



Maira Giovana de Souza^{1,2#} , Agostinho Serrano¹ , David Treagust² , David Blair³ 

¹Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, RS, Brasil.

²School of Education, Curtin University, Perth, WA, Austrália.

³Department of Physics, The University of Western Australia, Perth, WA, Austrália.

Palavras-chave

física einsteiniana
ensino de ciências
programa Einstein-First
currículo de ciências

Resumo

A necessidade de modernizar o currículo de ciências e promover a alfabetização científica é amplamente reconhecida. No entanto, a ciência ensinada nas escolas muitas vezes não aborda o conhecimento desenvolvido nos séculos XX e XXI, especialmente no campo da física einsteiniana (FE), que engloba a física quântica e a relatividade. Essa discrepância entre a educação escolar e o entendimento científico moderno pode gerar equívocos e criar barreiras na aprendizagem científica. O programa Einstein-First, desenvolvido na Austrália, introduz conceitos de FE aos estudantes desde cedo, enfatizando o uso de aprendizado em grupo baseado em atividades, brinquedos, modelos e analogias. Este artigo explora o potencial de adaptação da abordagem Einstein-First para as escolas brasileiras, com base na experiência da primeira autora com o projeto na Austrália e considerando as semelhanças e diferenças entre os currículos dos dois países. Diversas atividades desenvolvidas pelo Einstein-First são apresentadas, juntamente com sugestões para sua implementação em diferentes níveis do ensino fundamental no Brasil, alinhando-se às habilidades e aos objetos de conhecimento delineados na Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Ao introduzir conceitos einsteinianos desde cedo, os estudantes podem desenvolver uma compreensão mais profunda das tecnologias e inovações presentes em suas vidas diárias, potencialmente melhorando suas atitudes em relação à ciência e promovendo a alfabetização científica.

#Autor de correspondência. E-mail: maira.souza@rede.ulbra.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



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

1. Introdução

A necessidade de modernizar o currículo de ciências e desenvolver uma população cientificamente alfabetizada é reconhecida mundialmente [1, 2]. No entanto, a ciência ensinada nas escolas geralmente não aborda o conhecimento de física desenvolvido durante os séculos XX e XXI [3]. No Brasil, mesmo com a implementação recente da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que

trouxe novas perspectivas para o currículo escolar, o foco geral em sala de aula continua sendo a ciência desenvolvida até o século XIX [4, 5].

No que diz respeito às ciências da natureza, a BNCC destaca o “compromisso com o desenvolvimento do letramento científico, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo” e afirma que os alunos devem desenvolver a “capacidade de

atuação no e sobre o mundo, importante ao exercício pleno da cidadania” [6]. Muitos avanços na sociedade moderna foram possíveis apenas devido ao desenvolvimento e ao conhecimento da física einsteiniana (FE), abrangendo física quântica e relatividade. No entanto, o que os alunos estudam na escola geralmente falha em explicar as tecnologias e inovações que encontram em seu cotidiano. Nesse sentido, dessa discrepância entre a educação escolar e a necessidade de entendimento moderno, gera equívocos e barreiras na aprendizagem científica [7].

Já foi observado que os alunos se sentem motivados e empolgados ao aprender tópicos de ciência moderna, o que torna a ciência mais significativa e próxima deles [8]. Em muitas nações da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) o desempenho em ciências diminuiu entre 2018 e 2022 [9]. Também houve uma queda no número de alunos que escolhem seguir áreas relacionadas à ciência após a educação básica [10, 11]. Portanto, a introdução de tópicos de ciência moderna, presentes na tecnologia moderna e ligados a assuntos discutidos nas redes sociais, poderia ter um impacto positivo nesses resultados [12]. Alinhar a instrução escolar com o melhor entendimento científico da sociedade, pode melhorar as atitudes dos alunos em relação à ciência.

Muitos estudos relatam dificuldades de alunos do Ensino Médio e universitário com a natureza contraintuitiva da FE [13, 14]. Esses conceitos entram em conflito com a física clássica aprendida nos anos escolares anteriores [15]. Pesquisas sobre a aprendizagem de FE na escola nos primeiros anos, embora limitadas, indicam que os alunos estão prontos para aceitar os conceitos einsteinianos [3]. A aprendizagem precoce ajuda a garantir que eles não sejam sobrecarregados com um esquema prévio de conceitos clássicos [7].

Considerando esse cenário, o projeto Einstein-First foi desenvolvido na Austrália, liderado por David Blair na Universidade da Austrália Ocidental. A iniciativa considera que os alunos têm o direito de aprender nosso melhor entendimento do mundo. Mesmo em idade precoce, o Einstein-First enfatiza “nunca subestimar a capacidade da criança de absorver novas informações e lidar com novas ideias” e que “ideias complexas podem ser ensinadas em um nível simplificado primeiro, depois revisitadas em níveis mais complexos” [16].

Durante um período em Perth, Austrália, promovido pelo PDSE (CAPES), em 2023-2024, a primeira autora teve contato com o projeto. Foi possível participar de reuniões e workshops, observar atividades escolares e discutir com os participantes do projeto. Considerando a experiência de sete anos como professora de física em uma escola pública no Brasil, foi possível observar o potencial da abordagem para as

escolas brasileiras. Portanto, com este artigo, pretendemos compartilhar as principais ideias do projeto Einstein-First e algumas atividades que podem ser abordadas durante as aulas de ciências nas escolas no Brasil, traçando um paralelo entre os currículos de ambos os países.

2. Sobre o Einstein-First

A equipe do Einstein-First conduziu as primeiras atividades com alunos do 6º ano (11 anos de idade) em 2011, obtendo resultados encorajadores: os estudantes conseguiram compreender as ideias, indicando o potencial para ensinar FE no ensino fundamental [17].

