

Unidade Curricular

*Efeitos da Radiação
no Organismo*

Material de apoio à ação
docente

Secretaria
de Educação e
Esporte



GOVERNO DE
**PER
NAM
BU
CO**
ESTADO DE MUDANÇA

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

Secretário de Educação e Esportes

Ivaneide Dantas

Secretário Executivo Planejamento e Coordenação

Mônica Andrade

Secretária Executiva de Desenvolvimento da Educação

Tarcia Regina da Silva

Secretária Executiva de Educação Integral e Profissional

Ana Cristina Dias

Secretário Executivo de Administração e Finanças

Gilson Monteiro

Secretário Executivo de Gestão da Rede

Igor Cadena

Secretário Executivo de Esportes

Luciano Leonidio

Equipe de elaboração

Francyana Pereira dos Santos

Rayane Lima Gomes

Equipe de coordenação

Ana Carolina Ferreira de Araújo

Gerente de Políticas Educacionais do Ensino Médio (GEPEM/SEDE)

Janine Furtunato Queiroga Maciel

Chefe da Unidade do Ensino Médio (GEPEM/SEDE)

Revisão

Andreza Shirlene Figueiredo de Souza

Daniela Sales Ribeiro de Moraes

Sumário

1. Apresentação	5
2. Aspectos ondulatórios das radiações eletromagnéticas	9
Orientações para realização de atividades	10
Orientações para a avaliação	11
3. Espectro eletromagnético	12
Orientações para realização de atividades	18
Orientações para a avaliação	19
4. Interações das radiações eletromagnéticas	20
Orientações para realização de atividades	22
Orientações para a avaliação	23
5. Fenômenos ondulatórios	24
Orientações para realização de atividades	29
Orientações para a avaliação	29
6. Referencial bibliográfico	30

I. Apresentação

Ao analisarmos de imediato o título deste Material de Apoio, *Efeitos da Radiação no Organismo*, nos assalta o pensamento de que toda radiação causa danos, mas não é bem assim. Na verdade, temos a expectativa de que ao final dessa leitura esse julgamento seja ampliado. E para iniciar, citaremos algumas vantagens obtidas com o uso de radiações:

Agricultura: A tecnologia de irradiação de alimentos melhora a qualidade de produtos alimentícios. Utilizado em frutas frescas, grãos e vegetais, o processo previne o brotamento, retarda a maturação e aumenta o tempo de conservação dos alimentos, facilitando o armazenamento e evitando transmissão de doenças.

Indústria: A técnica nuclear mais conhecida nessa área é a gamagrafia, uma radiografia de peças metálicas ou de estruturas de concreto, com a qual é possível verificar se há defeitos ou rachaduras que possam causar vazamentos. Foi utilizada, por exemplo, na construção do gasoduto Brasil–Bolívia.

Medicina: A irradiação possui várias aplicações na medicina. Uma delas é a radioterapia, empregada no tratamento de tumores. Também existem os radiofármacos, usados em avaliações neurológicas e cardiológicas, e os radioisótopos, cujo elemento mais comum é o iodo 131, e tem como função na medicina, identificar e tratar algumas doenças. A radioesterilização é outra tecnologia importante, aplicada no sangue e seus derivados e em tecidos humanos destinados aos transplantes.

Meio Ambiente: Técnicas nucleares são empregadas em pesquisas nas áreas de monitoração e recuperação ambiental. Com elas, é possível avaliar os

**SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO**

recursos hídricos, a física e a química de solos, datar superfícies, sedimentos marinhos, árvores e sítios arqueológicos. Já os traçadores radioativos permitem acompanhar o trajeto de poluentes no ar, no mar, nos rios ou no solo e, assim, detectar danos ao meio ambiente (PAGANINE, 2012).

Entretanto, é importante estarmos cientes dos efeitos danosos que as radiações podem causar, a exemplo dos mais comuns que são os efeitos biológicos nos seres vivos e os acidentes radioativos (FERREIRA, 2022; PIRES, 2016).

Na verdade, nem imaginamos o quanto somos expostos aos diversos tipos de radiação em nosso dia a dia: celular, televisão, micro-ondas, notebook, aparelho de som, roteador de internet entre outros.

A figura 1 apresenta um esquema simplificado da exposição mais trivial.



Figura 1. Os diversos tipos de radiação estão mais presentes em nosso dia a dia do que podemos imaginar.

Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/radiacoes.htm>

Por essa razão, é de extrema importância estarmos cientes dos tipos de radiação, do potencial penetrante de cada uma delas, do tempo de exposição isento de risco e, principalmente, dos riscos que cada radiação pode oferecer. Alguns tipos de radiação emitem partículas e raios tão fortes que podem atravessar o corpo

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

humano e alterá-lo a nível celular. A figura 2 apresenta o potencial penetrante de alguns tipos de radiação.

