tem vantagens como: i) reduzir a dependência de formação especializada prévia, ii) estimular a curiosidade científica, iii) transformar conceitos abstratos em fenômenos visíveis e iv) facilitar a conexão entre teoria e realidade.

No entanto, a escassez de recursos nas escolas públicas do Estado do Rio de Janeiro limita a experimentação. Este estudo propõe o uso de materiais de baixo custo para demonstrar fenômenos físicos de FMC. Apesar da iniciativa de alguns professores em áreas como termologia e eletricidade, a FMC ainda é negligenciada.

No estado do Rio de Janeiro, a FMC é integrada ao Ensino Médio conforme a BNCC e o Currículo Referencial do Estado (2024) [7] da seguinte forma: 1ª série: cosmologia (Big Bang, expansão do Universo, relatividade geral); 2ª série: espectro eletromagnético (tecnologias como rádio e fibras ópticas) e efeito estufa (relação com termodinâmica e física quântica); 3ª série: não tem física como disciplina obrigatória (devido à reforma de 2017).

Ostermann e Rezende [8] destacam que a redução da carga horária em ciências da natureza, conforme estabelecido na BNCC, fragiliza a formação científica básica dos estudantes. Essa flexibilização curricular impacta diretamente a preparação para exames como o ENEM e vestibulares, conforme evidenciado por dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Edu-

cacionais Anísio Teixeira (INEP) [9], que apontam uma queda de 18% no desempenho médio em física nas escolas que adotaram o novo modelo.

A experimentação é uma ferramenta poderosa para superar deficiências na formação docente e no ensino da FMC, mas sua implementação depende de recursos acessíveis, formação continuada e mudanças curriculares que valorizem a física no Ensino Médio.

3. Metodologia

Este trabalho teve como objetivo desenvolver estratégias pedagógicas para inserir tópicos de FMC no Ensino Médio, utilizando experimentação de baixo custo adaptada à realidade de escolas públicas. O público-alvo foram professores de física de quatro escolas estaduais do Noroeste Fluminense/RJ (três em Santo Antônio de Pádua e uma em Miracema), selecionados pela proximidade com o *campus* universitário.

Adotamos uma abordagem qualitativa baseada em estudo de caso, conforme Lüdke e André [10], para analisar o impacto de oficinas de FMC com experimentos acessíveis. A pesquisa foi desenvolvida em etapas: primeiro, aplicamos questionários diagnósticos aos alunos (para verificar se a FMC era abordada, incluindo experimentos) e aos professores (sobre o uso de experimentação, temas trabalhados, formação acadêmica e interesse em capacitação).

Os professores participantes foram selecionados conforme disponibilidade e atuação na educação básica. As oficinas seguiram quatro etapas: (1) aula expositiva teórico-histórica, (2) demonstração de experimentos de baixo custo, (3) introdução ao software PhET¹ para simulações e (4) construção guiada dos experimentos pelos professores.

A escolha dos temas de FMC abordados nas oficinas partiu de uma revisão bibliográfica baseada no estudo de Ostermann e Moreira [11], que emprega a técnica Delphi² para identificar os principais tópicos de FMC relevantes para o Ensino Médio. Dentre os diversos temas analisados - incluindo supercondutividade, teoria da relatividade, efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, radioatividade e outros -, priorizamos aqueles que permitiam uma abordagem experimental com materiais de baixo custo, conforme recomendado por Ostermann e Cavalcanti [2] e Terrazan [13].

No primeiro encontro, abordamos os fenômenos da difração e da dispersão da luz, que estão ilustrados no [Quadro 1](#).

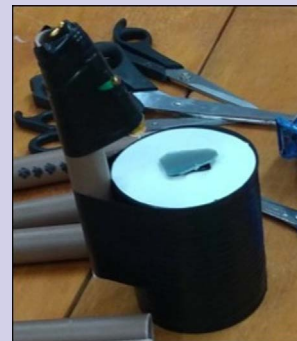
No segundo encontro, abordamos os fenômenos da relatividade geral e do efeito fotoelétrico, que estão disponíveis no [Quadro 2](#).

No terceiro encontro, abordamos os fenômenos da excitação eletrônica e luminescência, que estão mostradas no [Quadro 3](#).

