ANA PAULA BARBOSA MARTINS MARIA BEATRIZ DIAS DA SILVA MAIA PORTO

A LUZ, SUA HISTÓRIA E SUAS TECNOLOGIAS: CURSO DE ATUALIZAÇÃO PARA PROFESSORES DA EDUCAÇÃO BÁSICA. ISBN: 978-85-89382-52-6

Programa de Pós-Graduação de Ensino em Educação Básica - PPGEB
Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira – CAp/UERJ
Rio de Janeiro

A LUZ, SUA HISTORIA E SUAS TECNOLOGIAS: CURSO DE ATUALIZAÇÃO PARA PROFESSORES DA EDUCAÇÃO BÁSICA.

Autora: Ana Paula Barbosa Martins

Orientadora/Co-autora: Professora Dra. Maria Beatriz Dias da Silva Maia Porto

Grupo de Pesquisa:

Alfabetização Científica e o Ensino de Física, Química e Biologia na Escola Básica. http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/6506072637618508





Ana Paula Barbosa Martins

Professora da Rede pública Estadual do Rio de Janeiro e da Rede Privada de ensino. Licenciada em Física pela Universidade do estado do Rio de Janeiro. Mestranda do Programa de Pós-Graduação de Ensino em Educação Básica do Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira - CAp-UERJ. Linha de pesquisa: Ensino Fundamental II; Ensino de Física.

Maria Beatriz Dias da Silva Maia Porto

Possui graduação em Física, Bacharelado e Licenciatura, pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Possui mestrado em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1991) e doutorado em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1997). Fez pós-doutorado em Física, na área de Teoria Quântica de Campos, na modalidade de fixação de recém-doutor, na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1997-1999) e pós-doutorado no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (1999-2001). Atualmente é professora adjunta da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, com Dedicação Exclusiva, atuando na Educação Básica e na Educação Superior. Tem experiência acadêmica na área de Física, com ênfase em Teoria Geral de Partículas e Campos, atuando, principalmente, nas seguintes linhas de pesquisa: Teoria Supersimétrica de Chern-Simon-Kalb-Ramon, Cordas Cósmicas, Teorias com Derivadas de Ordem Superior, Quantização Simplética e Supersimetria. Ingressou como professora efetiva da Universidade do Estado do Rio de Janeiro em 2005, sendo lotada no Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira. A partir do ano de 2006 passou a atuar também nas áreas de História da Ciência e Ensino de Ciências da Natureza com ênfase, principalmente, nas linhas de História da Física, Formação de Professores, Ensino de Ciências em Espaços não-formais e A Inserção de Jogos nos Processos de Ensino e de Aprendizagem. É Coordenadora do Projeto PIBID Interdisciplinar - Campus Maracanã/UERJ. Atua como docente no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Educação Básica e desde maio de 2017, passou a Coordenar o Programa.

LUZE SUAS TECNOLOGIAS

Este curso foi pensado e estruturado para auxiliar, na prática docente, professores habilitados a lecionar Ciências na Educação Básica,





O tópico "Luz" foi escolhido estrategicamente por estar presente no currículo mínimo do Município do Rio de Janeiro e ser um assunto com complexa evolução conceitual que está presente no cotidiano dos alunos e alunas.

São três módulos que se iniciam com fundamentação teórica sobre Leis e diretrizes normativas da Educação Brasileira e sobre as linhas de pesquisa adotadas para a construção desse curso, evolução conceitual contextualizada com a história e sugestões de como trabalhar e quais tecnologias podem ser abordadas dentro de sala de aula.

Bons Estudos

Ana Paula Barbosa

EMENTA

MÓDULO I: Leis e Diretrizes da Educação Básica Brasileira; Ciências e seu ensino; História da Ciências. **MÓDULO II:** Filósofos naturais; Reflexão; Refração; Difração; Interferência; Polarização; Luz: ondas eletromagnéticas; Teoria da Relatividade; Radiação do Corpo Negro; Efeito Fotoelétrico. **MÓDULO III:** Fotografia;

Led;

Células Fotoelétricas.

MODULO I



LEIS E DIRETRIZES DA EDUCAÇÃO BÁSICA BRASILEIRA



CIÊNCIAS E SEU ENSINO



HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Um breve histórico acerca da legislação educacional brasileira (Constituição Federal, LDB, BNCC, PCN, Orientações Curriculares de Ciências)

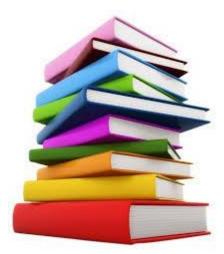
A Educação brasileira possui leis, diretrizes e orientações que normatizam e balizam uma educação emancipatória, crítica e reflexiva, capaz de formar cidadãos plenos.

O ponto de partida para delimitação dos objetos a serem alcançados pela educação do Brasil é a Constituição Federal (CF) de 1988, que foi promulgada em 5 de outubro desse mesmo ano.



A CF é o conjunto de normas que regula o Estado Brasileiro, estabelecendo que a educação é um direito social e que compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre educação, cultura, ensino, desporto, ciência, tecnologia, pesquisa, desenvolvimento e inovação².

A Seção I do Capítulo III da CF, destinada à educação, inclui artigos que vão do número 205 a 214 e determina:



Art. 205. A educação, direito de todos e dever do Estado e da família, será promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho.

(...)

Art. 214. A lei estabelecerá o plano nacional de educação, de duração decenal, com o objetivo de articular o sistema nacional de educação em regime de colaboração e definir diretrizes, objetivos, metas e estratégias de implementação para assegurar a manutenção e desenvolvimento do ensino em seus diversos níveis, etapas e modalidades por meio de ações integradas dos poderes públicos das diferentes esferas federativas que conduzam a:

(...)

V - promoção humanística, científica e tecnológica do País.

Segundo a CF, a educação é um direito de todos e dever do Estado e da família e deverá possibilitar a igualdade de condições para o acesso e permanência

.

¹ capítulo II, artigo 60, da CF.

² Título III, capítulo II, artigo 24º inciso IX da CF.

A lei também estabelece um plano nacional de educação decenal que define diretrizes, objetivos, metas e estratégias de implementação que assegurem a manutenção e o desenvolvimento do ensino em diversos níveis. A partir da CF, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Brasileira (LDB 9394/96) foi criada. A LDB é uma legislação que regulamenta o sistema educacional (público ou privado) do Brasil (da educação básica ao ensino superior). A LDB reafirma o direito à educação, garantido pela Constituição Federal e divide a educação brasileira em dois níveis: a educação básica e o ensino superior.

Art. 21. A educação escolar compõe-se de:

- I- A educação básica, formada pela educação infantil, ensino fundamental e ensino médio;
- II- Educação superior.

assegura-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores.

No Art. 32 define o Ensino Fundamental como obrigatório no País, com duração de 9 (nove) anos, iniciando-se aos 6 (seis) anos de idade e tendo por objetivo a formação básica indispensável para o exercício da cidadania, mediante a compreensão do ambiente natural e social, do sistema político, da tecnologia, das artes e dos valores em que se fundamentam a sociedade, envolvendo o desenvolvimento da capacidade de aprender, tendo como meios básicos o pleno domínio da leitura, da escrita e do cálculo; permitindo progressão no trabalho e em estudos posteriores. Para isso o currículo do ensino fundamental e do médio deve

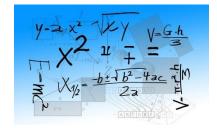


ter uma base nacional comum, com suas diversidades regionais e culturais contempladas. No ano de 2017, foi redigida a terceira versão da primeira Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que tem por finalidade orientar os sistemas educacionais na elaboração de suas propostas curriculares e tem como fundamento o direito à aprendizagem e ao desenvolvimento pleno da cidadania. Espera-se que a BNCC seja balizadora do direito dos alunos e alunas da Educação Básica, em uma perspectiva inclusiva, de aprender e de se desenvolver.

A BNCC elenca dez competências gerais, que determinam, que a educação deve afirmar e estimular ações que contribuam para a transformação da sociedade, visando uma sociedade mais justa, democrática e inclusiva. Dentre as dez competências gerais estão as competências elencadas pelo prisma do ensino de ciências, como:

Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social e cultural para entender e explicar a realidade (fatos, informações, fenômenos e processos linguísticos, culturais, sociais, econômicos, científicos, tecnológicos e naturais), colaborando para a construção de uma sociedade solidária.





Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e inventar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos e a consciência socioambiental em



âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta. (BNCC, 2017, p. 18/19)

Tais competências visam formar alunos e alunas, cidadãos conscientes e participativos na construção de uma sociedade mais responsável. Que os estudantes sejam capazes de refletir e formular argumentos críticos baseados em fatos e em conhecimentos de diversas áreas para se posicionarem diante de informações e acontecimentos que causam impacto direta e indiretamente à sociedade e ao meio ambiente.

A BNCC ratifica que o compromisso da educação brasileira com a formação humana integral e com a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva, e para que esse compromisso seja alcançado é preciso que esses estudantes sejam capazes de argumentos sólidos baseados nos saberes adquiridos nas diversas áreas de conhecimento, inclusive laçando mão de metodologias científicas para se posicionarem frente aos avanços científicos e tecnológicos presentes na sociedade.

Outros documentos oficiais são os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) que se apoiam em normas legais e, de acordo com o Plano Decenal de Educação determinado pela CF/88, ratifica a obrigação do Estado em implementar parâmetros claros capazes de orientar o currículo do Ensino Fundamental, adequá-los de maneira a melhorar a qualidade do ensino nas escolas brasileiras.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais, tanto nos objetivos educacionais que propõem quanto na conceitualização do significado das áreas de ensino e dos temas da vida social contemporânea que devem atravessá-las, buscam apontar caminhos para enfrentar os problemas do ensino no Brasil, adotando como eixo o desenvolvimento de capacidades do aluno, processo em que os conteúdos curriculares atuam não como fins em si mesmos, mas como meios para a aquisição e desenvolvimento dessas capacidades. Assim, o que se tem em vista, nos Parâmetros Curriculares Nacionais, é que o aluno possa ser sujeito de sua própria formação, em um complexo processo interativo em que intervêm alunos, professores e conhecimento. (PCN, 1998, p. 51)

Os PCN's se constituem como um referencial que orienta e garante a coerência dos investimentos no sistema educacional para a melhoria da qualidade de ensino, configuram-se por uma proposta flexível pela sua natureza aberta e



asseguram, respeitadas as diversidades culturais, regionais, étnicas, religiosas e políticas que atravessam uma sociedade plural e complexa, uma educação que atue no processo de construção da cidadania, baseado nos princípios democráticos.

A partir dos PCN's, as Orientações Curriculares (OC) de Ciências do município do Rio de janeiro, elaboradas em 2016, destacam alguns elementos considerados fundamentais:

- Apresentar os tópicos de conteúdos de forma contextualizada e problematizadora; que suscite, com metodologias ativas, um comportamento investigativo e crítico nos alunos, além de uma ambiência contemplativa.
- Evitar a tradição descritivista das ciências da natureza, apontando para construir abordagens e olhares próprios das subáreas, com ênfase em perspectivas integradoras.
- Apresentar os conhecimentos científicos como sendo produzidos historicamente a partir de perguntas e investigações metódicas. Questionar "verdades científicas absolutizadas", buscando exemplos de novidades do campo que indicam quebras de paradigmas.
- Desenvolver uma compreensão sobre a Ciência como produto social, com suas formas de inquirir o mundo e de validar os conhecimentos produzidos, bem como ponderar sobre os interesses envolvidos.
- ➤ Provocar atitudes proativas tanto na esfera individual, quanto na comunitária/social, reconhecendo a forte relação entre ciência, sociedade e tecnologia. (OC, 2016, p. 4)

As OC objetivam que os alunos e alunas desenvolvam uma capacidade de reflexão diante de suas ações frente a conhecimentos e às transformações socioambientais produzidos pelo avanço científico e enfatizam as aplicações e as intervenções que a ciência e a tecnologia têm produzido na história da humanidade, nos campos da saúde, agricultura, indústria, etc; considerando que os aspectos éticos, políticos, sociais e econômicos estão presentes e são necessários para a construção desses conhecimentos.



Convergem as legislações e as normatizações para um protagonismo dos alunos e das alunas, priorizando metodologias que agregam ao ensino, em destaque o Ensino das Ciências da Natureza, uma contextualização social e histórica, trazendo a temática da tecnologia e seus impactos na sociedade como estratégia pedagógica para se construir um ensino que desenvolva a crítica, a reflexão e o caráter investigativo, preocupado sempre com a uma formação cidadã plena.

Currículo escolar

Currículo de Ciências do Município do Rio de Janeiro

As OC's do município do Rio de Janeiro foram redigidas no ano de 2016 pela equipe do Nível Central da SME e por professores regentes elaboradores dos Cadernos Pedagógicos³.

Para obter os Cadernos Pedagógicos de 2018, acesse o endereço eletrônico:

http://www.rioeduca.net/recursosPedagogicos.php



Figura 1-Capa de um Caderno Pedagógico de Ciências utilizado no ano de 2018

A versão final da BNCC, no entanto, que orienta diretamente a elaboração dos currículos só foi publicada no ano de 2017. Essa diferença temporal, porém, não tornou o currículo de Ciências do município do Rio de Janeiro nem defasado, nem obsoleto.

Para orientar a elaboração dos currículos de Ciências, a BNCC organizou os componentes curriculares em três unidades temáticas que se repetem ao longo de todo o Ensino Fundamental: Matéria e Energia⁴, Vida e Evolução⁵ e Terra e Universo⁶.