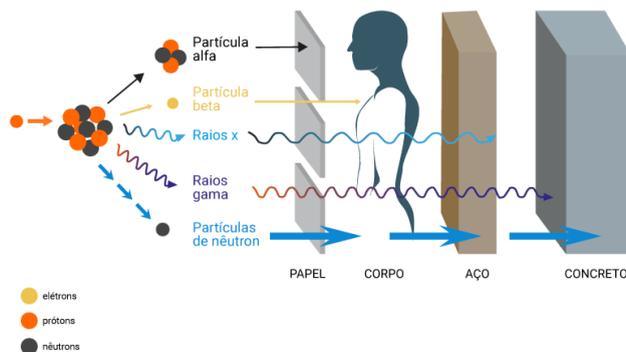


Figura 2. Potencial penetrante de alguns tipos de radiação.

Fonte: <https://radioprotecaonapratica.com.br/efeitos-da-radiacao-no-corpo-humano/>

Dessa forma, a Trilha intitulada *Saúde Coletiva e Qualidade de Vida* trará essa Unidade Curricular compondo o cardápio de Unidades Obrigatórias a serem vivenciadas no 3º ano do ensino médio conforme a ementa apresentada abaixo.:

Aspectos ondulatórios das radiações eletromagnéticas (velocidade, frequência, comprimento de onda). Espectro eletromagnético (origens e utilidade): ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, ultravioleta, raio X e gama. Interação das radiações eletromagnéticas com a matéria, penetrabilidade e seus efeitos. Fenômenos com ondas eletromagnéticas (difração, dispersão, difusão, interferência, ressonância e polarização). Origem, uso e consequência das radiações nucleares ao ambiente, à agricultura e à saúde. Elaboração de material de divulgação direcionada à comunidade escolar, mostrando a relação da radiação ao nosso dia a dia, seus possíveis efeitos no organismo e medidas para prevenção.

A Unidade Curricular em tela é proposta para integrar o 1º semestre do 3º ano do ensino médio, que tem como Unidade Temática: Projetos Socioculturais e Ambientais, cujo objetivo é propor ações interventivas e inovadoras na área de saúde coletiva para melhoria da qualidade de vida em comunidade. Dessa forma, *Efeitos da Radiação no Organismo* vem compor esse semestre, com estudos sobre os tipos de radiação e seus efeitos danosos e aplicações.

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

Para esse fim, articula os Eixos Estruturantes de Processos Criativos e Empreendedorismo com as seguintes habilidades:

Processos Criativos (EMIFCNT05PE): Selecionar e descrever recursos relacionados à análise dos efeitos da radiação no ambiente para elaboração de atividades que minimizem a exposição e os impactos destes efeitos no organismo para resolver problemas reais, explorando e contrapondo diversas fontes de informação.

Empreendedorismo (EMIFCNT10PE): Avaliar conhecimentos e recursos relacionados aos tipos de radiações que podem ser utilizados na concretização de projetos pessoais e/ou produtivos para propor soluções envolvendo medidas preventivas à saúde, considerando as diversas tecnologias disponíveis e os impactos socioambientais.

Algumas possibilidades metodológicas para o trabalho com a Unidade Curricular

A estrutura desta Unidade Curricular também elenca algumas possibilidades metodológicas que são descritas no *Foco Pedagógico* e podem subsidiar o professor em sala de aula. Resumidamente, é possível lançar mão de alguns recursos do *Google for Education*, bem como jogos didáticos, seminários, apresentações, práticas experimentais, ações-piloto que viabilizem o aprofundamento sobre os conhecimentos de radiação.



Olá, professores! Para melhorar a qualidade dos materiais ofertados e dinamizar ainda mais os seus estudos, vamos disponibilizar materiais que possuem o código QR Code, que é um recurso que permite que você acesse um conteúdo interativo relacionado ao tema que você está estudando. Para utilizar essa ferramenta, aponte a câmera do seu celular para o QR ou acesse as lojas de aplicativos e baixe um leitor de QR Code. Depois, é só aproveitar mais essa facilidade para aprimorar seus estudos!

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

2. Aspectos ondulatórios das radiações eletromagnéticas

Esse primeiro tópico da ementa é dedicado ao entendimento das características que descrevem, por exemplo, um tipo de radiação, onda, velocidade, frequência, comprimento de onda e período... Assim, para conhecermos esses aspectos, compartilhamos algumas definições organizadas no quadro 1 a seguir.

Quadro 1. Definições de termos técnicos relativos à temática de radiação.