Desde então, a equipe realizou mais pesquisas com uma ampla faixa etária, alcançando resultados promissores [18]. Em 2023, o projeto foi lançado nacionalmente na Austrália.

O projeto concentra-se em investigar abordagens instrucionais, conceitos científicos-chave e aprendizado do 3º ao 10º ano (3º ano do ensino fundamental à 1ª série do Ensino Médio) relacionados aos conceitos de FE. Os princípios pedagógicos que orientam as atividades desenvolvidas baseiam-se no uso de aprendizado em grupo por meio de atividades (os alunos trabalham juntos e aprendem uns com os outros), brinquedos, modelos e analogias, aprendizado de corpo inteiro (conectando conceitos científicos a experiências corporais), linguagem apropriada, dramatizações e equipamentos de baixo custo (Fig. 1).

A abordagem de pesquisa do Einstein-First é fundamentada no Modelo de Reconstrução Educacional (MER), que “foi desenvolvido como um quadro teórico para estudos sobre se é válido e possível ensinar áreas específicas de conteúdo científico” [20]. O MER conecta pesquisas sobre a estrutura do conteúdo científico a sua importância educacional. Ele se baseia em estudos empíricos sobre a compreensão dos alunos e em recur-

Alinhar a instrução escolar com o melhor entendimento científico da sociedade, pode melhorar as atitudes dos alunos em relação à ciência



Figura 1 - Abordagem Einstein-First. Fonte: Site do Programa Einstein-First [19].

tópico, os alunos devem aprender sobre a rotação da Terra e sua órbita ao redor do Sol. De acordo com a habilidade EF06CI14 da BNCC, os alunos devem ser capazes de:

Inferir que as mudanças na sombra de uma vara (gnômon) ao longo do dia em diferentes períodos do ano são uma evidência dos movimentos relativos entre a Terra e o Sol, que podem ser explicados por meio dos movimentos de rotação e translação da Terra e da

inclinação de seu eixo de rotação em relação ao plano de sua órbita em torno do Sol [6].

Os movimentos da Terra podem ser abordados a partir da perspectiva einsteiniana considerando a curvatura do espaço-tempo. No projeto Einstein-First, essa perspectiva é apresentada na primeira lição proposta para o 7º ano. Usando o simulador de espaço-tempo (modelo da malha), os alunos podem observar a curva-

Tabela 2: Tópicos de ciências no Brasil e Austrália.

6º ano	Matéria e energia	Misturas homogêneas; Separação de materiais; Materiais sintéticos; Transformações químicas.	Ano 6	Biologia	O crescimento e sobrevivência dos seres vivos é afetado por condições físicas do ambiente.
	Vida e evolução	Célula como unidade de vida; Interação entre sistemas locomotor e nervoso; Lentes corretivas.		Química	Mudanças nos materiais podem ser reversíveis ou irreversíveis.
	Terra e Universo	Forma, estrutura e movimentos da Terra.		Terra e espaço	Mudanças geológicas repentinas e eventos climáticos extremos podem afetar a superfície da Terra.
7º ano	Matéria e energia	Máquinas simples; Formas de propagação de calor; Equilíbrio termodinâmico e vida na Terra; História dos combustíveis e máquinas térmicas.	Ano 7	Física	Energia elétrica pode ser transferida e transformada em circuitos elétricos e pode ser gerada a partir de diversas fontes.
	Vida e evolução	Diversidade dos ecossistemas; Fenômenos naturais e impactos ambientais; Programas e indicadores de saúde pública.		Biologia	Classificação dos grupos de organismos; Interações entre organismos, efeitos humanos nas cadeias alimentares e redes de alimentação.
	Terra e Universo	Composição do ar; Efeito estufa; Camada de ozônio; Fenômenos naturais (vulcões, terremotos e tsunamis); Placas tectônicas e deriva continental.		Química	Misturas, soluções e substâncias puras.
8º ano	Matéria e energia	Fontes e tipos de energia; Transformação de energia; Cálculo de consumo de energia elétrica; Circuitos elétricos.	Ano 8	Terra e espaço	Movimentos do sistema Sol, Terra e Lua; Estações do ano e Eclipses; Recursos renováveis e não-renováveis.
	Vida e evolução	Mecanismos reprodutivos; Sexualidade.		Física	Movimento e forças, atração gravitacional terrestre.
	Terra e Universo	Sistema Sol, Terra e Lua; Clima.		Biologia	Células são as unidades básicas da vida; Organismos multicelulares e sistemas de órgãos.
9º ano	Matéria e energia	Aspectos quantitativos das transformações químicas; Estrutura da matéria; Radiações e suas aplicações na saúde.	Ano 9	Química	Estados da matéria, movimento e arranjo de partículas; Elementos, componentes e mudanças químicas.
	Vida e evolução	Hereditariedade; Ideias evolucionistas; Preservação da biodiversidade.		Terra e espaço	Rochas sedimentares, ígneas e metamórficas.
	Terra e Universo	Composição, estrutura e localização do Sistema Solar no Universo; Astronomia e cultura; Vida humana fora da Terra; Ordem de grandeza astronômica; Evolução estelar.		Física	Formas de energia; Transformação e transferência de energia.
9º ano	Matéria e energia	Aspectos quantitativos das transformações químicas; Estrutura da matéria; Radiações e suas aplicações na saúde.	Ano 9	Biologia	Organismos multicelulares, coordenados e interdependentes; Ecossistemas (organismos e componentes abióticos); Fluxo de matéria e energia através desses sistemas.
	Vida e evolução	Hereditariedade; Ideias evolucionistas; Preservação da biodiversidade.		Química	Átomos e partículas; Radioatividade; Reações químicas; Conservação de massa; Combustão e reações dos ácidos; Transferência de energia.
9º ano	Terra e Universo	Composição, estrutura e localização do Sistema Solar no Universo; Astronomia e cultura; Vida humana fora da Terra; Ordem de grandeza astronômica; Evolução estelar.	Ano 9	Terra e espaço	Placas tectônicas e deriva continental.
				Física	Transferência de energia e modelos de onda e partícula.

tura causada por objetos massivos e como ela influencia o movimento de outros objetos ao redor.