³ Cadernos Pedagógicos são recursos utilizados pelos professores do município do Rio de Janeiro.

⁴ A unidade temática Matéria e energia contempla o estudo de materiais e suas transformações, fontes e tipos de energia utilizados na vida em geral, na perspectiva de construir conhecimento sobre a natureza da matéria e dos diferentes usos de energia. (BNCC, 2017, p. 277).

Essas organizações dos componentes curriculares são exigências da Rede de Ensino que procura fazer o encadeamento de diferentes tópicos e conteúdos. Elas têm o caráter norteador para auxiliar o trabalho do professor em sala de aula. A preocupação na sua elaboração foi de apresentar conteúdos contextualizados, de forma problematizadora, que fomentem um comportamento investigativo e crítico nos alunos e alunas, evitando um ensino de Ciências de forma descritiva, trabalhar os conhecimentos científicos como uma construção social ocorrida no decorrer do tempo, reconhecer a forte relação entre ciências, sociedade e tecnologia.

As Orientações curriculares traçaram alguns objetivos gerais para o ensino de Ciências como:

- Incentivar a observação e a investigação para valorizar o pensamento científico:
- auxiliar os alunos e alunas a se entenderem no ambiente e na sociedade, considerando que estão continuamente se transformando pela ação do homem e suas atividades;
- destacar elementos que permitam aos estudantes entenderem os processos biológicos dos seres vivos; desenvolver o olhar crítico sobre sua ação individual e coletiva quanto à incorporação dos conhecimentos científicos e às transformações socioambientais;
- enfatizar as aplicações e as intervenções que a ciência e a tecnologia têm produzido na história da humanidade, nos campos da saúde, agricultura, indústria e etc, considerando que os aspectos éticos, estéticos, políticos, sociais e econômicos estão presentes e são necessários na busca pela sustentabilidade. (OC, 2016, p.5)

Conteúdos programáticos foram divididos por bimestre com algumas sugestões para trabalharem dentro de sala de aula e em ambientes extraclasse.

Para acessar as Orientações Curriculares do município do Rio de Janeiro acesse o endereço eletrônico:

http://www.rioeduca.net/blogViews.php?id=5265



A umadue tematica vida e evolução propoe o estudo de questoes relacionadas aos seres vivos (meturado os seres humanos), suas características e necessidades, e a vida como fenômeno natural e social, os elementos essenciais à sua manutenção e à compreensão dos processos evolutivos que geram a diversidade de formas de vida no planeta. (BNCC, 2017, p. 278).

⁶ A unidade temática Terra e Universo busca a compreensão de características da Terra, do Sol, da Lua e de outros corpos celestes – suas dimensões, composições, localizações, movimentos e forças que atuam entre eles. (BNCC, 2017, p. 280).

Ciências da natureza: a Física e seu ensino



Um dos pilares de sustentação da sociedade contemporânea é o conhecimento científico, responsável pelo grande avanço científico e tecnológico conquistado atualmente, que tem como resultado a criação de novos ou melhores produtos e serviços. Debater como essas tecnologias afetam, direta e indiretamente, a sociedade é uma das metas da BNCC, que visa a formação integral dos alunos e alunas, capacitando-os para um posicionamento ético, político e cultural. Nesse contexto, justifica-se o ensino das Ciências da

Natureza, base de todos esses avanços, na Educação Básica.

As Ciências da Natureza, constituídas pela Física, Química e Biologia, possibilitam aos alunos e alunas conhecimentos dos desenvolvimentos científicos e tecnológicos que estão integrados ao



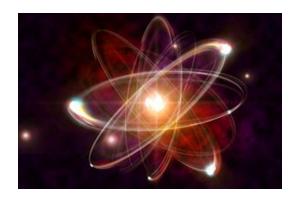
modo de vida em que a humanidade se organizou no decorrer dos anos.

Os professores que lecionam essas disciplinas, em quaisquer níveis de escolaridade, devem saber a importância de abordar tais temas no ensino, oferecendo aos estudantes condições e ferramentas para refletir e interagir criticamente com diferentes conhecimentos e fontes de informação (BNCC, 2017). Em síntese,

... ao longo do Ensino Fundamental, a área de Ciências da Natureza tem um compromisso com o desenvolvimento do letramento científico⁷, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais da ciência. (BNCC, 2017, p. 273)

⁷ Entende-se como letramento científico, segundo inep, a capacidade de empregar o conhecimento científico para identificar questões, adquirir novos conhecimentos, explicar fenômenos científicos e tirar conclusões baseadas em evidências sobre questões científicas.

Dentro das diretrizes educacionais, a proposta deste curso é trabalhar o ensino de Ciências com foco específico em Física, potencializando as competências e habilidades propostas pelas Orientações Curriculares do município do Rio de Janeiro.



A Física é a ciência que estuda os fenômenos naturais e as tecnologias e abrange investigações que vão desde estruturas atômicas até a origem e evolução do Universo.

O ensino de Física consiste em disseminar as teorias e os conceitos da Física formulados pelos cientistas, preocupando-se com a transposição didática⁸, em sala de aula.

Ensinar Física é importante porque,

A Física é, sem dúvida, um dos mais claros e bem sucedidos exemplos de construção do conhecimento humano, mesmo quando não se está falando apenas de conhecimento científico. Consequentemente, para formar um cidadão pleno, consciente e participativo na sociedade, é necessário proporcionar-lhe acesso a esse conhecimento, não apenas no sentido prático do aprendizado escolar, mas também no sentido da Física como visão de mundo, como cultura. (OSTERMANN E CAVALCANTI, 2001, p. 13)

Ostermann e Cavalcanti, pesquisadores do ensino de Física, definem a Física como uma visão cultural necessária para a formação plena e consciente dos cidadãos, preparando-os para o exercício da cidadania. No entanto, Marco Antônio Moreira (2014), também pesquisador da área de ensino de ciências, diz que o ensino de Física está passando por uma crise devido a "falta e/ou despreparo de professores, das más condições de trabalho, do reduzido número de aulas e da progressiva perda da identidade no currículo". De acordo com João Zanetic (2005), professor Doutor do Instituto de Física da USP, "o ensino de Física dominante se

⁸ A Transposição Didática, segundo Chevallard (1991), é definida como um instrumento eficaz para analisar o processo através do qual o saber produzido pelos cientistas se transforma naquele que está contido nos programas e livros didáticos e naquele que realmente aparece nas salas de aula.

restringe à memorização de fórmulas aplicadas na solução de exercícios típicos de exames vestibulares." e isso estimula a aprendizagem mecânica de conteúdos desatualizados. Zanetic continua dizendo que,

(...) para mudar esse quadro o ensino de física não pode prescindir, além de um número mínimo de aulas, da conceituação teórica, da experimentação, da história da física, da filosofia da ciência e de sua ligação com a sociedade e com outras áreas da cultura. Isso favoreceria a construção de uma educação problematizadora, crítica, ativa, engajada na luta pela transformação social. Um fator determinante no encaminhamento de um jovem para o encantamento com o conhecimento, para o estabelecimento de um diálogo inteligente com o mundo, para a problematização consciente de temas e saberes, é a vivência de um ambiente escolar e cultural rico e estimulador, que possibilite o desabrochar da curiosidade epistemológica. (ZANETIC, 2005, p. 21)

Zanetic ressalta a importância de um ensino interdisciplinar da Física com outras áreas da cultura como a história da Física e filosofia das Ciências para uma educação problematizadora, a fim de encantar os jovens com os conhecimentos científicos e, assim, interagir com o mundo de uma forma mais reflexiva, ativa e crítica.

O ensino de Física tem sido alvo de pesquisas nacionais e internacionais com discussões em torno do currículo. Angelita Morais e Andreia Guerra (2013) relatam que dessas discussões surgiram propostas de um ensino que permita uma abordagem histórico-filosófica capaz de ressaltar o desenvolvimento da Ciência como parte da cultura humana e, portanto, como uma produção cultural e historicamente determinada. Outra questão apontada pelos pesquisadores da área é a introdução de temas de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino.

O ensino de Física não tem acompanhado os avanços tecnológicos desenvolvidos ultimamente e difundidos na sociedade, ficando, com isso desatualizado, descontextualizado e desinteressante, acabando por acarretar a falta de estímulo em aprender nos alunos e alunas e representando um problema, tanto para os professores quanto para os estudantes (OLIVEIRA et al., 2007; CRUZ E GUERRA, 2009). O desafio de fomentar a curiosidade nesses estudantes que possam vir a ser ou não os futuros cientistas é o que fez a convergência das legislações e diretrizes, que objetivam um ensino mais voltado para o cotidiano desses discentes, direcionado para uma abordagem mais contemporânea do conhecimento científico.

Este curso, portanto, tem uma proposta de auxiliar os profissionais da área de Ciências da Natureza que atuam ou atuarão na Educação Básica, principalmente no segundo segmento do Ensino Fundamental, disponibilizando capacitação que pretende auxiliar o ensino, de forma significativa, do tópico Luz pertencente ao ramo da FMC, pois a mesma permite apresentar uma Física mais atual visto que há uma necessidade de percepção do mundo contemporâneo no que se refere ao desenvolvimento tecnológico.



História da Ciência

"Queremos que a ciência deixe de ser objeto de culto para se tornar motivo de debate, reencontrando assim seu verdadeiro papel."

Grupo Teknê

A definição do que é História da Ciência (HC), segundo Martins (2005), é uma discussão complexa, sobre que ainda não se tem consenso, e como este trabalho não está discutindo os fundamentos e os desdobramentos dos conceitos para essa definição, a mesma se restringe a entender qual a sua importância. Vilas Boas et al. (2013) apresentam um resumo sobre discussões contrárias e favoráveis a inserção da HC no ensino de disciplinas científicas. Argumentos contrários estavam preocupados com a "formação técnica dos cientistas" e os favoráveis sobre "entendimento de ciências por parte dos cientistas" e chegaram à conclusão que "a discussão sobre a inserção da História da Ciência foi encerrada, ficando em seu lugar a orientação geral de Matthews [1995] de que a história deve ser inserida".

Matthews citado acima, em seu influente artigo que teve sua publicação traduzida para português no ano de 1995, defende a inserção da HC no ensino, por que:

- (1) "motiva e atrai os alunos" porque pode trazer dificuldades epistemológicas enfrentadas pelos cientistas que podem se assemelhar com as mesmas enfrentadas pelos alunos e alunas;
- (2) "humaniza a matéria", pois apresenta a ciência como uma construção humana acabando com o mito da genialidade e que sofreu influências políticas, éticas, econômicas e sociais;
- (3) "promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento" pois apresenta a construção conceitual;
- (4) "há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência –a Revolução Científica, o darwinismo, etc." mostrando assim que a ciência não é inerte e que, às vezes, é preciso quebrar paradigmas para o avanço do conhecimento;
- (5) "demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem a ideologia cientificista"
- (7) "a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente"

A partir do entendimento dos benefícios em abordar a História da Ciência, este curso defende a ideia da sua abordagem no Ensino Básico como estratégia pedagógica de sedução entre alunos e alunas porque a HC só tem a agregar ao ensino de disciplinas científicas, pois promove uma compreensão melhor dos conhecimentos científicos ao aproximar os alunos e alunas de uma ciência em constante transformação. "Ao ensinar não podemos transmitir a ideia da Física como uma ciência acabada e realizada por homens do passado, com mentes brilhantes e privilegiadas, sendo seus respectivos trabalhos inquestionáveis" (CRUZ E GUERRA, 2009).

A HC, neste curso, é o eixo condutor capaz de possibilitar a abordagem do tópico Luz que é o início do avanço dos conhecimentos científicos e tecnológicos. E, na verdade, esses conhecimentos são frutos de produções humanas socialmente condicionadas com leis, ética, política, economia cultura e meio ambiente desmistificando a neutralidade da ciência. Lançando mão desses conhecimentos é

pretendida a conquista da atenção dos alunos do segundo segmento do ensino fundamental, pois serão mais receptivos ao ingressarem no Ensino Médio.

MÓDULO II



LUZ E SUAS TECNOLOGIAS

Luz, o que é e qual a sua importância? Tentativas de explicar a sua importância antecedem o pensamento racional, onde os filósofos gregos da antiguidade tentavam explicar os fenômenos observáveis da natureza. Essas explicações estavam pautadas em mitos e nas religiões.

A importância da luz, segundo a Bíblia, no livro de Gênesis capítulo 1, se lê:

¹No princípio criou Deus o Céu e a terra. ²E a terra era sem forma e vazia; e havia trevas sobre a face do abismo; e o Espírito de Deus se movia sobre a face das águas. ³E disse Deus: Haja Luz; e houve luz. ⁴E viu Deus que era boa a luz; e fez Deus separação entre a luz e as trevas. ⁵ E Deus chamou à luz Dia; e às trevas chamou Noite. E foi tarde e a manhã, o dia primeiro. (Bíblia on line)

O livro de Gênesis pertence ao velho testamento, que faz parte da crença judaico-cristã, onde relata a criação do Universo, da terra e do homem, todavia a ordem primária da criação foi a luz.

Alguns povos acreditavam que sua sobrevivência se dava através da luz. Para os egípcios (c2300 a.C.), o deus sol, aquele que começa a criação através do nascer das águas primordiais, evitava o caos ao lutar toda noite em um barco, juntamente com suas várias formas⁹, contra "seus inimigos e o mais perigoso de todos era Apófis— a personificação da parte mais obscura da noite,

Figura 2- Representação do Deus do Sol. Fonte: site Toda Matéria

ou seja, o caos— que se transformava em uma serpente. Ela atacava o deus-sol para

acabar com a estabilidade do Mundo" (CÉSAR, 2008).