Da Silva ressalta que a experimentação exige uma mudança no papel do professor, que deve passar de transmissor de conhecimento para mediador de investigações

Quadro 1: Sequência didática para os experimentos difração da luz e dispersão da luz.

1. Difração da luz	
Etapa	Descrição
Objetivo	Demonstrar a difração da luz usando um CD como rede de difração e relacionar o fenômeno com aplicações práticas.
Introdução teórica	• Explicação do fenômeno de difração como sendo o espalhamento da luz ao encontrar obstáculos ou fendas. • Demonstração prática usando um CD, mostrando como suas trilhas funcionam como rede de difração. • Discussão sobre como o padrão de cores observado se relaciona com o comprimento de onda da luz [14, 15].
Materiais utilizados	Uma lata de leite em pó, abridor de lata, lixa, tesoura, bexiga, fita isolante, CD virgem, ponteira laser, estilete e cano de PVC.
Construção guiada do experimento e procedimentos	- Remova ambas as tampas da lata e lixe as bordas. - Corte o bico do balão e fixe a parte redonda em uma das extremidades da lata. - Recorte um pedaço da parte espelhada do CD. - Cole o pedaço de CD (com o lado espelhado para fora) no centro do balão esticado, utilizando fita isolante. - Em uma extremidade do cano de PVC, faça um vão para fixar o laser em um ângulo inclinado, de modo que a luz incida sobre o pedaço de CD fixado no balão. - Fixe o laser na abertura do cano com fita isolante. Em seguida, una o suporte (cano) e a lata com mais fita, garantindo que o laser, quando ligado, incida corretamente no CD. - Apague as luzes da sala e projete a luz refletida pelo CD em um anteparo (como uma parede). - Fale dentro da lata e observe o efeito produzido.
Aplicações pedagógicas	O que é visto refletido? Padrão de pontos ou franjas causado pela interferência da luz difratada nas trilhas do CD. Por que há múltiplos pontos refletidos? Cada trilha do CD age como uma fonte secundária de luz (princípio de Huygens), gerando interferência construtiva em ângulos específicos. Efeito do som vibrando o CD: As ondas sonoras fazem o balão vibrar, modulando a posição do CD e alterando o caminho óptico da luz, criando um “efeito holográfico” dinâmico.
2. Dispersão da luz	
Etapa	Descrição
Objetivo	Mostrar a decomposição da luz branca em cores do espectro visível, relacionando-a com fenômenos naturais como o arco-íris.
Introdução teórica	• Explicação da dispersão da luz como sendo a separação da luz branca em suas cores componentes (espectro visível); • Demonstração usando um prisma ou CD inclinado, mostrando a formação do arco-íris; • Discussões sobre aplicações cotidianas: i) menção à capa do álbum The Dark Side of the Moon (Pink Floyd) e ii) explicação da coloração do céu (relação entre comprimento de onda e refração do ar) [14, 15].
Materiais utilizados	Uma vasilha com água, um pedaço pequeno de espelho, fita isolante, um pedaço de apoio pesado e um laser de luz branca.
Construção guiada do experimento e procedimentos	- Fixe o espelho ao apoio com a fita isolante. - Coloque ≈ 10 cm de água na vasilha e posicione o espelho no fundo. - Peça ajuda a um aluno para manter a lanterna de luz branca em uma posição sobre a água, a fim de que ao ser refratada ela incida no espelho submerso. - Peça ao aluno para ir alterando a angulação da lanterna em relação ao espelho, observando o que acontece.



(continua)

Aplicações pedagógicas	Angulação do espelho: - Influencia a direção da luz refletida e a nitidez da dispersão. Cores da luz branca: - Vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta (espectro visível). Meios de propagação da luz: - Ar → água → espelho → água → ar. Meio com maior índice de refração: - Água ($n \approx 1,33$) em comparação com o ar ($n \approx 1$). Efeito da diferença de refração: - Cada cor sofre um desvio diferente devido à dispersão, separando-as. Cor mais desviada: - Violeta/azul (menor comprimento de onda) é a mais desviada, enquanto o vermelho é o menos desviado.
------------------------	---

Quadro 2: Sequência didática para os experimentos relatividade geral e efeito fotoelétrico.