O objetivo da lição é que os alunos sejam capazes medir tempo e distância e usar esses dados para determinar a velocidade de um objeto; demonstrar e explicar como a luz viaja em linha reta, mas é desviada pelo espaço-tempo curvo ao passar por objetos massivos, e usar o simulador de espaço-tempo para explicar e demonstrar que “a massa diz ao espaço-tempo como curvar e o espaço-tempo diz à massa como se mover”.

Para essa lição, são necessários os seguintes equipamentos: um simulador de espaço-tempo (pedaço esticado de lycra) (Fig. 3), 6 bolas de bocha, 2 carrinhos de tração traseira, 5 a 10 bolas de gude, ponteiro laser (menos de 1 mW), régua e cronômetro. O processo de construção do simulador de espaço-tempo está disponível na página Web do projeto, em com versões diferentes, dependendo dos recursos disponíveis.

4.1. Estrutura da aula

Introdução: o simulador de espaço-tempo é utilizado para entender movimento, velocidade, geometria e gravidade.

Discussão e demonstrações conduzidas pelo professor: com os alunos reunidos em torno do simulador de espaço-tempo, o professor deve explicar que se trata de uma analogia que permite representar o espaço 3D em 2D. Onde não há massa, o espaço-tempo seria plano, como a lycra esticada. Sem gravidade, os objetos permanecem parados ou movem-se com velocidade constante em linha reta. Isso pode ser demonstrado utilizando apenas uma bola de gude no tecido e, separadamente, um carrinho de tração liberado ao lado do simulador de espaço-tempo.

Atividade 1 Cometas movendo-se no espaço-tempo: em duplas, os alunos rolam uma bola de gude ou um



Figura 3 - Estudantes usando o simulador de espaço-tempo. Fonte: Kaur e cols. (2017) [21].

carrinho no simulador e calculam sua velocidade (velocidade = distância/tempo). A que velocidade ele viaja? Qual foi a média das velocidades medidas pela turma?

Discussão e demonstração pelo professor curvaturas no espaço-tempo: Newton propôs que existe uma força de atração entre objetos, sem conhecer o motivo. Einstein resolveu o mistério com a Teoria da Relatividade Geral, que, embora seja matematicamente complexa, é visualmente simples no modelo 2D. O professor pode convidar um aluno para adicionar uma bola de bocha no simulador, enfatizando que a massa está curvando o espaço-tempo. Progressivamente, as outras 5 bolas são adicionadas; quanto maior a massa, maior a curvatura. Em seguida, as bolas podem ser lançadas formando órbitas. O professor pode então introduzir o lema de John Wheeler para explicar a gravidade de Einstein e pedir à turma que repita em voz alta: *A massa diz ao espaço como se curvar, o espaço-tempo diz à matéria como se mover*. Os carrinhos de brinquedo também podem ser liberados mostrando uma trajetória curva. Os objetos estão “tentando” seguir uma linha reta, evidenciando que “a gravidade está na geometria do espaço-tempo”.

Conclusão e perguntas: por fim, os alunos respondem a algumas perguntas. Isso pode ser feito individualmente ou em pequenos grupos, por meio de um formulário online ou uma folha de exercícios.

Nessa atividade os alunos podem ser apresentados à órbita da Terra, bem como à de outros planetas, na perspectiva einsteiniana interpretando a gravidade como curvatura do espaço-tempo. Introduzir essa ideia no 6º ano escolar pode facilitar o entendimento desses conceitos quando forem aprofundados, especialmente se forem incentivados a examinar criticamente o modelo de espaço-tempo para entender suas limitações.

Conclusão e perguntas: por fim, os alunos respondem a algumas perguntas. Isso pode ser feito individualmente ou em pequenos grupos, por meio de um formulário online ou uma folha de exercícios.

5. Atividade 7º ano

No 7º ano no Brasil, alguns dos tópicos a serem abordados durante as aulas de ciências são máquinas simples e formas de propagação de calor. Relacionados a esses tópicos, temos as habilidades: EF07CI01 “discutir a aplicação, ao longo da história, das máquinas simples e propor soluções e invenções para a realização de tarefas mecânicas cotidianas” e EF07CI03 “utilizar o conhecimento das formas de propagação do calor para justificar a utilização de determinados materiais (condutores e isolantes) na vida cotidiana, explicar o princípio de funcionamento de alguns equipamentos (garrafa térmica, coletor solar etc.) e/ou construir soluções tecnológicas a partir desse conhecimento” [6].