⁹ No mito conhecido como O Nome Verdadeiro de Rê, o deus Sol diz a Isis que ele é "Khepri na manhã, Rê ao meio do dia e Atum ao anoitecer." (César, 2008)

A luz está ligada diretamente à sobrevivência dos seres humanos. O primeiro controle desse fenômeno foi quando nossa espécie deteve o domínio do fogo e isso

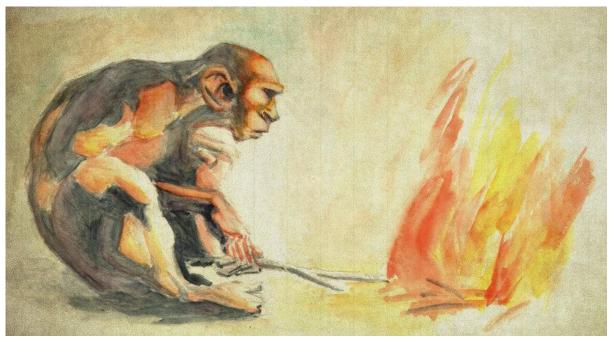


Figura 3- Representação dos primeiros seres humanos que dominaram o fogo. Fonte: site Hypescience.

foi fundamental, pois é uma importante fonte de calor, proteção contra animais selvagens e fonte de luz. O seu controle foi crucial para obtermos vantagens à noite e em locais de baixa visibilidades, pois nosso sistema de visão perde a sua eficiência com a baixa de luminosidade nos deixando mais vulneráveis e fazer fogo e utilizá-lo com fins produtivos foi alicerçador para caminharmos em direção à civilização.

Para alguns filósofos gregos a luz era algo intrínseco à capacidade visual, ou seja, a luz era compreendida como fazendo parte do sistema visual e não uma propriedade independente. Para Pitágoras, os objetos visíveis emanavam um fluxo constante de partículas que continham suas exatas informações e bombardeavam os olhos. O atomista Demócrito acreditava que os objetos emitiam matérias da dimensão de um átomo e que eram percebidas passivamente pelos olhos para formar a imagem. O filósofo Empédocles se embasava nos elementos fundamentais água, fogo, terra e ar para explicar o processo de visão. Defendia em sua teoria que semelhante conhece semelhante, então o olho que seria formado em seu interior de

fogo e no exterior de água, terra e ar permitiria ver quando o fogo que em si traz se unisse ao do universo.

Para Platão, a visão era produzida por raios que se originavam no olho e tais raios colidiam com os objetos que eram então visualizados. Aristóteles questionava essas teorias então conhecidas e ao refutá-las, formulou e fundamentou uma nova teoria. Ele considerava que a luz se comportava semelhante a voz humana que é resultado de movimentos vibratórios que agita o ar do ambiente, o objeto luminoso vibra, pondo em movimento um meio indefinido. Ele se baseava na existência de um meio transparente que era apenas um receptáculo potencial da luz, um veículo de cor e que transmitia essas alterações do meio para os olhos do observador. Esse conflito entre ideias pitagórico-platonista de um lado e ideias aristotélicas do outro estavam em campo especulativo e predominaram até o século XVII.

Seria possível a natureza se comportar de maneiras diferentes em cada instante? Todos esses filósofos naturais refletiam e tentavam explicar os fenômenos relacionados à luz e à visão, porém cada um elaborava sua teoria baseada nas suas próprias interpretações por isso não haviam consenso entre as teorias. Para alguns, emanavam corpúsculos dos objetos, para outros, raios saiam de dentro dos olhos, mas se são dos olhos que emergem raios ou fogo que possibilitam a visualização dos objetos, por que a falta de luminosidade do ambiente era um fator importante para o sistema de visão? Se os objetos emanavam corpúsculos carregando suas informações, por que sua matéria não se esgotava? Reflexões e teorizações com a finalidade de compreender o que é luz se confundiam com o sistema de visão para esses filósofos naturais, contudo havia questionamentos sem explicações. Atualmente, ao pesquisar o início da elaboração conceitual da luz pode haver um julgamento pré-conceitual, todavia essas teorias são mesmo infundadas? Não. Ao realizar uma análise criteriosa é percebido que essas teorias antecederam a teoria corpuscular e ondulatória da luz, sobe a qual a sua compreensão hoje se apoia.

Antes eram os filósofos que refletiam sobre os fenômenos naturais, atualmente são os cientistas e a ciência responsável é a Física. O ramo da física que estuda a luz e os fenômenos luminosos é a Óptica que se subdivide em óptica geométrica que estuda a propagação e o comportamento da luz e óptica física que estuda a natureza da luz.

Segundo o dicionário Melhoramentos, Luz é definida como agente que torna as coisas visíveis ou produz a iluminação. Claridade, radiação luminosa. E qual é sua importância no Universo? Sem a luz, haveria vida na Terra? Como teria sido o desenvolvimento da vida na Terra sem a luz do Sol?¹⁰ Questionamentos vitais para que haja uma reflexão crítica sobre sua importância.

De acordo com a teoria mais aceita sobre a criação do Universo, a teoria do "Big Bang", considera que há quinze bilhões de anos o Universo se concentrava em um tamanho reduzido e a temperaturas altas, quando houve uma grande explosão. A medida que o Universo se expandia a temperatura abaixava e quando chegou a ordem de milhares de graus, os átomos se formaram. Ainda em expansão, algumas regiões onde havia maior concentração de matéria, devido a atração gravitacional, essas matérias se uniram sequencialmente originando as galáxias.

A nossa galáxia se formou a partir de uma nuvem de poeira e gás, e parte desse material se contraiu, os átomos aumentaram as colisões entre si, aumentando a temperatura, tornando-se tão quente que desencadeou reações nucleares desses átomos, assim surgiu o Sol e logo após a Terra e os outros planetas se formaram.



Figura 4- Nossa galáxia Via Láctea. Crédito: Nasa/Spitzer/JPL

Sem luz não haveria vida.

A vida, como a conhecemos, depende de carbono, água e luz, e a Terra tinha os três elementos essenciais para a vida. [...] Ela (Terra sem luz do sol) teria disponível a luminosidade das estrelas, a proveniente das rochas incandescentes das erupções vulcânicas e quase mais nada de luz. Nada de plantas e fotossíntese, nada de cadeia alimentar, nada de vida animal, nada de espécie humana. A Terra seria um corpo com a superfície muito fria, incapaz de dar suporte à vida como a conhecemos hoje. (SAIVETTI, 2008, p.10 e 44)

A importância da luz por si só justifica a necessidade de entender sua natureza e assim compreender mais sobre o mundo no qual vivemos. Fenômeno que fomenta constantes reflexões na busca de sua natureza e do seu funcionamento e, diversos cientistas deram suas contribuições para seu completo entendimento.

¹⁰ Questionamentos retirados do livro "A história da Luz" de Salvetti.

Os trabalhos de René Descartes, Pierre de Fermat, Isaac Newton, Christiaan Huygens, Thomas Young, Augustin Fresnell, Maxwell, Einstein e outros contribuíram para o progresso científico e tecnológico no ramo da Óptica.

Caruso e Oguri relatam em seu livro¹¹ que a primeira contribuição moderna à compreensão da natureza de fenômenos luminosos que se destaca é a de Descartes. Ele encarava a luz como uma pressão transmitida, semelhante à propagação do som, através do éter, meio perfeitamente elástico, muito leve e rarefeito. O matemático francês Pierre de Fermat deu sua contribuição com um princípio fundamental sobre a propagação da luz, "estabeleceu o *Princípio do Tempo Mínimo* ao afirmar que *a natureza da luz atua sempre pelo menor caminho*". Princípio esse extremamente importante no desenvolvimento futuro da Física Teórica. O papel do método científico nas ciências da natureza foi crucial para a Óptica se desenvolver, com bases sólidas, como uma ciência experimental.

A hipótese de que a luz se propaga em linha reta¹² vem desde os filósofos da Antiguidade, pois foram os primeiros a se empenharem para entenderem as propriedades refletoras em superfícies planas e curvas.

Reflexão da luz

Experiências possibilitavam observar que raios luminosos, ao incidirem em uma superfície, dão origem geralmente a raios refletidos que voltam para o meio incidente (meio 1) formando um ângulo β com a normal¹³ N e um raio refratado transmitido para o meio 2 formando um ângulo γ com a normal, como exemplificado na figura abaixo.

¹¹ Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos. 2ª edição.

¹² Em um meio homogêneo, como o ar dentro de uma sala ou o espaço inter-estelar, a luz se propaga em linha reta. (NUSSENZVEIG, V. 4)

¹³ Reta Normal é uma reta perpendicular ao plano refletor.

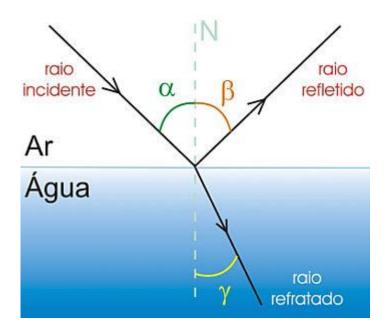


Figura 5- Representação dos raios luminosos incidente, refletido e refratado. Fonte: blog fisicaidesa.

O fenômeno de reflexão dos raios luminosos acontece quando há a mudança de suas direções ao encontrarem uma superfície que separa dois meios diferentes sem que os raios mudem de meio.

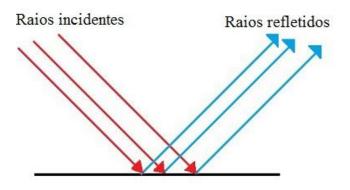


Figura 6- Representação de Reflexão

Euclides de Alexandria, em seu trabalho denominado *Catóptrica*, descreveu o comportamento do feixe luminoso refletido por espelhos planos, côncavos e convexos. Ele apresentou a primeira matematização da visão, concentrou-se a partir dos ensinamentos de Platão, em apresentar uma fundamentação geométrica da Óptica, formulando a lei de Reflexão da Luz - dizendo que o ângulo de incidência e de reflexão são iguais - que foi completada mais de mil anos depois pelo físico e matemático iraquiano Abu-Ali Al-Hasan Ibn Al Haythan (Al-Hazen) quando afirmou que o raio incidente, o raio refletido e a reta normal estão no mesmo plano.

Os fenômenos em que acontecem reflexão, tanto regular quanto difusa e seletiva, obedecem a duas leis fundamentais que são:

Leis da Reflexão

▶ 1ª lei da reflexão

O raio de luz refletido (r) e o raio de luz incidente (i), assim como a reta normal (N) à superfície, pertencem ao mesmo plano, ou seja, são coplanares.

2ª Lei da reflexão

O ângulo de reflexão (\hat{r}) é sempre igual ao ângulo de incidência (\hat{r}) .

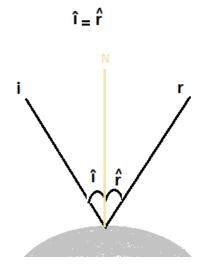


Figura 7- Representação da Lei de Reflexão

Refração da luz

A passagem da luz por uma superfície (ou interface) que separa dois meios diferentes é chamado de refração. A menos que um raio incidente seja perpendicular à superfície, a refração muda a direção de propagação da luz. (HALLIDAY, 2012, p.17)

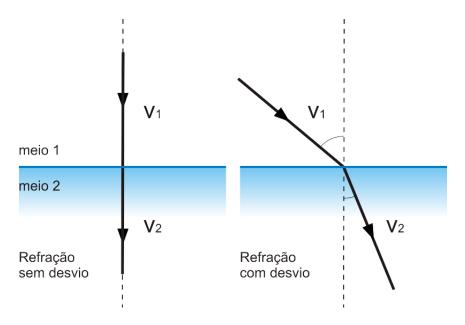


Figura 8- Representação da Refração

A refração da luz era conhecida pelos antigos. Platão, Aristóteles, Euclides, Heron de Alexandria e Posidonio Rodio (filósofo nascido na Síria) fizeram em algum momento referência sobre esse fenômeno em seus trabalhos, mas, aparentemente, foi um astrônomo e filósofo grego Cleomedes (século I a.C.) o primeiro a estudar esse fenômeno com atenção. A contribuição de Claudio Ptolomeu foi importante para a óptica, pois ele observou e mediu o fenômeno de refração. É em sua obra que conceitos mais assertivos e dados mais exatos sobre refração são encontrados. Provavelmente devido a sua procura em dar bases científicas aos seus estudos. Ptolomeu construiu uma tabela de índices de refração na passagem da luz do ar para a água, do ar para o vidro e da água para o vidro. Seus resultados são bastantes aproximados para incidência a sessenta graus em especial, mas não conseguiu chegar a uma expressão matemática correta. Al-Hazen contribui corrigindo algumas deduções de Ptolomeu, mas também não chegou a uma expressão matemática.

A lei para esse fenômeno foi deduzida posteriormente por Thomas Hariot, Willebrord Snell e René Descartes de forma independente, mas foi Descartes em 1637 que publicou a lei dos senos, tendo escrito essa lei de forma que a conhecemos hoje.

$$n_2 \operatorname{sen} \theta_2 = n_1 \operatorname{sen} \theta_1$$
 (Eq. 01)

em que n_1 e n_2 são constantes adimensionais, denominadas *índices de refração*, que dependem do meio onde a luz está se propagando e θ_1 e θ_2 são os ângulos de

incidência e de refração, respectivamente, em relação à Normal. Essa equação 01 é conhecida como a Lei de Snell-Descartes.