1. Relatividade geral (simulação da curvatura do espaço-tempo)	
Etapa	Descrição
Objetivo	Demonstrar como a massa deforma o espaço-tempo, simulando efeitos gravitacionais com materiais simples.
Introdução teórica	- Contextualização histórica: diferenças entre relatividade restrita (1905) e geral (1915). - Explicação do conceito de curvatura do espaço-tempo usando analogias cotidianas. - Discussões sobre como a massa dos objetos deforma o espaço-tempo (ex.: buracos negros, lentes gravitacionais) [16-18].
Materiais utilizados	Um tecido de lycra, uma bacia (diâmetro interno de 40 cm ou mais), um elástico grande para firmar o tecido na bacia e bolas de diferentes massas (de ferro e de gude).
Construção guiada do experimento e procedimentos	- Corte o tecido de lycra com o mesmo diâmetro da bacia. - Com o elástico, fixe o tecido na parte superior da bacia, tampando-a. - Coloque as bolas de diferentes massas sobre o tecido: i) bola de gude, causando pequena deformação; ii) bola de ferro, causando grande deformação.
Aplicações pedagógicas	Efeito de massas no tecido (espaço-tempo): - A bola com maior massa deforma mais o tecido em comparação com a bola mais leve, ilustrando como corpos celestes curvam o espaço-tempo. Bola pesada no centro + bolas leves: - As bolas leves orbitam ou são atraídas pela bola central, simulando como planetas são mantidos em órbita pela gravidade de uma estrela (ex.: Sistema Solar). Interações com massas diferentes: Diferentes arranjos mostram variações na atração gravitacional e órbitas, ajudando a entender: i) órbitas elípticas (ex.: com bolas em movimento); ii) colisões ou captura gravitacional (ex.: bolas que “caem” no centro).
2. Efeito fotoelétrico (natureza corpuscular da luz)	
Etapa	Descrição
Objetivo	Comprovar que a luz libera elétrons de metais apenas acima de certa frequência (comprovando a teoria quântica de Einstein).
Introdução teórica	- Explicação do contexto histórico: Einstein (1905) e o Prêmio Nobel (1921). - Explicação do fenômeno: emissão de elétrons por metais sob luz. - Explanação sobre os conceitos-chave: energia de limiar, função trabalho e quantização da energia luminosa (fótons). - Discussão sobre a relação com a dualidade onda-partícula [16-18].
Materiais utilizados	Uma luminária pequena de jardim com energia solar, solda, ferro de solda, uma lâmpada de LED, uma lanterna de luz branca, um laser de luz vermelha e um laser de luz azul.
Construção guiada do experimento e procedimentos	Solte a tampa de vidro da luminária para observar o LED e os parafusos.



(continua)

- b. Abra a caixa base da luminária.
- c. Observe o circuito formado, onde há o LED conectado a uma placa sensorial com um resistor, ligado a uma pilha que está ligada à placa fotovoltaica.
- d. Para retirar o sensor, fazendo com que o circuito contenha apenas o LED e a placa fotovoltaica, solde o LED e a placa com cuidado.
- e. Com um fio encapado, solde o polo positivo do LED na placa fotovoltaica.
- f. Com outro fio encapado, solde o polo negativo do LED na placa fotovoltaica.



Procedimentos para observar o efeito fotoelétrico:

- i. Apague a luz da sala.
- ii. Incida sobre a placa fotovoltaica a luz branca (pode usar a do celular) e observe o que acontece com o LED: LED acendeu (contém frequências altas, como azul/violeta).
- iii. Com o laser de luz azul, repita o mesmo procedimento e observe o que acontece com o LED: LED acendeu brilhantemente (fótons com energia suficiente, $E = hf$).
- iv. Com o laser de luz vermelha, repita o procedimento anterior e observe o que acontece com o LED: LED não acendeu, mesmo com aumento de intensidade (energia insuficiente, $hf < \Phi$).
- v. Aproxime mais o laser vermelho da placa e observe o que acontece com o LED.

Aplicações pedagógicas

Tipo de luz que acendeu o LED:

- Luz branca e laser azul (frequências mais altas). O laser vermelho só funcionaria em materiais com função trabalho muito baixa (ex.: cério).

Radiação necessária para o efeito fotoelétrico:

- Frequência acima do limiar ($f > \Phi/h$). No experimento, o **laser azul** (maior frequência) liberou elétrons, enquanto o **vermelho** (menor frequência) não, mesmo com alta intensidade.

Dependência da intensidade da radiação?