Esses tópicos e habilidades estão intimamente relacionados à compreensão da propagação e da transformação de energia. Portanto, essa é uma oportunidade para introduzir as ideias einsteinianas de energia. Uma das lições do Einstein-First para o 8º ano concentra-se em introduzir a relação da energia com a massa,

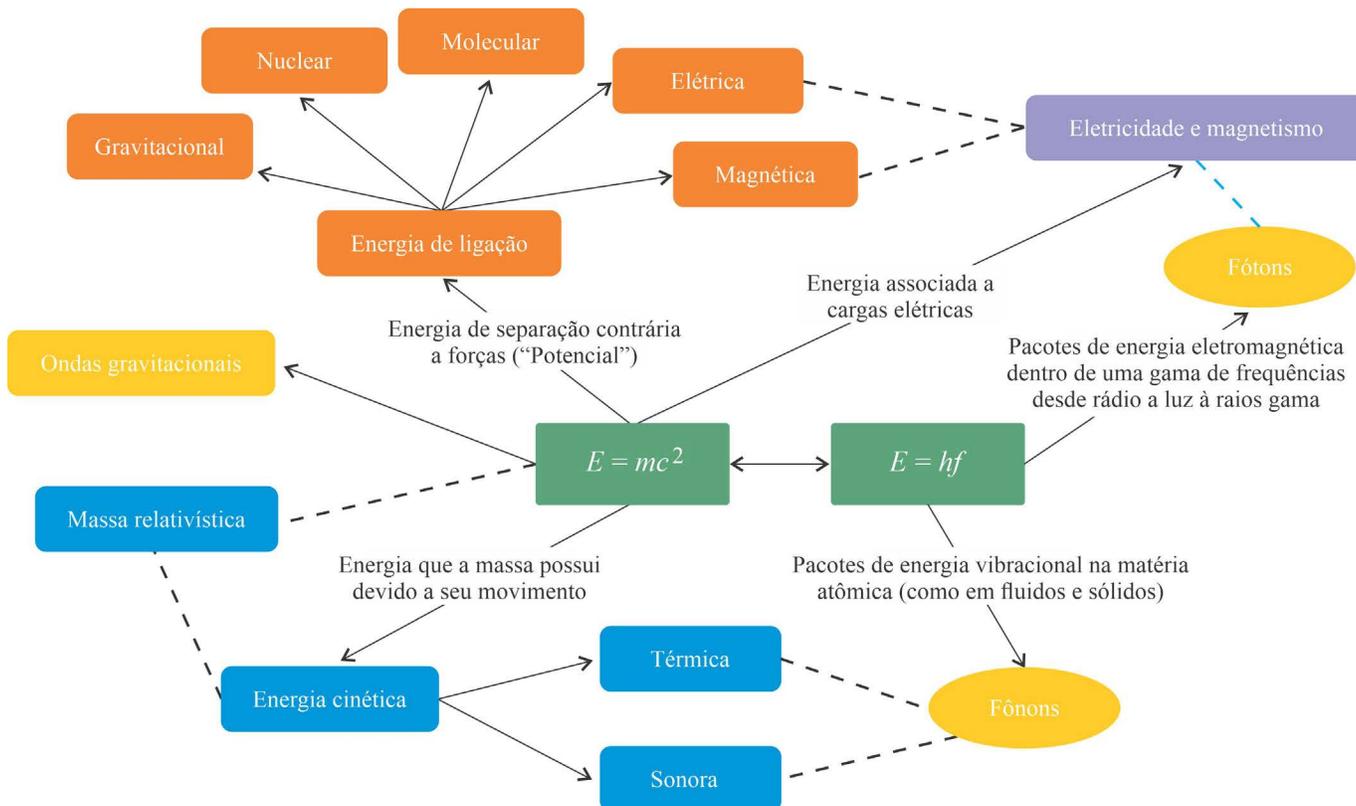


Figura 4 - Mapa conceitual energia einsteiniana. Fonte: Boubllil e cols. (2024) [22].

$E = mc^2$, e com a frequência, $E = hf$, já que essas duas equações descrevem todos os processos de energia no universo (Fig. 4). Enquanto uma estabelece que a energia tem massa, a outra descreve como a luz e o calor são pequenos pacotes de energia, chamados fótons e fônons.

5.1. Estrutura da aula

Introdução: em grupos, os alunos podem fazer um *brainstorming* (5 min) e relatar suas ideias sobre energia. O que é energia? De que formas de energia você lembra?

Discussão conduzida pelo professor: introduza as conexões entre as descobertas de Einstein sobre energia e a energia humana, mostrando como estão interligadas. Apresente as duas equações fundamentais de energia, explicando que são equações simples de proporcionalidade, com duas variáveis e uma constante, como $y = 6x$.

Energia einsteiniana 1: $E = mc^2$ afirma que a energia tem massa, ou seja, ela dá aos objetos mais inércia (relembre o conceito se necessário). Além disso, a massa pode ser transformada em energia e a energia também pode ser transformada em massa. A seguir, apresente um vídeo curto (aquele usado pelo projeto está em inglês² e pode ser substituído por uma opção em português³).

Energia einsteiniana 2: $E = hf$ descreve as menores unidades de energia, particularmente a energia dos fótons (partículas de todo o espectro eletromagnético). Explique que a sala de aula está repleta de vasto número de fótons viajando à velocidade da luz em todas as direções, cada um com uma energia que depende de sua frequência. Para os olhos humanos essa frequência corresponde à cor. Alguns fótons entram em nossos olhos e ativam processos elétricos nas células sensoras de luz, permitindo que enxerguemos. Adicionalmente, $E = hf$ também se aplica a fônons, os “nós” de energia associados à vibração do calor e do som. O calor nos sólidos é gerado por muitos desses pequenos fônons que se movem à velocidade do som. A energia dos fótons ou dos fônons depende de sua frequência, ou seja, o número de vibrações. Quanto mais fótons ou mais fônons, maior a quantidade de luz ou calor.

Nessa lição, os alunos podem familiarizar-se com o uso de joules. Embora o conceito de energia seja difícil de definir, pode ser medido em unidades chamadas joules. As duas equações descobertas em 1905 e 1900 encapsulam nosso conhecimento de energia: $E = mc^2$ indica que a energia tem massa e vice-versa (mais do que bombas atômicas, a massa das coisas muda sempre que a energia muda). $E = hf$ demonstra que a frequência está relacionada à energia, que vem em pacotes pequenos (fótons/fônons). Há uma enorme variedade de fótons, incluindo fótons UV que podem causar danos como câncer de pele; fótons de rádio, que são

inofensivos, e raios gama, que poderiam ser fatais para astronautas em viagem a Marte.