A formulação dessa lei abriu caminho para Óptica aplicada, um grande momento, pois viabilizou o entendimento de como raios de luz sofrem variação na direção ao atravessar um dioptro, ou seja, a fronteira plana entre dois meios homogêneo e transparente. Snell e outros, entretanto, não conseguiram explicar o motivo da luz sofrer desvios. Foi quando, em 1678, Christiaan Huygens sugeriu que o índice de refração de qualquer meio é determinado pela velocidade com que a luz o atravessa, ou seja, em cada meio, a luz possui velocidade diferente.

Há dois tipos de índice de refração: absoluto e relativo. O índice de refração absoluto é definido pela razão entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz no meio (v)

$$n = \frac{c}{v}$$
 (Eq. 02)

O índice de refração relativo do meio 1 em relação ao meio 2, $n_{1,2}$, é escrito como sendo o quociente entre o índice de refração absoluto do meio de propagação 1 e o índice de refração absoluto do meio 2. É expresso pela equação (Eq. 03):

$$n1,2 = \frac{n1}{n2}$$
 (Eq. 03)

Se $n_{12} > 1$, como passar do ar para a água, por exemplo, diz que o meio 2 é mais refringente que 1, porque no meio 2 a luz possui velocidade menor do que no meio 1 e o raio refrato se aproxima da Normal. Se $n_{12} < 1$, como passar da água para o ar, o meio 2 é menos refringente, logo o raio refratado se afasta da Normal.

O índice de refração, porém, não depende exclusivamente do meio, mas, também, da cor da luz. O cientista Isaac Newton foi responsável pela compreensão de uma propriedade básica da luz: a luz branca é uma mistura heterogênea de todas as cores. Em uma experiência realizada em seu quarto, ele observou que a luz branca, ao passar por um prisma, se decompõe e atribuiu à separação à existência de suas entidades microscópicas.

(...) no começo do Ano de 1666 (época em que me dedicava a polir vidros ópticos de formas diferentes das esféricas), obtive um Prisma de vidro Triangular para tentar com ele o célebre Fenômeno das *Cores*. Para esse fim, tendo escurecido o meu quarto e feito um pequeno buraco na

minha janela para deixar entrar uma pequena quantidade conveniente da luz do Sol, coloquei meu Prisma em sua entrada para que ela [a luz] pudesse ser assim refratada para a parede oposta. (SILVA E MARTINS, 1996, p.315)

Para Newton, a luz era formada por corpúsculos, entidades microscópicas semelhantes a "bolinhas" ["Se os Raios de luz fossem possivelmente corpos globulares" p.317] que possibilitavam a determinação de sua posição e de sua velocidade em cada instante de tempo. Newton entendia que cada cor possuía um tipo de corpúsculo ou mistura de diferentes corpúsculos. Para exemplificar, a cor verde corresponde a corpúsculos de cor verde ou à mistura de corpúsculos da amarela com a azul.

Como os Raios de luz diferem em graus de Refrangibilidade, eles também diferem sua disposição para exigir essa ou aquela cor particular. Cores não são *Qualificações da Luz* derivadas de Refrações ou Reflexões dos Corpos naturais (como é geralmente acreditado) mas *propriedades Originais e inatas* que são diferentes nos diversos Raios. Alguns Raios são dispostos a exigir uma cor vermelha e nenhuma outra; alguns uma amarela e nenhuma outra, alguns uma verde e nenhuma outra e assim por diante. Nem há apenas Raios próprios e particulares para as cores intermediárias. (SILVA E MARTINS, 1996, p.320/321)

Então, o índice de refração varia com a cor, o que constitui o fenômeno da dispersão, responsável pela separação das cores nas experiências de newton com o prisma.

A teoria corpuscular explicava muito bem os fenômenos de reflexão, pois partia da analogia dos movimentos das bolas em colisões elásticas 14 contra uma parede rígida, mas não conseguia explicar por que parte da luz se reflete e parte se refrata. A explicação do fenômeno de refração tinha dificuldades, pois necessitava da existência de uma força na superfície de separação entre os meios e essa força dependia das propriedades do meio para afastar ou aproximar os raios luminosos da reta normal. Para explicar a propriedade das cores também precisava de corpúsculos diferentes para cores variadas e não conseguia explicar os experimentos de interferência. Entretanto, não precisava preencher o espaço com um meio material com características específicas capaz de transportar a luz.

¹⁴ A colisão é denominada elástica quando ocorre conservação da energia e do momento linear dos corpos envolvidos. A principal característica desse tipo de colisão é que, após o choque, a velocidade das partículas muda de direção, mas a velocidade relativa entre os dois corpos mantém-se igual.

Existia à época uma teoria concorrente defendida principalmente pelo físico holandês Christian Huygens. Essa teoria considerava a luz formada por ondas¹⁵, e não por corpúsculos. Em seu "Tratado sobre a Luz" publicado em 1690, Huygens formula um princípio, baseado em uma construção geométrica, a qual permite determinar a posição de uma dada frente de onda em qualquer instante de tempo se conhecermos sua posição inicial, esse princípio é conhecido como *Princípio de Huygens* e diz:

Todos os pontos de uma frente de onda se comportam como fontes pontuais de ondas secundárias. Depois de um intervalo de tempo t, a nova posição da frente de onda é dada por uma superfície tangente a essas ondas secundárias. (HALLIDAY, 2012, p. 72)

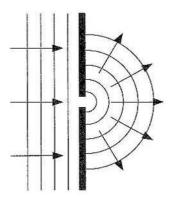


Figura 9- Princípio de Huygens

A teoria ondulatória explicava facilmente o porquê parte dos raios incidentes eram refletidos e parte era refratado, um impasse para teoria corpuscular. Análogo ao que acontece se unirmos duas cordas de densidades diferentes e emitirmos um pulso sobre a corda, parte desse pulso, quando chega a união, é refletido e parte é refratado, a luz, pela teoria ondulatória, ao incidir em uma superfície de separação entre dois meios, parte é refletida com ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência e parte é refratada. As ondas têm velocidades diferentes nos diversos meios materiais e, para explicar o fenômeno das cores, era desnecessário considerar a luz branca como composta por corpúsculos relativos a cada uma das cores e sim que cada cor corresponde a um comprimento de onda específico.

λ

¹⁵ Uma onda é uma transmissão de movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio material.

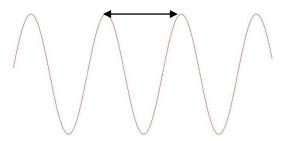


Figura 10- Representação de uma onda com identificação do comprimento de onda.

A polêmica sobre a natureza corpuscular ou ondulatória da luz, atraiu pesquisadores renomados como Isaac Newton, Jean-Baptiste Biot, Roger Joseph Boscovich e Laplace que defendiam a visão corpuscular. No entanto, aqueles pesquisadores que não admitiam o vazio defendiam a visão ondulatória. Estes eram Robert Hooke, Christiaan Huygens, Thomas Yang, Augustin-Jean Fresnel, Armand Hyppolyte Louis Fizeau e Jean-Baptiste Leon Foucault. Comparando com ondas mecânicas as quais precisam de um meio material para se propagar, a luz, igualmente, precisava de um meio para se propagar e esse meio era o éter que será detalhado mais a frente.

Um argumento utilizado por Huygens é que os feixes de luz após se cruzarem em uma mesma região do espaço cada feixe segue seu caminho, aparentemente sem qualquer alteração. Caso a luz fosse formada por corpúsculos, não seria de se esperar choques entre os feixes de luz, alterando assim a propagação da luz após o cruzamento dos feixes?

Haviam duas teorias e ambas explicavam, de maneiras distintas, os fenômenos da reflexão, refração e as cores, mas com a teoria ondulatória não era capaz de explicar à época o fenômeno de difração 16 da luz e, somado ao argumento de autoridade de Newton, já que possuía prestígios como cientista, fez com que a teoria corpuscular da natureza da luz fosse priorizada.

Difração da Luz

¹⁶ Para se observar o fenômeno de difração era necessário possuir um obstáculo ou orifício muito pequeno macroscopicamente, porém grande o suficiente que possibilitasse a passagem do comprimento de onda luminosa e nessa época ainda não tinha sido observado.

Difração é o desvio em relação à direção de propagação retilínea da luz ao se propagar para além de um obstáculo, isto é, difração ocorre quando uma onda contorna um obstáculo.

Esse fenômeno foi descrito pelo físico jesuíta italiano Francesco M. Grimaldi (1618-1663) e publicado postumamente em seu livro *Physico Mathesis de Lumine Coloribus et Iride*. Grimaldi relatou um experimento onde um feixe de luz branca ao passar por dois orifícios estreitos um atrás o outro e, em seguida, atingir um anteparo, haverá uma região iluminada além daquela que deveria existir se a luz se propagasse em linha reta.

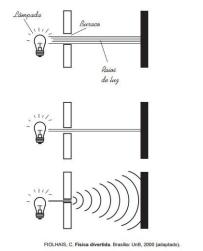


Figura 11- Ilustração do fenômeno de difração. Fonte ENEM 2011.

A figura acima exemplifica o fenômeno observado por Grimaldi. Quando o obstáculo ou orifício é grande comparado ao comprimento de onda que é da ordem de 10⁻¹⁰ m, se observa a luz se propagando em linha reta, mas se esse obstáculo é pequeno macroscopicamente, porém grande o suficiente para permitir que a luz passe, haverá uma região iluminada além daquela que seria se a luz se propagasse exclusivamente em linha reta.

Newton se interessou pelos resultados experimentais de Grimaldi e, após realizar suas próprias experiências, descreveu suas observações no livro *Óptica*, onde sempre defendia, mas não explicitamente, a natureza corpuscular da luz.

Originalmente, o termo difração surgiu para designar o fenômeno que se manifesta sempre que a luz encontra um objeto ou obstáculo cujas dimensões são suficientes pequenas do ponto de vista macroscópico, mas, ainda assim, grandes comparadas ao comprimento da onda da luz (CARUSO E OGURI, 2016).

A partir dos trabalhos do francês Augustin Fresnel, que calculou matematicamente as figuras de difração para vários tipos de obstáculos e aberturas onde a luz incidia ou atravessava, chegou-se a uma explicação aceitável para a propagação retilínea da luz. Fresnel partiu da concepção ondulatória e utilizando o princípio da interferência (que será descrito posteriormente) entendeu que a difração da luz se torna menos observável a medida que a abertura ou orifício do obstáculo se torne progressivamente maior como demonstrado na figura 11.

O conhecimento do fenômeno de difração possibilitou o experimento que forneceu dados que comprovaram um comportamento ondulatório da luz.

Interferência da luz

A interferência óptica luminosa consiste na interação entre duas ou mais ondas de luz com a geração de um efeito luminoso que difere da simples soma de efeitos de cada onda em separado (ROCHA, 2011, p.228). Interferência é um fenômeno

caracteristicamente ondulatório e, no que diz respeito à luz, foi observado por Robert Hooke e citado em seu livro *Micrografia* em 1665. Nesse livro, Hooke descreveu experiências onde observou cores produzidas por corpos transparentes finos, iluminados com luz branca como exemplo em uma bolha de sabão e "concluiu que



qualquer substância transparente muito fina, colocada entre duas superfícies com índices de refração diferentes, ou sobre uma superfície refletora, produz cores" e Roberto Martins e Cibelle Silva seguem dizendo que,

Hooke concluiu que ela [a core] é produzida pelo movimento muito rápido de partículas dos corpos e que a própria luz é um movimento vibratório que se espalha em superfícies esféricas a partir da origem, como as ondas que se formam na superfície na água quando se joga uma pedra nela; e os raios luminosos são como os raios geométricos que vão do centro de uma esfera ou círculo para sua superfície (MARTINS E SILVA, 2015, p. 12).

Newton, a partir das observações de Hooke, utilizou uma lente plano-convexa posicionada tangencialmente sobre uma lâmina de vidro para observar melhor esse fenômeno. Os "anéis" coloridos obtidos dessa experiência foram estudados e são conhecidos atualmente por "anéis de Newton". Anéis de Newton são originados de uma interferência luminosa refletida na área limítrofe superior e inferior de uma cunha de ar entre duas superfícies quase paralelas e é um fenômeno observável no cotidiano.

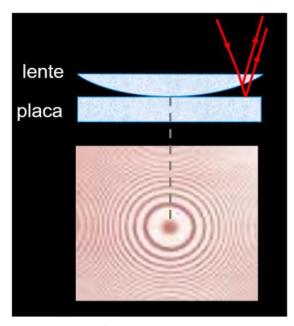


Figura 12-Esquema para observação dos anéis de Newton. Fonte: site departamento de física UFMG

A lente é colocada sobre a placa de vidro plana, e forma-se entre elas uma lâmina de ar de espessura variável desde zero, no centro da lente, até a borda, acompanhando sua curvatura. Este dispositivo permite observar, tanto na luz refletida como na transmitida, interferências de igual espessura, sob a forma de anéis concêntricos como ilustra a figura 12 acima. Quando iluminada por cima, as ondas de luz são refletidas nas superfícies da lente e da placa que formam a película. A diferença de fase entre essas ondas é determinada pela distância percorrida a mais pela onda que é refletida na superfície de vidro em relação à que é refletida na superfície da lente, como ilustrado em vermelho na figura 12.

Exemplos onde podemos encontrar cores de interferências são as cores de machas de óleo no asfalto molhado, plumagens de beija-flores ou de asas de borboletas.

Newton e Hooke, devido às suas concepções diferentes sobre a natureza da luz, discordaram das explicações dadas para esse fenômeno. As explicações formuladas por Newton, no entanto, não foram suficientemente satisfatórias para explicar esse fenômeno ou aqueles observados por Grimaldi. As explicações dadas por Hooke são consideradas atualmente como antecessoras da teoria ondulatória da luz.