- Não. Aumentar a intensidade do laser vermelho (aproximando-o da placa) não acionou o LED, confirmando a teoria de Einstein: a emissão de elétrons exige fótons com energia mínima ($hf \geq \Phi$) e não apenas muitos fótons (intensidade).

Quadro 3: Sequência didática para os experimentos excitação eletrônica e luminescência.

1. Excitação eletrônica

Etapa	Descrição
Objetivo	Demonstrar como átomos emitem cores específicas quando excitados, relacionando com estrutura eletrônica e modelos atômicos.
Introdução teórica	- Explanação sobre a linha do tempo dos modelos atômicos: Dalton → Thomson → Rutherford → Bohr. - Discussões sobre a quantização de energia nos níveis eletrônicos. - Explicação sobre a relação com o desenvolvimento da mecânica quântica [17-19].
Materiais utilizados	Sal de cozinha - sódio (amarelo); pedra hume - alumínio de potássio (azul); farinha de cálcio para aves (vermelho alaranjado); recipiente de metal raso (fôrmas de empada); álcool; fósforo, e colher de metal.
Construção guiada do experimento e procedimentos	a. Coloque pequenas quantidades de cada composto nos recipientes separados, adicionando algumas gotas de álcool a cada amostra para facilitar a combustão. b. Com o fósforo, coloque fogo (CUIDADOSAMENTE) em cada conjunto, separadamente, usando a colher de metal para mexer aos poucos, observando a coloração da chama formada. c. Observe a coloração da chama formada em cada conjunto.



(continua)

Diferença observada entre os compostos:

- Cada elemento químico emite uma cor característica ao ser aquecido, devido à excitação e ao relaxamento de elétrons.

Coloração da chama para cada composto:

- Pedra hume (contendo potássio, K): azul-violeta.
- Sal de cozinha (NaCl - sódio, Na): amarelo intenso.
- Farinha de cálcio (Ca): vermelho-alaranjado.

Frequência no espectro visível e explicação:

- Sódio (Na): ≈ 589 nm (amarelo) - transição eletrônica mais intensa.
- Potássio (K): ≈ 404 nm (violeta) e 766 nm (infravermelho, pouco visível).
- Cálcio (Ca): ≈ 622 nm (vermelho) e 423 nm (azul, menos intenso).

Explicação: cada elemento tem níveis de energia quantizados e a luz emitida corresponde à diferença energética entre esses níveis ($E = hf$).

2. Luminescência

Etapa	Descrição
Objetivo	Diferenciar fluorescência (emissão imediata) e fosforescência (emissão prolongada), relacionando com transições eletrônicas.
Introdução teórica	• Definimos e diferenciamos os conceitos: fluorescência (emissão imediata) e fosforescência (emissão prolongada). • Explicamos outros tipos de luminescência (bioluminescência, quimiluminescência). • Explicamos a base física dos conceitos: transições eletrônicas permitidas e proibidas. • Contextualizamos historicamente as descobertas e as aplicações [17-19].
Materiais utilizados	Um copo de vidro liso, um pedaço de papel branco, marca-texto, sabão em pó, papel fosforescente, laser de luz azul, fita adesiva e marcador permanente azul.
Construção guiada do experimento e procedimentos	Obs.: Se não tiver acesso a uma luz negra ou laser azul, monte sua própria luz negra: 1) Pegue um pedaço de fita adesiva transparente e cole na lanterna do celular. 2) Pinte em cima do LED da lanterna do celular com o marcador permanente azul e cole outro pedaço da fita por cima. 3) Repita esse procedimento 5 vezes. Observação da luminescência a) Coloque aproximadamente 100 mL de água no copo de vidro. b) Adicione ao copo com água uma colher de sabão em pó. c) Pegue o marca-texto e desenhe qualquer coisa sobre o pedaço de papel branco. d) Coloque o copo com sabão em pó e o papel desenhado com marca-texto sobre a mesa. e) Apague a luz da sala e ilumine-os com uma luz branca. Observe o que acontece. f) Agora, com a luz branca apagada, ilumine-os com o laser azul (ou com a luz negra confeccionada com o flash do celular). Observe o que acontece.
Aplicações pedagógicas	Materiais luminescentes: • Marca-texto: contém corantes fluorescentes que absorvem luz UV/azul e reemitem luz visível, brilhando no escuro. • Sabão em pó: pode ter agentes branqueadores ópticos que fluorescem sob luz UV/azul, intensificando o “branco”. Semelhanças com materiais radioativos: • Ambos emitem luz visível: i) luminescência (fluorescência/fosforescência): induzida por luz ou reações químicas; ii) radioatividade (radioluminescência): resultado do decaimento nuclear (ex.: trítio em relógios). Diferença crucial: A origem da energia (excitação eletrônica vs. processos nucleares).