O que é notável nessas duas equações é o tamanho das constantes: c^2 é a velocidade da luz ($\sim 3 \times 10^8$ m/s) vezes ela mesma, um número enorme, e h é a incrivelmente pequena constante quântica de Planck ($\sim 6,6 \times 10^{-34}$ J/Hz). Por ser um número extremamente pequeno, são necessários vastos números de h para se obter um único joule de energia. Embora o cálculo usando essas equações exija conhecimento sobre potências de dez, mesmo sem cálculos é possível explorar as relações estabelecidas por elas com massa e frequência, conectando-as a diferentes formas de energia.

6. Atividade 8º ano

Durante o 8º ano nas escolas brasileiras, os alunos devem aprender sobre diferentes formas e fontes de energia, bem como transformações de energia e circuitos elétricos. Entre as habilidades previstas para esse nível, destacam-se EF08CI01 “identificar e classificar diferentes fontes (renováveis e não renováveis) e tipos de energia utilizados em residências, comunidades ou cidades”, e EF08CI02 “construir circuitos elétricos com pilha/bateria, fios e lâmpada ou outros dispositivos e compará-los a circuitos elétricos residenciais” [6].

Considerando a energia solar e células solares, o efeito fotoelétrico pode ser introduzido como tema e usado para demonstrar algumas transformações de energia e circuitos elétricos. No projeto Einstein-First, esse conceito é abordado em lições do 6º ano de forma conceitual e acessível aos alunos. Com essas atividades, os alunos podem reconhecer fenômenos quânticos em suas experiências cotidianas, proporcionando uma compreensão precoce da física que se aplica ao design de chips de computador presentes em diversas ferramentas tecnológicas.

O Einstein-First introduziu uma linguagem mais descritiva para explicar as descobertas da física dos fótons, que tradicionalmente utiliza o termo “dualidade onda-partícula”. Seguindo essa abordagem, os fótons combinam duas qualidades: ondulatória e balística, sendo a primeira associada à frequência e ao comprimento de onda e a outra relacionada à capacidade dos fótons de danificar objetos, ejetar elétrons e exercer forças. Para o aspecto “balístico” dos fótons, as balas de pistola *Nerf* são uma analogia útil.

A atividade do efeito fotoelétrico com fótons analógicos requer os seguintes materiais: aproximadamente 10 tigelas com profundidades de 6 a 20 cm; algumas bolas de pingue-pongue idênticas em cada tigela; várias pistolas *Nerf* com balas de espuma suficientes para uma atividade em sala de aula (Fig. 5).

6.1. Estrutura da aula

Introdução: a história da descoberta de Einstein sobre o efeito fotoelétrico e o prêmio Nobel que recebeu



Figura 5 - Estudantes usando pistola Nerf. Fonte: Kaur e cols. (2017) [23].

por essa contribuição que pode ser representada com uma analogia usando pistolas e balas *Nerf*.

Gerando energia a partir da luz: organize as tigelas agrupadas e coloque uma bola de pingue-pongue no centro de cada tigela. O professor pode pedir aos alunos que façam previsões sobre as consequências de disparar balas da pistola *Nerf* contra as bolas de pingue-pongue em tigelas rasas e fundas.

Atividade: cada aluno recebe uma pistola *Nerf* e posiciona-se a alguns metros das tigelas. Solicite aos alunos que disparem suas armas na direção das bolas de pingue-pongue. Quando uma bala atinge uma bola de pingue-pongue, ela transfere energia, fazendo a bola oscilar. Em tigelas rasas, o impacto pode ser suficiente para ejetar a bola. Em tigelas mais fundas, isso pode não ocorrer.

Discussão conduzida pelo professor: como todas as balas das pistolas *Nerf* têm a mesma origem, supomos que cada uma tenha a mesma energia. Na analogia, isso corresponde a fótons de mesma frequência (e energia). As bolas ejetadas representam fotoelétrons. Quando uma bala atinge uma bola de pingue-pongue, parte de sua energia é transferida, fazendo a bola oscilar. Tigelas rasas representam metais com baixa função trabalho; nesse caso, a transferência de energia é suficiente para ejetar a bola. Tigelas mais fundas representam metais com funções trabalho mais altas; nesses casos, a energia não será suficiente para ejetar um fotoelétron.

O efeito fotoelétrico ocorre quando elétrons são ejetados da superfície de um metal ao serem irradiados por luz com certa frequência. Os elétrons de um metal estão ligados com uma força característica, chamada função trabalho. Quanto maior a função trabalho, mais forte é a ligação entre o metal e seus elétrons e maior a

energia necessária para rompê-la. Como a energia da luz é proporcional a sua frequência, a luz deve ter uma frequência mínima para induzir a emissão de elétrons. Essa energia mínima da luz necessária para ejetar um elétron de um metal específico é conhecida como frequência mínima. Apenas acima desse limiar é que uma maior intensidade de luz resulta em uma corrente maior de fotoelétrons.

Com essa atividade, o professor pode abordar a transferência e a transformação de energia, tanto na própria analogia (energia mecânica) quanto no que ela representa (fótons e elétrons), destacando como os fótons são fontes de energia elétrica. Essa analogia também fornece aos alunos um entendimento básico de como funcionam as células solares, dispositivos que se tornaram comuns nos telhados residenciais.