Thomas Young, entretanto, em 1801, realizou um experimento fundamental para demonstrar, finalmente, a natureza ondulatória da luz. A observação de que a composição de feixes de luz que emanavam de duas fontes distintas, ao incidir sobre um anteparo, resultava em padrões de intensidades análogos aos de interferência de ondas sonoras levou-o a crer que os fenômenos ópticos seriam resultantes de movimentos ondulatórios em um meio etéreo (CARUSO E OGURI, 2016, p.134)

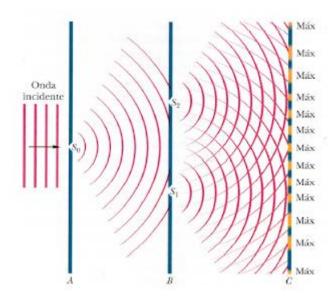


Figura 13- Arranjo experimental de Young. Fonte: Halliday e Resenick, 2012, p. 78

Nesse experimento se observa que a luz monocromática incidente na fenda S_0 do anteparo A sofre difração. Em seguida, as ondas luminosas incidem sobre as fendas S_1 e S_2 do anteparo B. A luz, ao passar por essas fendas, sofre novamente difração gerando duas frentes de onda que se propagam em fase, pois são oriundas da mesma fonte S_0 . Portanto as fontes S_1 e S_2 comportam-se como fontes coerentes, permitindo que seja observado o fenômeno ondulatório de interferência no anteparo C. Nos pontos em que ocorrem interferência construtiva aparecem franjas claras, onde há interferências destrutivas, aparecem franjas escuras.

Se duas ondas com mesma frequência (f) e mesmo comprimento de onda (λ), mas com fases diferentes, se combinam, a amplitude da onda resultante depende da diferença de fase:

- ➤ Se a diferença de fase for 0° ou um múltiplo inteiro de 360°, as ondas estão em fase e interferem construtivamente. Então a amplitude da resultante é igual à soma das amplitudes individuais e a intensidade é máxima;
- Se a diferença entre as fases for um número inteiro ímpar de 180º, as ondas estão em oposição de fases e sua interferência é destrutiva. A amplitude resultante é a diferença das amplitudes individuais e a intensidade está num mínimo.

Uma análise quantitativa do experimento de interferência de dupla fenda de Young, permite calcular a intensidade luminosa em cada ponto do anteparo de observação, pois depende do ΔL entre as distâncias percorridas pelos dois raios que chegam ao ponto. Como representado no esquema abaixo.

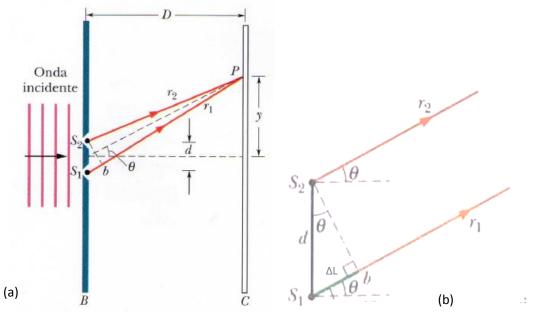


Figura 14- (a) Esquema para as condições de interferência construtiva e destrutiva no experimento de fenda dupla. (b) A interferência é causada pela diferença ΔL entre r1 e r2. Fonte: Halliday e Resnick, 2012, p. 79.

A expressão matemática que relaciona ΔL e θ é complicada, mas se for considerado que a distância entre o anteparo B que contém as fendas e o anteparo C é muito maior que a distância entre as fendas S_1 e S_2 , pode-se entender que os raios r_1 e r_2 são aproximadamente paralelos. Supondo também que o triângulo formado por S_1 , S_2 e b é um triângulo retângulo e que o ângulo interno no vértice S_2 é θ , ΔL pode ser expresso:

$$\Delta L = d \operatorname{sen} \theta$$
 (Eq. 04)

No caso de uma franja clara (interferência construtiva), deve ser zero ou um número inteiro de comprimentos de onda (λ)

$$d \operatorname{sen} \theta = m\lambda$$
 $(m = 0, 1, 2, 3, ...)$. (Eq. 05)

No caso de uma franja escura, deve ser um múltiplo ímpar de meio comprimento de onda:

$$d \operatorname{sen} \theta = (m+1/2)\lambda$$
 $(m = 0, 1, 2, 3, ...)$. (Eq. 06)

As equações 05 e 06 apresentadas podem ser usadas para determinar as posições das franjas claras e escuras, podendo também, os valores de *m* identificar as diferentes franjas na figura de interferência.

Apesar de todo sucesso em descrever os fenômenos de reflexão, refração, difração e interferência com a teoria ondulatória da luz, faltava entender que meio possibilitava a propagação das ondas luminosas. Uma explicação dada por Huygens para contornar esse obstáculo teórico, pois todos acreditavam que ondas precisavam de um meio material para se propagar, análogo ao som, foi a suposição da existência de um meio luminoso, que penetrava os poros de todos os corpos e preenchia todo espaço, um meio que possuísse todas as características que explicassem a grande velocidade da luz. Para ele, esse meio teria que ser um fluido e acabou chamando tal meio de éter luminífero. A ideia de um meio que preencheria todo o espaço se iniciou na Grécia Antiga. Para Aristóteles, o éter era um fluido puro e transparente que preenchia a esfera celeste. Para Descartes, o éter seria um meio fluido intermediário das ações dos sistemas físicos. Foi a partir dessas ideias que Huygens retomou ao éter. A definição mais científica do éter foi dada primeiramente por Newton que, para ele, seria um fluido mais elástico que o ar e granulado que penetraria todos os corpos, porém de densidade variável, segundo o corpo em que se encontrasse ou que rodeasse.

Os defensores da teoria ondulatória para a luz conjecturaram a existência de um meio material capaz de transmitir ondas luminosas. Assim, os problemas com a propagação da luz foram transferidos para o éter. A grande questão era: esse meio não poderia resistir ao movimento dos corpos, caso contrário, os planetas no sistema solar seriam freados e cairiam em direção ao Sol.

Apesar das dificuldades inerentes a tal modelo – devido ao fato dele exigir propriedades contraditórias para o éter - a hipótese da sua existência perdurou por muito tempo, recebendo, inclusive, um reforço exclusivo por volta de 1861, após Maxwell demostrar que a luz era uma onda eletromagnética. (ROCHA, 2011, p. 233)

Apesar da significativa contribuição de Huygens e Young para o entendimento da natureza ondulatória da luz, suas conclusões foram de caráter qualitativo. Fresnel, que aplicou uma análise matemática ao fenômeno de difração após uma série de experimentos, mas o matemático francês Siméon-Denis Poisson questionou Fresnel e tentou invalidar sua teoria chamando a atenção para a figura de difração provocada por obstáculos circulares opacos. Segundo Poisson, deveria haver um ponto luminoso no centro da figura de difração. Entretanto, essa figura foi observada e atualmente é chamada de "o ponto claro de Fresnel", quase tão intenso quanto se não houvesse obstáculo. Na verdade, esse fato serviu para comprovar a teoria de Fresnel.

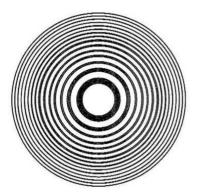


Figura 15- Figura de difração de Fresnel Fonte Moysés Nussenzveig, 2002, p. 97.

Polarização

O médico e matemático dinamarquês Erasmus Bartholinus, em 1669, publicou os resultados de suas observações ópticas realizadas em um corpo transparente com propriedades desconhecidas. Huygens em 1678, na tentativa de interpretar o fenômeno observado por Bartholinus, notou e estudou o fenômeno da polarização. Esse estudo se deu quando ele tomou dois cristais de calcita e os colocou em sucessão, atravessando-os com um raio luminoso (ROCHA, 2011, p. 237). A polarização é o processo pelo qual ocorre a seleção de algumas direções de oscilações da onda.

Ondas podem ser classificadas quanto à natureza, que podem ser mecânicas ou eletromagnéticas, e quanto à direção de propagação, que podem ser transversais ou longitudinais.

Classificação segundo sua natureza:

Lembrete

- > Ondas mecânicas: são ondas que precisam de um meio material para se propagar. Exemplos: ondas o mar, som, etc.
- Ondas eletromagnéticas: são ondas que não precisam de meio material para se propagar. Exemplo: raio x, sinais de rádio, etc.

Classificação segundo sua direção de propagação:

Ondas transversais: a vibração é perpendicular à vibração da onda.

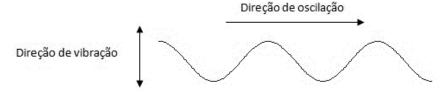


Figura 16- Ilustração de ondas transversais

Ondas longitudinais: são as ondas onde a vibração da fonte é paralela ao deslocamento da onda.

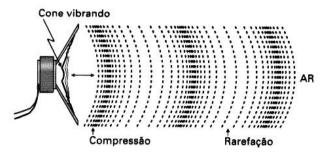


Figura 17- Ondas sonoras é um tipo de onda longitudinal. fonte: site infoescola.

Polarizadores são materiais constituídos de modo a apresentarem diferentes propriedades nas diversas direções e funcionam semelhantes a "filtros". Uma onda luminosa ao chegar ao polarizador, atravessa-o permanecendo com componentes que oscilam perpendicularmente em direção das fendas bloqueadas.

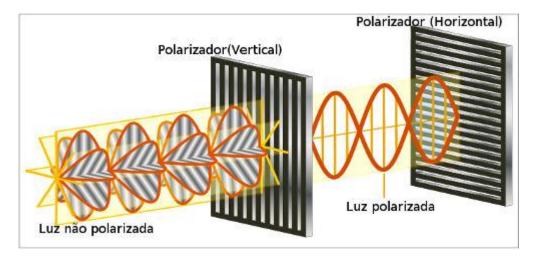


Figura 18- Esquema representativo de polarização de ondas luminosas. Fonte: site Brasil escola.

A luz que atravessa o polarizador vertical, atinge o segundo polarizador, colocado na horizontal, somente com componentes verticais, as ondas verticais não passam e, dessa forma, a luz fica impedida de propagar-se.

O experimento com polarizadores mostrou que a luz é composta por ondas transversais. À época o que se conhecia era que ondas transversais necessitavam de um meio material com propriedades elásticas para se propagar. Esse meio foi descrito anteriormente, o *éter*.

Em síntese, a natureza da luz era campo de investigações de muitos cientistas. Havia duas teorias concorrentes, quais sejam: a corpuscular e a ondulatória. As duas teorias possuíam limitações teóricas. A teoria corpuscular encontrou dificuldades para explicar o fenômeno da refração, pois necessitava de uma força extra na superfície de separação entre os meios para poder ser explicada. Para explicar as cores, eram necessários corpúsculos diferentes para variadas cores e estes não conseguiam explicar o fenômeno de interferência. A teoria ondulatória conseguiu explicar os fenômenos de reflexão, refração, difração e interferências, mas precisava preencher todo o espaço com um meio material com características específicas capaz de transportar a luz. Afinal, nenhuma teoria explicava satisfatoriamente a natureza da luz. Os estudos continuaram...

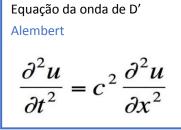
Luz: onda eletromagnética

Na segunda década do século XIX, o pesquisador e professor Hans Christian Oerested conseguiu demonstrar a relação entre os fenômenos de Eletricidade e Magnetismo que antes eram estudados e considerados independentes, e, a partir de então, os estudos sobre esses fenômenos se intensificaram. Em meados desse mesmo século, as pesquisas mais importantes sobre a unificação desses fenômenos estavam sendo feitas e é nesse cenário que surgem os trabalhos de James Clerck Maxwell, um físico e matemático que contribui para o eletromagnetismo, termodinâmica e a mecânica estatística.

Maxwell conseguiu uma formulação matemática que unificou as leis de Coulomb, Oerested. Ampère, Biot Savart, Faraday е Lenz, expressando essas leis em quatros equações, hoje conhecidas como Equações de

Maxwell.

A primeira e mais importante consequência da unificação do eletromagnetismo foi que, a partir das equações de Maxwell, nota-se que tanto o campo elétrico como o campo magnético satisfazem a uma



equação análoga à de Jean D'Alembert para ondas elásticas. A partir dessa equação, Maxwell demonstrou que a velocidade de suas ondas eletromagnéticas – ondas estas desconhecidas até então – coincidiam com a

velocidade da luz, a qual era conhecida na época, o que indicou que a luz era de natureza eletromagnética. (Origens p. 263)

Conforme Maxwell demonstrou em suas equações, a velocidade das ondas eletromagnéticas se propagam com velocidade igual a:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

Onde
$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi.9.10^9} F/m$$
 e $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} T.m/A$

mesmo valor da velocidade da luz,

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \cong 3.0 \times 10^8 m/s$$

Essas ondas foram depois criadas experimentalmente por Hertz, e confirmou-se que elas tinham propriedades muito semelhantes às das ondas luminosas. Concluiu-se então que a luz era um tipo especial de onda eletromagnética e assim, a óptica passou a ser uma parte do eletromagnetismo.

O sucesso da teoria eletromagnética da luz foi tão significante que no final do século XIX acreditava-se que pouco ou até nada, poderia ser acrescentado ao conhecimento científico, que toda a Física estaria completa, faltando apenas a solução de dois problemas secundários, quais sejam: os resultados negativos do experimento de Michelson e Morley e a dificuldade em explicar a distribuição de energia na radiação de um corpo aquecido.