**4. Análise dos resultados**

Em nossa pesquisa, assumimos que os alunos do Ensino Médio (1ª, 2ª e 3ª séries) já deveriam ter estudado FMC conforme a BNCC e o currículo estadual: na 1ª série (1º bimestre), na 2ª série (1º, 2º e 3º bimestres) e na 3ª série (revisão ou aprofundamento). Por isso, não separamos as respostas por série. Os dados da Fig. 1 revelam os resultados encontrados nas quatro escolas.

O estudo revela diferenças significativas no ensino de FMC entre as escolas pesquisadas, com destaque para a importância da formação docente e das metodologias aplicadas. O C.E. Dr. Leonel Homem da Costa obteve o melhor desempenho, com 74% dos alunos reconhecendo a abordagem da FMC, resultado atribuído ao professor de matemática, que participou de programas como o PIBID e projetos de extensão. Essas

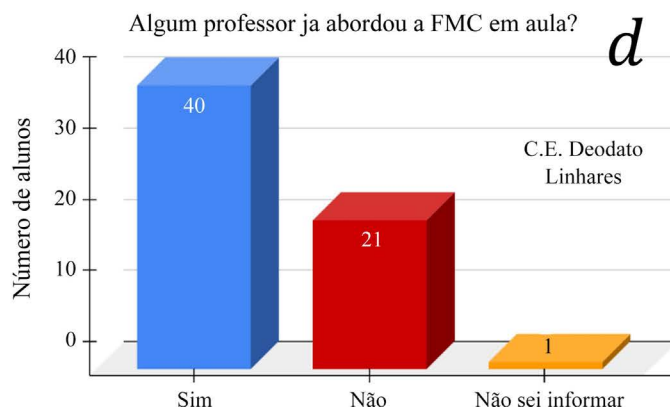
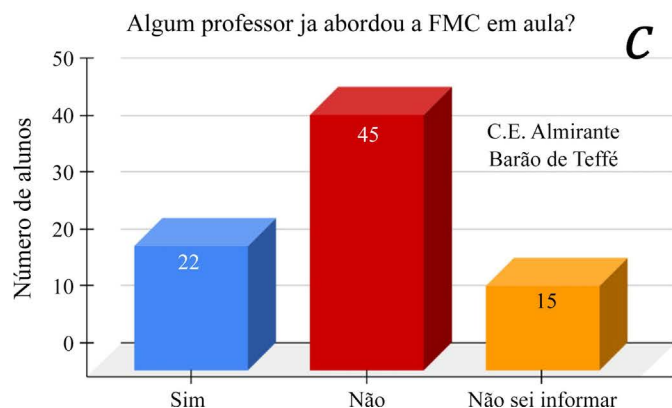
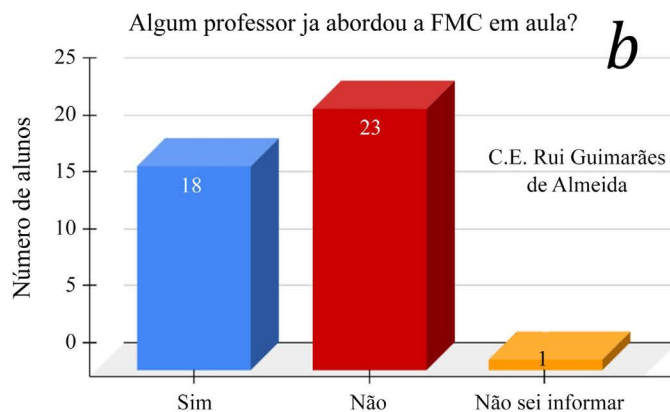
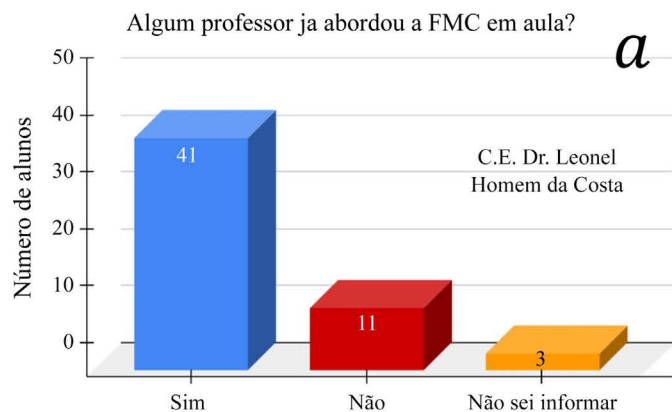