7. Atividade 9º ano

No último ano do Ensino Fundamental nas escolas brasileiras, o 9º ano, alguns dos tópicos a serem ensinados envolvem a estrutura da matéria e radiações e suas aplicações. Destacamos duas habilidades relacionadas a esses temas: EF09CI03 “identificar modelos que descrevem a estrutura da matéria (constituição do átomo e composição de moléculas simples) e reconhecer sua evolução histórica”, e EF09CI06 “classificar as radiações eletromagnéticas por suas frequências, fontes e aplicações, discutindo e avaliando as implicações de seu uso em controle remoto, telefone celular, raios X, forno de micro-ondas, fotocélulas etc.” [6].

Considerando as diferentes formas de radiação, é possível abordá-las introduzindo os fótons e usando as propriedades duais da luz discutidas anteriormente, conectando-as ao espectro eletromagnético. No programa Einstein-First, algumas atividades apresentadas aos alunos do 9º ano podem ser utilizadas nessa perspectiva. Usando recursos simples, em atividades em grupo, os alunos podem aprender sobre uma representação dos fótons e sua natureza probabilística, reconhecendo que eles podem viajar ao longo de muitos caminhos (associados a uma probabilidade de destino representada pelo brilho), além de seu comportamento de partícula (“balístico”) e de onda (ondulatório).

Para representar as duas características dos fótons, os alunos criam “fótons de estimação”. Isso requer limpadores de cano coloridos (pelo menos dois por aluno, vermelho e azul), massinha de modelar colorida (vermelha e azul), régua, capas transparentes de CD (ou tampas de plástico transparente com cliques para ficarem em pé) e ponteiros laser vermelhos para cada grupo de alunos. É importante que, antes dessa aula, os alunos já tenham sido apresentados à ideia de fóton e tenham compreensão da luz.

7.1. Estrutura da aula

Introdução: o professor, inicialmente, apresenta aos alunos a história dos fótons, destacando a importância de sua energia e frequência para nossa capacidade de ver e interagir com a luz.

Discussão conduzida pelo professor: o professor explica o papel de Max Planck no desenvolvimento da equação que relaciona energia e frequência ($E = hf$, na qual h é uma constante que representa a menor quantidade de energia possível, tudo possui energia em múltiplos da energia de um fóton). Essa equação é usada para descrever o comportamento dual dos fótons. Com os olhos, interpretamos a energia de um fóton por meio de sua frequência, percebendo diferentes cores no espectro eletromagnético visível. A partir dessa ideia, os alunos podem construir modelos em escala muito maior.

Atividade 1 Fótons de estimação⁴ (Fig. 6): individualmente, os alunos criam fótons de brinquedo utilizando 2 a 3 limpadores de cano de cores diferentes (vermelho e azul; verde se houver tempo), massinha de modelar nas cores correspondentes e uma régua. Usando uma tabela de conversão, os alunos transformam o limpador em uma forma de onda com o comprimento de onda escalonado correto. O limpador

representa a ondulação e a frequência do fóton, enquanto a cor indica como interpretamos essas frequências. Em seguida, os alunos adicionam a massinha de modelar a uma extremidade do limpador. Para o fóton vermelho, deve ser uma bola de aproximadamente 1 cm de diâmetro; para o azul de cerca de 2 cm; e para o verde de cerca de 1,5 cm. A massinha simboliza o aspecto “balístico” do fóton. Os fótons de estimação criados pelos alunos podem ser estendidos para representar o espectro eletromagnético completo, incentivando-os a imaginar o tamanho da bola de massinha caso se tratasse um raio gama

Considerando as diferentes formas de radiação, é possível abordá-las introduzindo os fótons e usando as propriedades duais da luz discutidas anteriormente, conectando-as ao espectro eletromagnético

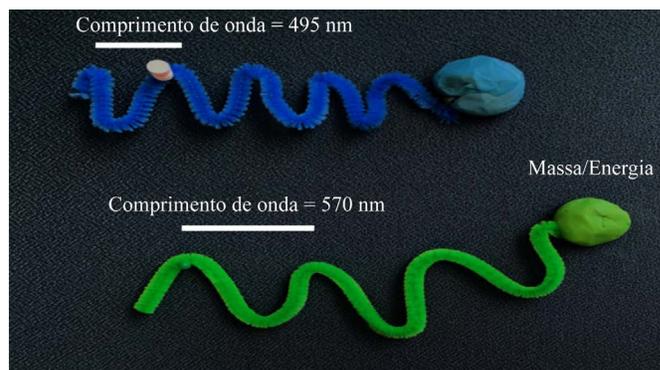


Figura 6 - Fótons de estimação. Fonte: Kaur e Adams (2023) [24].

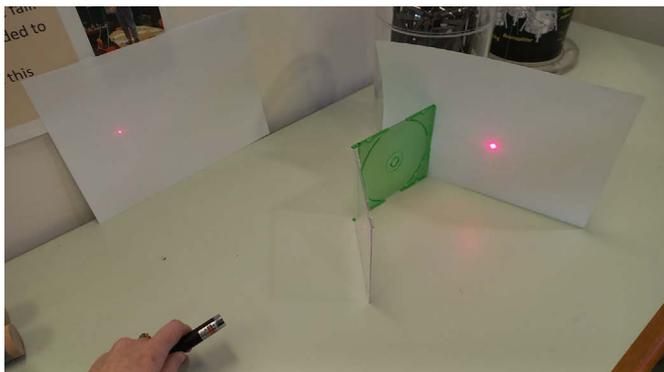


Figura 7 - Reflexão parcial com capa de CD. Fonte: Kaur e Blair (2021) [25].

(digamos, um milhão de vezes mais pesado) ou de um fóton de rádio (um milhão de vezes menor).