A Experiência do Interferômetro de Michelson-Morley

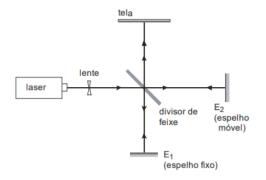




Figura 19- Diagrama esquemático do interferômetro de Michelson-Morley. Fonte site http://lilith.fisica.ufmg.br

Figura 20- Padrão de franjas de interferências que são observadas na tela do interferômetro.

O feixe do laser expande-se ao passar através da lente e, em seguida, incide sobre um divisor de feixe, onde se divide em dois outros feixes – um deles é refletido em direção ao espelho E1 e o outro é transmitido em direção ao espelho E2; ao espelhos E1 e E2 refletem o feixe de volta ao divisor de feixe e eles se sobrepõem na tela; produzindo franjas circulares de interferência como a Fig. 20.

PARA SABER MAIS:

Como montar um experimento de interferômetro a baixo custo tenha o artigo referenciado:

CATELLI, F; VICENZI, S. Interferômetro de Michelson. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 18, n. 1, abr. 2001.

Ter esse experimento mais detalhado acesse:

http://lilith.fisica.ufmg.br/~labexp/novosite/Interferometro_de_Michelson.pdf

Os norte-americanos Albert Abraham Michelson e Edward Williams Morley realizaram a famosa experiência do interferômetro no ano de 1887. Essa experiência visava detectar a existência do éter. O interferômetro consiste em um feixe luminoso que se divide em dois ao passar por um espelho semirrefletor. Os feixes divididos seguem caminhos diferentes, mas se cruzam e, nesse cruzamento, os feixes são recombinados. O efeito do éter dependeria dos caminhos trilhados pelos dois feixes, do mesmo modo que um barco terá velocidades resultantes diferentes, caso atravesse um rio perpendicularmente ou paralelamente à correnteza. Tendo os dois feixes velocidades relativas diferentes evidenciaria a influência do éter, mas esse experimento nada detectou. Por quê?

Questionamentos surgiram e pesquisas avançaram para entender os problemas teóricos à época. No final do século XIX, os avanços dos estudos para soluções dos problemas e as tentativas de unificação de toda física, culminaram na criação da Teoria da Relatividade (quando se tentava unificar a mecânica com o eletromagnetismo) e a teoria quântica que *a posteriori* se tornou a Mecânica Quântica (na tentativa de unificar a termodinâmica com o eletromagnetismo).

Teoria da Relatividade

Pesquisas objetivando detectar a existência do éter resultaram na experiência de Michelson e Morley – descrita acima – que, como resultado, não encontrou diferença de tempo que a luz demoraria para percorrer uma certa distância na direção do movimento da Terra, em sua órbita em torno do Sol, em comparação com

o tempo que a luz demoraria para percorrer a mesma distância em uma direção perpendicular. Esses dados experimentais obtidos indo de encontro ao que se esperava pelos cientistas por acreditarem na influência do éter nos movimentos, foi uma das origens da teoria da relatividade especial (ou restrita) formulada por Einstein em 1905.

Para entender o fundamento da Teoria da Relatividade é preciso compreender o conceito de espaço de Galileu, Newton e Einstein.

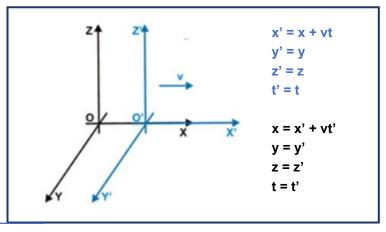
SAIBA MAIS

FALCIANO, F. T. Geometria, espaço-tempo e gravitação: conexão entre conceitos da relatividade geral. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 4, 2009.

CARUSO, F.; FREITAS, N. Física Moderna no Ensino Médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 26, n. 2, 2009.

Para Galileu e Newton, o espaço e tempo eram absolutos. Para a Mecânica Clássica as leis da mecânica são iguais e independentes de quaisquer sistemas de referências que possuam velocidade de translação constante entre si. Os cálculos matemáticos para fazer uma mudança entre dois referenciais é simples, porque o tempo, como mencionado, é absoluto e tem o mesmo valor em qualquer referencial,

posições enquanto as relativas às origens dos dois referenciais dependem sabermos apenas de velocidade relativa entre referenciais. estes Essa mudança de referenciais é chamada de Transformações



de Galileu.

Diferentemente do que pensavam Galileu e Newton, nem todas as velocidades eram relativas. O princípio da relatividade de Galileu ¹⁷, embora válido para a Mecânica Clássica, não seria válido para o Eletromagnetismo. Einstein postulou que

1

¹⁷ Costuma-se denominar de "princípio da relatividade de Galileo" a afirmação de que é impossível detectar-se qualquer efeito físico de um movimento uniforme de translação de um sistema físico, por experimentos realizados dentro desse sistema. (MARTINS, 1986, P. 69).

a velocidade da luz é absoluta, isto é, a velocidade da luz no vácuo é constante 39 independe da fonte ou do observador.

Para o melhor entendimento dessa afirmação, imagine uma situação na qual um trem que se afasta com velocidade v constante de um observador externo ao trem e em repouso. Dentro desse trem há um sinal luminoso que se afasta da fonte que o produziu com a velocidade da luz c. Para Newton o sinal luminoso se afastaria do observador externo com a velocidade do trem somada a velocidade da luz v + c. Para Einstein, a velocidade da luz se afasta do observador externo com a mesma velocidade que se afasta da fonte dentro do trem, independente da velocidade do trem.

Deixar, portanto, a concepção que todas as velocidades são relativas para entender que há uma velocidade absoluta, implica em rever os conceitos de espaço, tempo, simultaneidade, energia e massa.

O conceito basilar da relatividade é a invariância das leis físicas em relação aos referenciais inerciais. Einstein postulou dois princípios da Teoria da Relatividade Especial.

- Primeiro postulado: as leis da Física devem valer da mesma maneira em qualquer referencial.
- Segundo postulado: a velocidade da luz no vácuo sempre tem o mesmo valor dado por

$$c = 3.0 \times 10^8 \, m/s$$

Independentemente do estado de movimento do emissor, para qualquer que seja o observador.

Então, no final do século XIX, Einstein revolucionou a cinemática com novas concepções de espaço e tempo. As consequências dessa nova teoria foram a contração do espaço e dilatação dos intervalos de tempo em sistemas em movimento. Para o Einstein, o campo elétrico e o campo magnético deixaram de ser independentes para ser um novo campo de estudo na física, o eletromagnetismo. O problema de detectar o éter também se findou, pois não havia mais a necessidade de se postular um meio a qual vibravam as ondas eletromagnéticas.

SAIBA MAIS EM

A inserção da Teoria da Relatividade no Ensino Médio. Dissertação de Mestrado de Carlos Daniel Ofugi Rodrigues de 2001, pela Universidade Federal de Santa Catarina. Capítulo 2.

Teoria da relatividade geral no ensino médio: linhas retas e curvas no caminho da física, da literatura e da história e filosofia da ciência. Dissertação de Mestrado de Ana Maria Santos Menezes de 2010 pelo CEFET-RJ.

Teoria da Relatividade restrita e geral no programa de mecânica no Ensino Médio: uma

Radiação do Corpo Negro

No início do século XX a teoria da relatividade, que unificou a mecânica e o eletromagnetismo, revolucionou a física com o fato de postular que a velocidade da luz, no vácuo, é invariante para qualquer sistema de referência, conceitos antes entendidos como absolutos - massa, energia, tempo e espaço – se relativaram.

Entretanto, nenhuma teoria existente à época conseguia explicar os fenômenos que aconteciam em escalas microscópica, estes situados nas fronteiras da termodinâmica e do eletromagnetismo.

Como mencionado anteriormente, Maxwell ao deduzir, com suas equações, que a luz se tratava de um tipo de onda eletromagnética obteve um avanço científico enorme, porém, o grande problema teórico sobre o modo que se dava a interação da matéria com a radiação ainda estava em aberto.

Nesse contexto, surgiu a teoria quântica que se firmou posteriormente como Mecânica Quântica. O primeiro passo, na direção da construção dessa nova teoria, foi dado pelo físico

CONTEXTUALIZANDO

Ao final do século XIX, a Alemanha vivia um período de pesquisas para a produção de aço de melhor qualidade, e para isto era fundamental um controle rigoroso temperatura dos altos fornos. Para contornar as dificuldades experimentais impostas pela utilização de termômetros comuns. necessário era pesquisar as temperaturas estudando-se o espectro (as cores) das radiações térmicas emitidas, ou seja, procurandorecolher luzes as provenientes dos fornos a diferentes temperaturas. (ORIGENS p. 305)

alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck ao tentar explicar o objeto teórico chamado **Corpo Negro**, objeto esse que quando em equilíbrio térmico com a vizinhança, emite toda radiação que recebe de maneira contínua.

Pesquisas foram desenvolvidas por diversos cientistas para entender o experimento do corpo negro. O físico austríaco Josef Stefan estabeleceu, em 1884, uma lei empírica em que o poder emissor E

$$E = \sigma . T^4$$

Onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann

(energia emitida pelo corpo negro na forma de luz e calor em cada segundo) era proporcional à temperatura absoluta (na escala Kelvin) elevada à quarta potência.

Luidwig Boltzmann, nesse mesmo ano, contribuiu explicando teoricamente a equação, atualmente conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann.

O físico alemão Wilhelm Wien, em 1893, encontrou uma expressão matemática que descrevia a maneira como a emissão de luz por um corpo negro variava com a temperatura. Wien verificou que ao aumentar a temperatura do corpo negro, o comprimento de onda correspondente ao brilho máximo de luz emitida pelo mesmo deveria tornar cada vez mais curto, deslocando-se para a parte violeta do espectro eletromagnético.

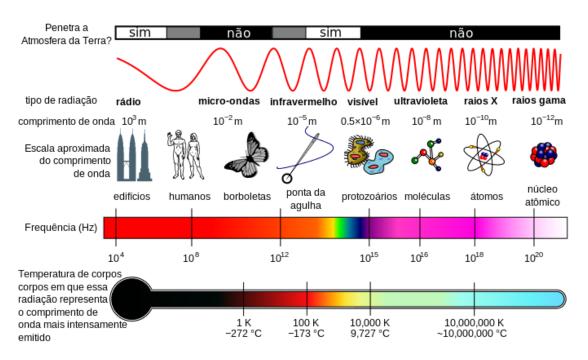


Figura 21- Espectro eletromagnético com comparativo de tamanho e temperatura para cada comprimento de onda. Fonte: wikipedia.

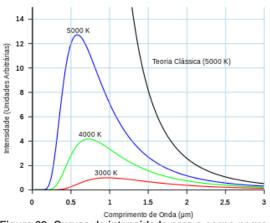


Figura 22- Curvas de intensidade para o corpo negro.

As curvas de intensidade para um corpo negro têm o seguinte aspecto:

À medida que a temperatura diminui, o pico da curva da radiação de um corpo desloca negro se para menores intensidade e maiores comprimentos de onda.

De acordo com a teoria clássica, a energia emitida deveria tender ao infinito à medida que o comprimento de onda da radiação fosse diminuindo.

Planck, em 14 de dezembro de 1900, apresentou, na conferência da Sociedade de Física de Berlim, a solução do problema da radiação do corpo negro, fruto de seis anos de estudos. Ele deduziu que a radiação eletromagnética era produzida por elétrons oscilando de maneira que gerassem pacotes de energia de intensidades específicas, múltiplos inteiros, em função da frequência "f" de radiação:

$$E = h \cdot f$$

Onde h é a constante universal de Planck igual à 6,63 x 10⁻³⁴ J.s.

A partir dessa equação, chegou-se ao consenso de que as radiações eletromagnéticas possuem estrutura corpuscular de energia que receberam o nome de **quanta** (ou *quantum* no singular).

Planck propôs que a interação entre matéria e energia ocorria somente em determinados valores de energia, múltiplos de um valor mínimo. Esse seu trabalho foi tão relevante que rendeu o Prêmio Nobel de 1918.

Efeito Fotoelétrico

As ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell e confirmadas posteriormente por Hertz, são perturbações oriundas da interação entre campo elétrico (**E**) e magnético (**B**), variáveis no tempo, em induções recíprocas, perpendiculares entre si e perpendiculares à direção de propagação, com velocidade *v* igual à da luz no meio de propagação.

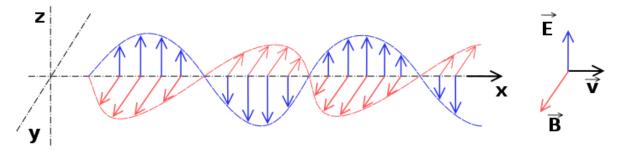
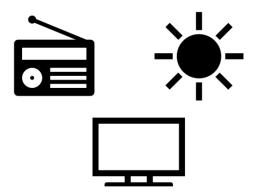


Figura 23- Representação esquemática de uma onda eletromagnética linearmente polarizada. Fonte: Wikipedia.

A onda se propaga ao longo do eixo horizontal com comprimento λ . O campo elétrico está representado em azul, o campo magnético está representado em vermelho e o vetor de onda em preto.

Exemplos de ondas eletromagnéticas:

- · Raios Gama;
- Raios-X;
- Ultravioletas;
- Luz visível;
- Infravermelhos;
- Micro-ondas;
- Ondas de rádio e Tv



O físico russo Alexander Staletov e o físico alemão Heinrich Hertz observaram, na metade do século XIX, o **efeito fotoelétrico** que consiste na emissão de elétrons, por materiais metálicos, quando sobre eles incide um feixe de luz.