Figura 1 - Respostas dos alunos das quatro escolas visitadas.

experiências proporcionaram metodologias atualizadas, interação com licenciados em física e acesso a recursos didáticos inovadores. Apenas 6% das respostas foram incertas, indicando clareza no ensino, enquanto 20% não identificaram a FMC, possivelmente devido a diferenças entre turmas ou implementação gradual conforme a BNCC.

Em contraste, o C.E. Rui Guimarães de Almeida apresentou um cenário crítico, com apenas 40% dos alunos reconhecendo a FMC, contra 57,5% que negaram seu ensino. Essa discrepância parece estar ligada à formação das professoras em biologia e à falta de capacitação continuada, resultando em abordagens superficiais ou negligência do tema. Situação semelhante foi observada no C.E. Almirante Barão de Teffé, onde apenas 26,8% dos alunos relataram contato com a FMC, enquanto 54,9% afirmaram não tê-lo. A professora, formada em matemática e sem formação continuada, reforça a correlação entre capacitação docente e eficácia no ensino.

Já o C.E. Deodato Linhares obteve o segundo melhor resultado (64,5%), fruto da atuação colaborativa entre um professor de matemática (com experiência no PIBID) e outro de física, evidenciando como a formação continuada e o trabalho em equipe podem melhorar o ensino de FMC, mesmo com desafios na formação inicial.

Curiosamente, todos os professores afirmaram incluir a FMC em seus planos de aula, com ênfase na teoria da relatividade e, em alguns casos, em tópicos como radioatividade e efeito fotoelétrico. No entanto, a percepção dos alunos variou significativamente, sugerindo que a simples inclusão formal desses conteúdos não garante sua assimilação efetiva. Possíveis explicações incluem abordagens superficiais, dificuldade em contextualizar conceitos abstratos ou carga horária insuficiente.

Ao final das oficinas de capacitação, os professores destacaram pontos importantes: o do C.E. Leonel Homem sugeriu maior ênfase em avaliações; a do C.E. Rui Guimarães pediu ampliação da carga horária, dada a deficiência no ensino da área; a do C.E. Barão de Teffé aprovou integralmente as atividades, e a do C.E. Deodato Linhares sugeriu ajustes na complexidade dos conteúdos e mais tempo para experimentos. Esses apontamentos reforçam a necessidade de adaptar os materiais às diferentes realidades escolares, considerando a progressão dos conteúdos e as limitações de carga horária.

5. Considerações finais

Este trabalho destacou a experimentação como ferramenta essencial para tornar a FMC mais acessível na educação básica, desenvolvendo atividades práticas

que demonstraram ser possível abordar esses temas sem exigir cálculos avançados da mecânica quântica. Materiais teóricos e experimentais foram distribuídos aos professores durante oficinas, buscando suprir lacunas em sua formação e adaptá-los à realidade das escolas locais, que geralmente não possuem laboratórios didáticos. Os resultados demonstraram que a experimentação contribuiu positivamente para tornar o aprendizado mais concreto, despertar o interesse dos alunos e superar a abstração excessiva dos conceitos teóricos. Essa abordagem inovadora ajudou a romper com o ensino tradicional e reduziu a resistência de muitos docentes, que frequentemente evitam a FMC por considerá-la complexa.

As implicações deste trabalho alinham-se diretamente às diretrizes da BNCC e do Currículo Referencial do Rio de Janeiro, que destacam a importância da experimentação e da contextualização no ensino de ciências. A conexão com esses documentos fortalece a dimensão extensionista da pesquisa e valoriza o potencial transformador da proposta, que pode ser replicada em outras regiões com realidades semelhantes. Para isso, é essencial que políticas públicas incentivem a formação continuada de professores, especialmente aqueles sem especialização em física, e promovam a

integração de metodologias ativas e recursos acessíveis no currículo escolar.