Atividade 2 Reflexões parciais (Fig. 7): em pequenos grupos, os alunos recebem um ponteiro laser e uma capa de CD transparente. Eles devem direcionar o feixe de laser para a capa de CD, tanto perpendicularmente quanto obliquamente, e registrar suas observações (um anteparo branco facilita a visualização). Ao final, os alunos devem responder às seguintes perguntas: “Qual porcentagem da luz é transmitida através da capa?”, “Desenhe o processo de reflexão e transmissão da luz” e “Como a luz está sendo refletida e transmitida?”. Os alunos são incentivados a usar qualquer método para representar a luz (linhas retas, curvas, partículas únicas etc.), sem orientação direta. Mesmo que não tenham uma descrição completamente formada do processo, os estudantes devem ser motivados a oferecer seu melhor palpite e discutir suas escolhas e raciocínio. Por fim, instigue os alunos a pensar em exemplos do mundo real onde fenômenos semelhantes ocorrem, como reflexos parciais em janelas, vidros ou revestimentos antirreflexo.

Discussão em aula: após cada grupo apresentar um diagrama e responder às perguntas, o professor reúne os alunos para uma discussão em sala de aula. Os alunos são encorajados a compartilhar suas explicações sobre a reflexão parcial e a fazer perguntas aos outros grupos sobre o motivo de suas explicações. Alguns pontos a serem discutidos: “O que vocês observaram?” (a luz do laser criará dois pontos, um no lado oposto da capa do CD em relação ao laser e outro no mesmo lado; mesmo que um ponto seja mais brilhante que o outro, ambos serão mais fracos que o feixe de laser original e terão a mesma cor), “Compartilhem o desenho de vocês dos fótons” (cada grupo compartilha e explica seus desenhos; eles devem explicar por que desenharam aquele caminho específico ou por que representaram uma forma de onda, por exemplo), e “Como a luz está sendo refletida e transmi-

Se um fóton se reflete ou se transmite, isso é determinado puramente por probabilidade, não por quaisquer diferenças ocultas entre fótons individuais

tida?”. Embora existam diferentes explicações, o professor deve discutir o comportamento estatístico do fóton. As reflexões parciais ocorrem devido à probabilidade de cada fóton ser refletido ou transmitido, não porque eles se “dividem” entre os dois caminhos.

Usando os fótons de estimação, os alunos podem modelar fótons com diferentes comprimentos de onda e cores representando suas energias variadas. Isso lhes permite explorar a relação entre energia, frequência e comprimento de onda - conceitos-chave para entender os fótons. A atividade com laser demonstra a natureza probabilística dos fótons decorrente de suas propriedades de onda. Fótons são pacotes de energia com uma frequência específica e um comprimento de onda relacionado pela constante de Planck. A frequência determina a cor do fóton no espectro visível que nossos olhos podem detectar. Embora a luz visível seja apenas uma pequena parte do espectro eletromagnético, essas energias de fótons são perfeitas para a visão humana.

Embora os desenhos frequentemente mostrem fótons seguindo o caminho mais curto, sua ondulação permite todos os caminhos, embora os caminhos mais longos sejam menos prováveis. Isso pode ser explorado observando a reflexão de um ponteiro do laser na capa do CD. A cor da luz depende de sua frequência, que está relacionada à sua energia. Se os fótons pudessem se dividir, sua energia e, portanto, a cor, mudariam. No entanto, os alunos podem facilmente observar que não há mudança de cor onde o laser é refletido e transmitido. Se um fóton se reflete ou se transmite, isso é determinado puramente por probabilidade, não por quaisquer diferenças ocultas entre fótons individuais.

Historicamente, padrões de interferência foram usados para argumentar que a luz se comportava como onda. No entanto, até mesmo fótons únicos podem criar padrões de interferência ao longo do tempo, mostrando que o comportamento de onda não requer que os fótons em si se somem ou se cancelem. Embora o modelo ondulatório da luz tenha explicado com sucesso muitos fenômenos, a falta de mudança de cor das reflexões parciais combinada com o conhecimento da dependência da energia dos fótons de sua cor prova que o modelo de onda clássico não está correto. Divisores de feixes simplesmente criam uma probabilidade para cada fóton se refletir ou se transmitir aleatoriamente, sem se dividir.

A razão pela qual alguns fótons se refletem, outros se transmitem e outros são absorvidos é a natureza estatística intrínseca do mundo quântico. As probabilidades podem ser fixas, mas cada evento é determinado aleatoriamente. Embora o comportamento de um fóton não afete o próximo, no geral uma parte se refletirá e se transmitirá, seguindo uma distribuição de probabilidade prevista por suas características de onda. Essa função de onda de probabilidade descreve onde os

fótons poderiam viajar, enquanto sua propriedade de partícula descreve a energia que transferem ao chegar.

Um equívoco comum é pensar que os fótons não têm massa. Eles não possuem massa de repouso porque nunca podem estar em repouso, mas têm massa porque a energia possui massa, conforme a equação $E = mc^2$ quanto maior a energia, maior a massa. Outro equívoco é considerá-los pequenos. Eles têm quantidades minúsculas de energia, mas sua natureza ondulatória dá uma ideia aproximada de seu tamanho. Fótons visíveis têm aproximadamente o tamanho de micróbios, mas os fótons de rádio que nos cercam inviolavelmente podem ter metros de tamanho.

Por meio das atividades acima, os alunos podem entender a dualidade onda-partícula da luz modelando os fótons com propriedades tanto de onda quanto de partícula, simultaneamente. Pontos importantes de discussão são como as características de onda e partícula estão sempre presentes, mas diferentes experimentos podem enfatizar uma mais do que a outra. Outras lições do Einstein-First focam na ondulação dos fótons e em métodos gráficos simples que permitem aos alunos estimar a probabilidade de fótons chegarem a locais específicos em experimentos de fenda dupla [26].