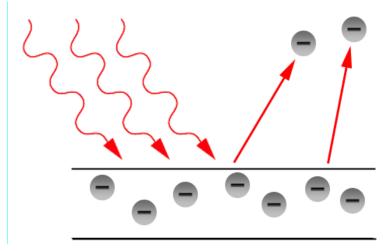


Figura 24- Esquema representativo do efeito fotoelétrico. Fonte: Wikipedia

Hertz, tentando comprovar a validade da teoria de Maxwell produzindo e detectando ondas eletromagnéticas, produziu uma descarga oscilante fazendo saltar uma faísca entre dois eletrodos, para gerar ondas, e detectava-as usando uma antena ressonante, onde a deteção também era acompanhada de uma faísca entre os eletrodos. Ele observou que a faísca de detecção saltava com mais dificuldade quando os eletrodos da antena receptadora não estavam expostos à luz (predominante violeta e ultravioleta) proveniente da faísca primária na antena emissora, ou seja, quando se induzia um anteparo entre as duas para bloquear a luz. (NUSSENZVEIG, 2002, p. 249)

A teoria ondulatória da luz não conseguia explicar esse fenômeno porque a energia máxima dos elétrons emitidos não era determinada pela intensidade da luz como era de se esperar, e sim, pela frequência da onda incidente.

Em 1905, Albert Einstein explicou o efeito fotoelétrico propondo uma nova teoria corpuscular baseado nos pacotes de energia (os quanta) defendidos por Planck e denominou os elementos de onda cuja energia é compartimentada em **quanta de fóton**. Cada fóton carrega um *quantum* de luz e a energia E de cada fóton é proporcional à sua frequência f. De acordo com Einstein, ao penetrar na superfície do metal, cada fóton interage com um elétron, transmitindo-lhe toda sua energia. Para um elétron abandonar a superfície do metal, entretanto, é necessário que ele adquira uma certa quantidade de energia Φ, denominada função trabalho. Admitindo que é pouco provável a absorção de dois ou mais fótons por um elétron, os elétrons só conseguem abandonar o metal se hf > Φ. Portanto, aqueles que escapam emergem com energia cinética máxima E_c dada por

$$E_c = h \cdot f - \emptyset$$

Para Einstein, a luz não era uma onda eletromagnética, mas sim um pacote de energia dotado de características ondulatórias - com comprimento de onda λ e corpusculares.

Coletivamente, os fótons parecem se comportar como ondas e, como tais, são explicados pelos fenômenos ondulatórios. Individualmente, cada fóton se comporta como uma partícula com energia, velocidade de propagação e uma certa localização no espaço, de modo que pode colidir com um elétron.

SUGESTÃO

Produto educacional: sequência didática para o ensino de efeito fotoelétrico. Produto do Programa de Mestrado Profissional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná de autoria de Danilo Corci Batista, em 2016.

Endereço eletrônico:

http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/produto_danilo_corci.pdf

Dualidade onda-partícula

Para entender a natureza da luz, há discussões filosóficas de grande importância para a Física como ciência. Como pode haver um comportamento dual? Comportamento ora ondulatório, ora corpuscular. Para fenômenos como difração, interferência e polarização, a luz se comporta como onda. Para efeito fotoelétrico a luz se comporta como corpúsculo.

Todos os filósofos e cientistas mencionados nesse trabalho contribuíram significativamente para o completo entendimento da natureza da luz. Algumas discussões foram revolucionárias como as de Maxwell e de Einstein. A ciência ainda está em construção, por isso é importantíssimo cativar os alunos e alunas para esse universo desafiador e estimulante que é a ciência de Fronteira.

Bons estudos!!!

Em Síntese...

"A luz vinda do Sol transporta a energia que possibilitou o surgimento e a evolução da vida na Terra, e viabilizou o desenvolvimento de seres com interesses diversos, inclusive os de entender a luz que lhes assegura a sobrevivência. Uma luz com velocidade absoluta, que relativiza a simultaneidade de acontecimentos, impõe a contração espacial, implica na dilatação temporal e torna evidente a identidade entre massa e energia. Uma luz com massa, e por isso cai pela ação da gravidade, mas que tem massa apenas enquanto em movimento, sua massa de repouso é nula, e desse modo, a luz não pode ser parada e continuar luz. O movimento é condição para a luz existir! Uma luz que viaja, mesmo na ausência de cargas elétricas, com uma velocidade de trezentos milhões de metros por segundo. Uma luz que é absorvida pela matéria por meio das cargas elétricas presentes nos átomos, ao transferir a eles sua energia. Uma luz que pode ser refletida pelas cargas elétricas da matéria, numa absorção da luz incidente com posterior emissão de luz refletida, com as mesmas características da luz incidente. Uma luz que pode ser criada pelo movimento das cargas elétricas presentes na matéria, cargas que geram luz, transferindo a ela parte da sua energia. Uma luz que não envelhece, pois para a luz o tempo não passa. Uma luz que "vê" os objetos reduzidos ao nada numa contração do espaço. Uma luz que aquece e ilumina. Uma luz que se comporta como uma onda formada por campos elétricos e magnéticos perpendiculares à direção de propagação. Uma luz material, a partir da qual podemos criar partículas com massas e cargas elétricas, que ao ser estudada, revela segredos da matéria, do espaço e do tempo. Uma luz que é nossa melhor forma de comunicação com o Universo, recebendo e transmitindo informações do ambiente em que vivemos e dos segredos que ele contém. Uma luz que, além de ser a nossa melhor forma de comunicação com as pessoas, faz visível a matéria que nos rodeia. A matéria vista e entendida a partir da luz que dela recebemos". (SALVATTI, , p.120)

MÓDULO III



INTRODUÇÃO

Este material foi pensado e estruturado visando a auxiliar os professores e professoras, futuros e em exercício, habilitados para lecionar ciências no segundo segmento do ensino fundamental, em suas práticas docentes.

É sabido que um professor possui, na grande maioria, uma extensa carga horária de trabalho dificultando, muitas vezes, um aperfeiçoamento de seus estudos. Entendendo que os alunos atualmente estão imersos em uma sociedade altamente tecnológica e, se o ensino dentro de sala de aula não o preparar para a sua realidade, o ensino se torna enfadonho e desestimulador.

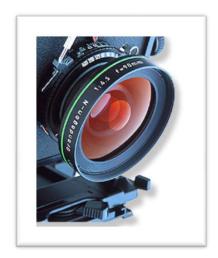
Este trabalho, que desenvolve o conceito de Luz desde a pré-história até o efeito fotoelétrico - fenômeno que rendeu o Prêmio Nobel a Albert Einstein, tem o objetivo de facilitar a compreensão de um tópico que serve como base para a compreensão de muitas tecnologias atuais. Esse tópico foi escolhido estrategicamente por ter uma extensa e complexa evolução conceitual, perpassando por toda evolução da humanidade.

O primeiro módulo trouxe um resumo das leis e diretrizes que regem a educação brasileira e a importância de se abordar a História da Ciência para contextualizar o ensino.

O segundo módulo trouxe toda a evolução conceitual da luz no decorrer da história, trazendo as contribuições mais significativas de todos os pensadores e cientistas na tentativa de entender a natureza e os fenômenos da luz.

Este módulo, o último, traz três sugestões de como trabalhar tecnologias presentes no cotidiano dos alunos e alunas, como fio condutor de discussões reflexivas dentro de sala de aula. Isso é feito porque é entendido ser é possível fomentar discussões que contribuam para o aprendizado efetivo das disciplinas científicas e tecnológicas aproximando esses conhecimentos da realidade deles.

FOTOGRAFIA



Justificativa: O critério de escolha dessa tecnologia é a notoriedade da sua influência e da presença no cotidiano de todos. Duas manchetes de jornais online, uma de 2013 e outra de 2015, ressaltam os novos hábitos das pessoas.



"Selfie" é nova maneira de expressão. E autopromoção

A mania é esticar o braço segurando o celular apontado para o rosto e espalhar a foto produzida nas redes. Há várias razões para isso

Por **Rafael Sbarai** © 23 nov 2013, 07h45



Notícias Reviews Dicas Vídeos Games Mais Sites ✓

Pesquisa aponta que 90% dos brasileiros fazem selfies; veja 5 dicas

Por iG São Paulo | 25/02/2015 06:00

As selfies ou "fotografia que alguém tira de si mesmo, em geral com smartphone ou webcam, e carrega em uma rede social" (dicionário Oxford) é a nova moda. Pessoas de todas as idades já tiraram uma selfie. De acordo com a reportagem pelo portal Tecnologia-iG em 2015, "uma pesquisa recente da Antennas Business Insights, feita em parceria com a Samsung, 90% dos brasileiros assumem fazer autorretratos com frequência". Esse dado estatístico defende sua abordagem em sala de aula.

Plano de Aula:

FOTOGRAFIA				
Aulas teóricas expositivas com recursos multimídias. Instrumento tecnológico: Máquina Fotográfica.				
Público alvo	Alunos e alunas do nono ano do EFII		Duração: 4 aulas de 50 minutos	
Conteúdos	Fenômeno daSemelhança d		xão; ção;	
Conhecer os cientistas que contribute entendimento desses fenômenos; Quais teorias eram discutidas à épode Entender os fenômenos das cores. Produto Final Exposição de selfies tiradas pelos alunos		desses fenômenos; eram discutidas à época. enômenos das cores.		
	(avaliação) Observar efeitos nas fotografias			

Para entender como uma foto é feita, é necessário entender alguns princípios físicos envolvidos na fotografia e a semelhança do funcionamento de uma máquina fotográfica com o sistema de visão do ser humano.

É preciso entender que:

- Os raios luminosos se propagam em linha reta;
- ➤ A fonte de luz primária é proveniente do SOL, que ilumina os objetos, os quais refletem a luz solar em diversas direções, se tornando visíveis;
- A luz captada por nossos olhos é processada em nosso cérebro;

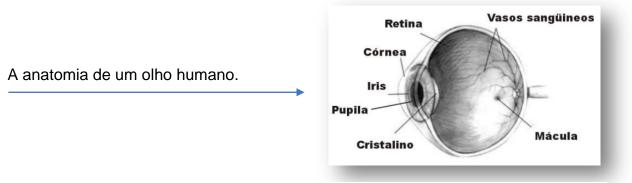


Figura 25- Anatomia do olho humano. Fonte: Wikipédia

Como funciona o olho humano?



Figura 26- Diversos olhos. Fonte: Wikipédia.

O olho humano (fig. 25) contém, imersas em fluidos transparentes com índice de refração aproximadamente igual ao da água, uma "lente" fixa, a *córnea*, formada de um material duro e transparente, e outra flexível, o *cristalino*, que

pode ser comprimida ou distendida (mudando seu foco) pelo *músculo ciliar* (esse processo chama-se acomodação). A *íris* é um diafragma cuja abertura, a *pupila*, se contrai ou se dilata conforma a intensidade da iluminação. Num olho normal, luz incidente paralela é focalizada num ponto da *retina* (fundo de olho). Nesta estão as células (cones e bastonetes) que transmitem sinais ao *nervo ótico*, o qual está ligado ao cérebro. (NUSSENZVEIG, 2002, p.32)

Como funciona uma máquina fotográfica?

Uma máquina fotográfica é um instrumento óptico que registra uma imagem em um sensor eletrônico ou filme fotográfico. Seu funcionamento é semelhante ao olho humano.

A percursora da máquina fotográfica é a Câmara escura, um dispositivo usado para projetar uma imagem em um anteparo plano. As atuais máquinas fotográficas, mesmo as mais modernas, ainda se utilizam o princípio fundamental da Câmara escura. Uma caixa

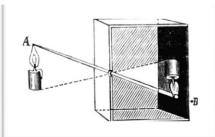
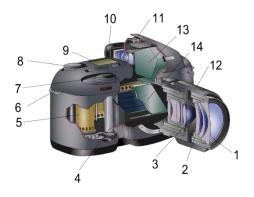


Figura 27- Câmara escura

bloqueia a luz, mas há, contudo, um orifício em um dos lados que permite os raios de luz e outras ondas eletromagnéticas penetrem na Câmara. A presença deles é registrada em um filme fotográfico. Uma clássica máquina fotográfica é composta por objetivas, obturadores e diafragmas, que controlam a quantidade de luz recebida e um sistema de foco que permite ajustar a distância entre a objetiva e o filme.



28 Figura - Máquina fotográfica. Fonte: Wikipédia

Componentes típicos de uma máquina fotográfica: 1. Elementos frontais da objetiva; 2. Elementos intermediários da objetiva; 3. Diafragma; 4. Obturador; 5. Filme ou sensor; 6. Cinta de fixação; 7. Disparador; 8. Comando do aparelho; 9. Contador de quadros; 10. Visor; 11. Sapata de flash; 12. Dispositivo de focagem; 13. Pentaprisma; 14. Espelho de reflexo

LED



Justificativa: o LED (Light Emitting Diode) ou diodo emissor de Luz é um dispositivo eletrônico que, quando energizado, emite luz. Essa luz é produzida pelas interações energéticas do elétron – processo chamado de eletroluminescência e é utilizado no lugar de lâmpadas comuns. A utilização desse dispositivo para iluminação tem uma grande vantagem econômica, destaca a manchete do Estadão.



Economia & Negócios

Compare as vantagens das lâmpadas de LED

As novas lâmpadas estão revolucionando os sistemas de iluminação, graças às vantagens econômicas e ambientais

Raul Galhardi, Especial para O Estado de S. Paulo 16 Outubro 2014 | 09h56

No carnaval de 2018, essa tecnologia foi utilizada na saia da porta bandeira e no carro alegórico abre-alas. O portal G1 destaca a beleza e a inovação da fantasia.