No entanto, é importante reconhecer que o estudo empírico aqui apresentado está limitado a uma experiência específica em escolas públicas do Noroeste Fluminense/RJ, o que reduz sua generalização para outros contextos sociais. Além disso, seria valioso um maior aprofundamento metodológico sobre o impacto da estratégia proposta a médio e longo prazo, incluindo avaliações do desempenho dos alunos e da retenção dos conceitos de FMC. Embora o projeto tenha alcançado seu objetivo de capacitar docentes, as contribuições dos participantes indicam possíveis melhorias. Há consenso sobre a necessidade de incluir mais instrumentos avaliativos nos materiais didáticos, além da ampliação da carga horária ou criação de módulos complementares. Esses ajustes podem fortalecer ainda mais a inserção da FMC nas salas de aula, garantindo que a abordagem experimental não apenas desperte o interesse inicial, mas também consolide o aprendizado de forma duradoura e significativa.

Recebido em: 13 de Junho de 2025

Aceito em: 11 de Agosto de 2025

Notas

¹PhET - site: https://phet.colorado.edu/pt_BR/

²Método estruturado de comunicação em grupo, originalmente desenvolvido como ferramenta para previsão e tomada de decisões por Olaf Helmer e Norman Dalkey na década de 1950. Seu objetivo é obter consenso entre um painel de especialistas por meio de rodadas anônimas de questionários, com *feedback* controlado e iterações até chegar a uma convergência de opiniões [12].

Referências

- [1] J.L. Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck and the Fortunes of German Science* (Harvard University Press, Cambridge, 2000).
- [2] F. Ostermann, C.J.H. Cavalcanti, A Física na Escola **2**(1), 13 (2001).
- [3] R.A. Viotto, Nuances: Estudos Sobre Educação **27**, 357 (2016).
- [4] E.A. Souza, *Epistemologia da Prática e da Prática Docente: Um Estudo dos seus Fundamentos com Vistas à Proposição de Abordagens Críticas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2008.
- [5] Brasil, *Base Nacional Comum Curricular* (Ministério da Educação, Brasília, 2018).
- [6] V.G. Da Silva, *A Importância da Experimentação no Ensino de Química e Ciências*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2016.
- [7] Rio de Janeiro, *Currículo Referencial do Estado do Rio de Janeiro: Ensino Médio (2024)* (Secretaria de Estado de Educação, Rio de Janeiro, 2024). Disponível em <https://tinyurl.com/4rycb7ub>, acesso em 10/6/2025.
- [8] F. Ostermann, F. Rezende, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **38**, 1381 (2021).
- [9] Brasil, *Censo da Educação Superior 2022* (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais, Brasília, 2023).
- [10] M. Lüdke, M.E.D. André, A. Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas (EPU, São Paulo, 1986).
- [11] F. Ostermann, *Tópicos de Física Contemporânea em Escolas de Nível Médio e na Formação de Professores de Física*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.
- [12] N. Dalkey, O. Helmer, Management Science **9**, 458 (1963). doi
- [13] E.A. Terrazzan, Caderno Catarinense de Ensino de Física **9**, 209 (1992).
- [14] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna* (LTC, Rio de Janeiro, 2012), 9 ed., v. 4.
- [15] J.R. Bonjorno, *Física 1* (FTD, São Paulo, 2011).
- [16] M.C. Idelfonso, ComCiência, 2019. Disponível em <https://www.comciencia.br/relatividade-no-cotidiano/>, acesso em 12/6/2025.
- [17] S. Silva, F.B. Giovanna, M.E.S. Braibante, T. Hugo, M.S. Pazinato, C.T. Marcele, Ciência & Educação **20**, 481 (2014). Disponível em <https://www.redalyc.org/pdf/2510/251031473014.pdf>, acesso em 12/6/2025.
- [18] F.S. Machado, *Análise de Espectroscopia de Fotoluminescência de Nanotubos de Carbono em Filmes de Silica e em Solução de Naddbs*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010. Disponível em <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/IACO-86GS2X/1/filypes.machado.dis..pdf>, acesso em 12/6/2025.
- [19] R. Eisberg, R. Resnick, *Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas* (GEN LTC, Rio de Janeiro, 1979).