8. Conclusão

Considerando a necessidade de novas abordagens para o ensino de ciências, conforme mencionado anteriormente, com este artigo pretendemos compartilhar algumas possibilidades de diferentes intervenções que podem ser usadas pelos professores de ciências no Brasil. Vale ressaltar que o grupo de pesquisa Einstein-First desenvolveu e testou essas atividades ao longo de vários anos e os participantes (tanto alunos quanto professores) apresentaram resultados positivos.

A iniciativa de abordar a física einsteiniana nas escolas vai além da Austrália, pois a equipe do programa trabalhou com grupos de pesquisa em Oslo, Noruega; Copenhague, Dinamarca; Turim, Itália; Hildesheim, Alemanha, e CERN, Suíça. Portanto, é possível perceber que essas ideias não se aplicam apenas ao contexto escolar australiano, mas também ao mundial. Consequentemente, essas abordagens têm um forte potencial para serem utilizadas nas escolas brasileiras, feitas as adaptações necessárias.

Recebido em: 5 de Abril de 2024

Aceito em: 10 de Setembro de 2024

Notas

¹<https://www.einsteinianphysics.com/micro-credentials/>

²https://www.youtube.com/watch?v=ComZbnpHsuE&ab_channel=avishekroy1988.

³<https://www.youtube.com/watch?v=2-DugbA91M4>.

⁴Ver <https://www.einsteinianphysics.com/wp-content/uploads/2024/03/Photon-Model-Limitations.pdf>.

Referências

- [1] R.D. Blandford, K.S. Thorne, *American Journal of Physics* **88**, 518 (2020). doi
- [2] A.R. Santos, L.M.L. Ribeiro, *Horizontes - Revista de Educação* **8**, 81 (2020). doi
- [3] T. Kaur, D. Blair, W. Stannard, D. Treagust, G. Venville, e cols. *Research in Science Education* **50**, 2505 (2020). doi
- [4] R. Reis, I. Silva, A.V. Andrade-Neto, *Física na Escola* **16**(1), 6 (2018). Disponível em <https://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol16-Num1/a03.pdf>.
- [5] P.J.P. Oliveira, E.J. Rodrigues, J.C. Madureira, N.A. Silva, F.C. Marques, *Física na Escola* **18**(1), 6 (2020). Disponível em <https://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol18-Num1/FnE-18-1-190903.pdf>.
- [6] M.E. Brasil. *Base Nacional Comum Curricular*. (Ministério da Educação, Brasília, 2018).
- [7] M. Kersting, D. Blair, *Teaching Einsteinian Physics in Schools* (Routledge, Londres, 2021).
- [8] R. Choudhary, A. Foppoli, T. Kaur, D. Blair, R. Burman, M. Zadnik. *Research in Science Education* **52**, 305 (2022). doi
- [9] OECD, *PISA 2022 Results (Volume I) - The State of Learning and Equity in Education* (OECD Publishing, Paris, 2023).
- [10] D.F. Treagust, M. Won, J. Petersen, G. Wynne, *Journal of Science Teacher Education* **26**, 81 (2015). doi
- [11] A.M.S. Gouw, H.S. Mota, N.M.V. Bizzo, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **16**, 627 (2016). Disponível em <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4483>.
- [12] A. Foppoli, R. Choudhary, D. Blair, T. Kaur, J. Moschilla, M. Zadnik. *Physics Education* **54**, 015001 (2019). doi
- [13] M. Ayene, J. Krick, B. Damitie, A. Ingerman, B. Thacker, *International Journal of Science and Mathematics Education* **17**, 1049 (2019). doi
- [14] A. Velentzas, K. Halkia, *International Journal of Science Education* **35**, 3026 (2013). doi
- [15] R. Steier, M. Kersting, *Cognition and Instruction* **37**, 145 (2019). doi
- [16] A. Popkova, K. Adams, S. Boubliil, R. K. Choudhary, E. Horne e cols. *The Sixteenth Marcel Grossmann Meeting* **16**, 2438 (2023).
- [17] M. Pitts, G. Venville, D. Blair, M.G. Zadnik, *Research in Science Education* **44**, 363 (2013). doi
- [18] K. Adams, R. Dattatri, T. Kaur, D. Blair, *Physics Education* **56**, 055031 (2021). doi
- [19] D. Blair, L. Ju, M. Zadnik, S. Humphry, D. Treagust e cols. 2024 Einstein-First. Disponível em <https://www.einsteinianphysics.com/>, acesso em 22/03/2024.
- [20] R. Duit, H. Gropengießer, U. Kattmann, M. Komorek, I. Parchmann, *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective*, editado por D. Jorde, J. Dillon (SensePublishers, Rotterdam, 2012), p. 13-37.
- [21] T. Kaur, D. Blair, J. Moschilla, W. Stannard, M. Zadnik, *Physics Education* **52**, 065012 (2017). doi
- [22] S. Boubliil, D. Blair, D.F. Treagust, *International Journal of Science and Mathematics Education* **22**, 49 (2024). doi
- [23] T. Kaur, D. Blair, J. Moschilla, M. Zadnik, *Physics Education* **52**, 065013 (2017). doi

- [24] T Kaur, K. Adams, *Australian Physics* **60**, 5 (2023). Disponível em https://www.einsteinianphysics.com/wp-content/uploads/2023/11/AusPhysMag_60-3.pdf.
- [25] T. Kaur, D. Blair, in *Teaching Einsteinian Physics in Schools*, editado por M. Kersting, D. Blair (London, Routledge, 2021) pp. 407-427. [doi](#)
- [26] R. Choudhary, D. Blair, *European Journal of Physics* **42**, 035408 (2021). [doi](#)