= MENU

G1

CARNAVAL 2018 NO RIO DE JANEIRO

Saia de porta-bandeira da Vila 'pega fogo' com efeito de 20 mil lâmpadas de LED

Para falar do futuro carnavalesco abusa da tecnologia, Paulo Barros caprichou em luzes e efeitos no desfile da Vila Isabel. Carro abre-alas usou 2 km de LED.







Figura 29- O primeiro casal de mestre-sala e porta-bandeira da Vila Isabel simboliza a descoberta do fogo (Foto: Alexandre Durão/G1)

Plano de aula:

LED				
Aulas teóricas expositivas com recursos multimídias. Utilização de aparatos tecnológicos que possuem Led.				
Público alvo	Alunos e alunas do nono ano do EFII Duração: 4 aulas de 50 minutos			
Conteúdos	 Importância da Equações de Maxwell; Luz como onda eletromagnética; Velocidade da luz; Luz como pacote de energia – Fóton; Debate histórico sobre a natureza dual da luz; Introdução da teoria Quântica; Constante de Planck; Energia do fóton; Economia de energia. 			
Objetivos	 Entender a revolução feita pelas equações Maxwell; Entender o processo de construção da ciên Introduzir a teoria quântica. 			

Produto Final Estudo das etiquetas de consumo de lâmpadas de (avaliação) Led.

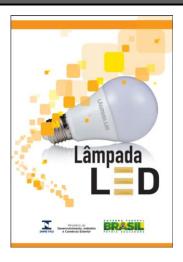


Figura 30- capa da cartilha do INMETRO

De acordo com a cartilha do Inmentro, que pode ser acessada livremente pelo endereço eletrônico:

http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf

A lâmpada LED é mais econômica porque sua eficiência luminosa é maior do que as das outras lâmpadas. Ou seja, gasta menos energia para gerar a mesma iluminação.

As LED podem durar, dependendo do modelo, pelo menos vinte e cinco vezes mais do que as lâmpadas incandescentes e quatro vezes mais do que as fluorescentes compactas. Entretanto, o tempo (em horas de funcionamento) estimado na embalagem não significa o tempo que ela vai levar para queimar e sim o período que a lâmpada passará a funcionar com mais ou menos 70% da capacidade luminosa original. Cabe destacar que alguns fatores não relacionados com a qualidade do produto podem afetar sua durabilidade, como oscilações da rede elétrica ou mau contato no ponto de instalação.

A garantia também é mais longa do que as das lâmpadas comuns. Sendo assim, caso o produto pare de funcionar ou tenha a sua eficiência luminosa reduzida dentro do prazo de garantia estipulado pelo fornecedor, configurando um defeito, o consumidor pode solicitar a sua substituição. Porém, para usufruir desse direito é preciso guardar a embalagem e a nota fiscal.

Ademais, as LED geram menor risco para a saúde dos consumidores e para o meio ambiente, pois não contêm mercúrio na sua constituição, como é o caso das fluorescentes compactas. Podem, inclusive, ser descartadas em lixo comum.

Elas também possuem várias outras vantagens em relação às outras tecnologias: não emitem radiação ultravioleta e infravermelha (sendo mais confortável para os olhos) e são mais difíceis de quebrar. Mesmo que isso aconteça, um revestimento especial impede que cacos se espalhem pelo ambiente preservando a saúde e a segurança do usuário.

O custo das lâmpadas LED, entretanto, ainda é mais alto do que o das outras. Porém, considerando o baixo custo de sua manutenção - em função da maior durabilidade - e a redução do custo na conta de luz, o gasto maior na sua compra poderá ser compensado. (cartilha do Inmetro, p. 4 e 5)

De acordo com tudo que foi exposto acima, uma possível atividade avaliativa pode ser o estudo das embalagens das lâmpadas de Led. Que os alunos e alunas entendam a ciência por trás de uma tecnologia tão utilizadas por todos.

Células Fotoelétricas



Figura 31- Células fotoelétricas. Fonte: Wikipédia.

Justificativa: a escolha dessa tecnologia foi devido à importância e ao avanço tecnológico que o Efeito Fotoelétrico trouxe para a sociedade. Um estudo desenvolvido por Albert Einstein e que foi laureado com Prêmio Nobel de Física em 1922.

Plano de aula:

Células fotoelétricas					
Aulas teóricas expositivas com recursos multimídias.					
Público alvo	Alunos e alunas do nono ano do EFII		Duração: 4 aulas de 50 minutos		
Conteúdos		 Contexto histórico do início do século XX; Planck e a quantização de energia; Interpretação do efeito fotoelétrico por Einstein; 			

Objetivos	 Compreender a interação da luz com a matéria; Entender a relação da frequência com a energia de um fóton; Identificar que a ciência é uma construção humana; 	
Produto Final (avaliação)	Identificar que tecnologias é encontrado esse efeito. Produzir uma pesquisa sobre a luz e o quanto esse fenômeno foi e ainda é importante para a evolução da humanidade.	

Como as lâmpadas dos postes acedem?



Mundo Estranho

Como são ligadas as luzes públicas?

Por Redação Mundo Estranho

3 4 jul 2018, 20h21 - Publicado em 18 abr 2011, 18h49

A reportagem acima da Super Interessante explica como as luzes públicas são ligadas.

"Foi-se o tempo em que um funcionário da companhia de eletricidade precisava acender poste por poste: hoje, esse trabalho é feito automaticamente, respeitando a diminuição da luminosidade natural. Os postes são equipados com sensores conhecidos como fotocélulas ou relês fotoelétricos, que detectam o momento em que a luz do Sol não é mais suficiente para iluminar o local. As tais fotocélulas são caixinhas do tamanho de xícaras, com aberturas para a entrada dos raios de luz. Quando o sol se põe e a incidência de luz diminui, elas enviam um sinal à distribuidora de energia da cidade e pronto: a luz das lâmpadas é acesa. Quando amanhece, ocorre o contrário: a fotocélula detecta os primeiros raios de luz e avisa o sistema que as luzes já podem ser apagadas. Nessa altura, você deve estar se perguntando: e em dias nublados, corremos o risco de ficar sem luz? Nada disso, pois mesmo que o Sol não apareça seus raios são detectados. A diferença é que, com menos sol, as luzes são acesas mais cedo: no inverno, por volta das 6 da tarde, uma hora e meia antes que no verão. Em uma cidade como São Paulo, onde a distância entre os postes não costuma ser maior que 40 metros, um sensor aciona em média 40 lâmpadas. Em áreas rurais, onde a distância entre os postes é maior, a fotocélula liga menos lâmpadas. Mas esse esquema inteligente não dispensa completamente o trabalho humano. Toda noite, funcionários da prefeitura fazem rondas para checar se alguma fotocélula pifou e deixou áreas da cidade no escuro".

(Fonte: https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-sao-ligadas-as-luzes-publicas/)

Esse acender e apagar das lâmpadas públicas é a aplicação direta do Efeito Fotoelétrico.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, M. J. P. M., PAGLIARINI, C. R. Alguns aspectos da História da Física na leitura de um trecho do Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo de Maxwell. A História e a Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências: A pesquisa e suas contribuições para a prática pedagógica em sala de aula. Org. Sandra Regina Teodoro Gatti, Roberto Nardi. -1. Ed. – São Paulo: Escrituras Editora, 2016.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. Breve História da Ciência moderna, volume 3: das Luzes ao sonho do doutor Frankenstein (séc. XVIII). Rio de Janeiro. Jorge Zahar Ed., 2005. (Grupo Teknê)

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências.* (3º e 4º ciclos do ensino fundamental). Brasília: MEC, 1998.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. Ministério de Educação e Cultura. LDB - Lei nº 9394/96, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da Educação Nacional. Brasília: MEC, 1996.

BRASIL, Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Versão final. Brasília: MEC, 2017.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna. Investigações em Ensino de Ciência, Porto Alegre, V. 10, n. 3, pp. 387-404. Dez 2005

CARUSO, F.; OGURI, V. *Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos*. 2ª edição. Rio de Janeiro. LTC. 2016.

CASTRO, R. S. Investigando as contribuições da Epistemologia e da História da Ciência no ensino das Ciências: de volta ao passado. A História e a Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências: A pesquisa e suas contribuições para a prática pedagógica em sala de aula. Org. Sandra Regina Teodoro Gatti, Roberto Nardi. -1. Ed. – São Paulo: Escrituras Editora, 2016.

CATELLI, F; VICENZI, S. *Interferômetro de Michelson*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 18, n. 1, abr. 2001.

CÉSAR, M. B. O Escaravelho-Coração nas Práticas e Rituais Funerários do Antigo Egito- Dissertação de Mestrado em Arqueologia. Rio de Janeiro: Museu Nacional/UFRJ, 2009-07-02

CHASSOT, A. *Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social*. Revista Brasileira de Educação. Jan/Fev/Mar/Abr 2003. N. 22.

CHEVALLARD, Y. La Transposition Didactique: Du Savoir Savant au Savoir Ensigné. Grenoble, La pensée Sauvage, 1991.

CRUZ, R. S.; GUERRA, A. *Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Fundamental.* XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2009 – Vitória ES.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física: óptica e física moderna. Volume 4. 9ª. ed. LTC, 2012.

LORENZETTI. L.; DELIZOICOV, D. Alfabetização Científica no contexto das séries iniciais. Ensaio-Pesquisas em educação em ciências. V. 3, N. 1. Jun 2001

MARTINS, R. A. Galileo e o princípio da relatividade. Caderno de História e Filosofia da Ciência (9) 69-89, 1986.

MARTINS, R. A. Física e História. Física/Artigos.

MARTINS, R. A. Sobre o papel da História da Ciência no ensino. Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência (9): 3-5, 1990.

MARTINS, L A-C. P. *História da Ciência: objetos, métodos e problemas*. Ciência e Educação, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, R. A.; SILVA, C. C. As pesquisas de Newton sobre a Luz: Uma visão histórica. Revista Brasileira em Ensino de Física, v. 37, n. 4, 2015.

MATHEWS, Michael R. História, Filosofia e ensino de ciências: A tendência atual de reaproximação. Cad. Cat. Ens. Fís., V. 12, n.3: p. 164-214, dez.1995.

MELHORAMENTOS, Dicionário da Língua Portuguesa. 1ª Edição. 4ª impressão, fevereiro, 2006.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; FILHO, J. B. B. Dificuldades dos professores em introduzir a Física Moderna no Ensino Médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. NARDI, R. org. Ensino de ciências e matemática, I: temas sobre a formação de professores [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 258 p. ISBN 978-85-7983-004-4.

MORAIS, A.; Guerra, A. História e filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.35, n. 1, 1502 (2013).

MOREIRA, M. A. *Grandes desafios para o ensino da física na Educação Contemporânea*. Conferência proferida na XI Conferência Interamericana sobre Enseñanza de la Física, Guayaquil, Equador, julho de 2013 e durante o Ciclo de palestras dos 50 Anos do Instituto de Física da UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, março de 2014.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica 1: Mecânica, 4a edição, Editora Edgard Blücher, 2002.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica 4: Ótica, Relatividade, Física Quântica, 4a edição, Editora Edgard Blücher, 2002.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. *Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.29, n.3, p. 447-454, 2007.

OSTERMANN, F., FERREIRA, L. M. e CAVALCANTI, C. J. H. *Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: um Texto para Professores sobre Supercondutividade.* Revista Brasileira de Ensino de Física, v.20, n.p. 270-288, 1998.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. de H. *Um pôster para ensinar física de partículas*. Física na Escola, v. 2, n. 1, 2001.

_____. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. Cad.Cat.Ens.Fís., v. 16, n. 3: p. 267-286, dez. 1999.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. Cad. Cat. Ens. Fís., V. 18, n. 2: p. 135-151, ago. 2001.

PIETROCOLA, M. A História e a Epistemologia no ensino das Ciências: dos processos aos modelos de realidade na Educação Científica. Publicado no livro A ciência em perspectiva. Estudos, ensaios e debates. Organização Ana Maria Ribeiro de Andrade. Rio de Janeiro: MAst: SBHC, 2002. (Coleção História da Ciência, V. 1)

RIO DE JANEIRO. Secretaria Municipal de Educação. Orientações Curriculares: Ciências. Rio de Janeiro, 2016. p. 78.

RODRIGUES, O. Ma. P. R.; MELCHIORI, L. E. Aspectos do desenvolvimento na idade escolar e na adolescência. http://acervodigital.unesp.br/handle/unesp/155338 <acessado em 27/11/2017>

ROCHA, J. F. M. (org.) Origens e evolução das ideias da física. Salvador. EDUFBA, 2011.

SALVETTI, A. R. A história da luz. 2ª edição revisada. São Paulo. Editora Livraria da Física, 2008.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A "Nova Teoria sobre Luz e Cores" de Isaac newton: uma Tradução Comentada. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol. 18, n. 04, dezembro, 1996.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez., 1992.

VILAS BOAS, A; SILVA, M. R.; PASSOS, M. M.; ARRUDA, S. M. História da ciência e Natureza da ciência: Debates e consensos. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 30, n. 2: p. 287-322, ago. 2013.

ZANETIC, J. Física e cultura. Cienc. Cult., July/Sept. 2005, vol.57, no.3, p.21-24.

https://www.bibliaonline.com.br/acf/gn/1 <acessado em 11 de fevereiro de 2018>

http://download.inep.gov.br/download/internacional/pisa/2010/letramento_cientifico.pdf <acessado em 02 de março de 2018>

https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-sao-ligadas-as-luzes-publicas/ <acessado em 25 de julho de 2018>