TERMO	DEFINIÇÃO
Onda	Uma sequência de pulsos, que são perturbações transportando energia sem transportar matéria.
Onda mecânica	É aquela que só pode se propagar em meios materiais, não havendo possibilidade de propagação no vácuo.
Onda eletromagnética	São produzidas por processos elétricos e magnéticos, em função da movimentação de cargas elétricas, podendo ocorrer inclusive no vácuo. Como exemplos de ondas eletromagnéticas temos a luz e as ondas de raio X.
Crista	Valor onde a amplitude da onda é máxima.
Amplitude	É o valor máximo que a onda pode alcançar, tanto positiva quanto negativamente.
Vale	Valor onde a amplitude é mínima.
Comprimento de onda (λ)	É a distância entre dois pontos consecutivos idênticos em uma onda.
Período (T)	É o tempo necessário para a fonte produzir uma onda completa.
Frequência (f)	É a grandeza que fornece o número de oscilações completas de uma onda por unidade de tempo. Cujas equações são $f = 1/T$.
Velocidade (V)	É determinada pela distância percorrida, sobre o tempo gasto. Cujas equações são $V = \lambda/f$.
Radiação	É a propagação de ondas eletromagnéticas ou partículas, emitidas por fontes naturais, como o Sol, ou artificiais, como os equipamentos de raios X.
Radiação ionizante	São radiações que possuem maior energia, provocando a ionização dos materiais com que ocorrem a interação. E podem ser emitidas por meio naturais e artificiais. Os tipos de radiações ionizantes mais comuns são: os raios X, usados em radiologia, e as partículas alfa e beta, e os raios gama, emitidos por núcleos de átomos instáveis, ou seja, átomos radioativos.
Radiação não-ionizante	São consideradas radiações com baixa energia e baixa frequência, que se propagam na forma de ondas eletromagnéticas com fontes naturais ou artificiais. Seu efeito normalmente é ligado à geração de luz ou calor. Os principais exemplos são: as ondas de rádio, as ondas emitidas pelos celulares e radares, transmissão de TVs, redes Wi-Fi etc.

Fonte: GODOY, 2020. p. 109 – 141.

Fonte: ALBUQUERQUE, 2020 <<https://infoenem.com.br/conceitos-iniciais-sobre-ondas-no-enem/>>.

Fonte: GUIA DO ESTUDANTE, 2011 <

<https://guiadoestudante.abril.com.br/estudo/resumo-de-fisica-calculando-frequencias/>>.

Fonte: FERREIRA, 2022.

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

Para complementarmos as informações do quadro acima de maneira visual, trazemos a representação dos principais elementos de uma onda na Figura 3 e o artigo “Ataque à pele”, disponível na forma de QR Code que, além de apresentar os efeitos da luz solar sobre a pele, define e exemplifica a radiação eletromagnética e a variação da faixa do comprimento de onda que está diretamente envolvida com o bronzeamento da pele.



Ataque à Pele

Fonte: <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc0>

1/quimsoc.pdf

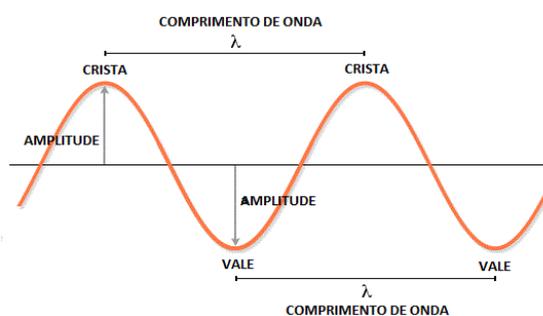


Figura 3. Principais elementos de uma onda.

Fonte: <https://infoenem.com.br/conceitos-iniciais-sobre-ondas-no-enem/>

Para fechar esse primeiro tópico, indicaremos algumas possibilidades de atividades, bem como de acompanhamento do desenvolvimento educacional do estudante, relativo às informações trazidas até aqui.

Orientações para realização de atividades

A unidade curricular de *Efeitos da radiação no organismo* pertence aos eixos estruturantes de *Processos Criativos e Empreendedorismo*, e considerando também o *Foco Pedagógico* associado a ela, que se encontra na Trilha de Saúde Coletiva e Qualidade de Vida no seguinte endereço eletrônico: http://www.educacao.pe.gov.br/portal/upload/galeria/523/Portfolio_Trilha_Sau

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

[de coletiva e Qualidade de vida.pdf](#)>, à página 32, sugerimos um levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca da temática apresentada neste tópico, usando ou não os recursos da plataforma *Google for Education*.

Na sequência, partindo das demandas oriundas da identificação inicial, procuramos promover um aprofundamento crítico/reflexivo dos aspectos ondulatórios das radiações, salientando a rotina cotidiana do público alvo, e especialmente, os efeitos sobre o ambiente, a agricultura e a saúde dos seres vivos. Assim, para corroborar e ilustrar esse momento de discussão, indicamos a visualização de vídeos, *podcasts*, simuladores, e etc., a exemplo do *Características das ondas - Período, Frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação* <<https://youtu.be/jx44j8QFq4E>>.

Orientações para a avaliação

É muito significativo para a formação dos estudantes que eles tenham entendimento de que a aplicação das radiações surgiu como avanço tecnológico produzido sócio-historicamente pela humanidade, apesar dos impactos que pode trazer ao ambiente. O estudante precisa ser incentivado a fazer uma análise crítica dos aspectos ondulatórios das radiações, reconhecendo a importância desse estudo, mas sem perder de vista as questões socioambientais e culturais em torno da temática.

Nesse sentido, uma boa estratégia para acompanhar o envolvimento dos estudantes é observar os instrumentos que eles produziram, os materiais que pesquisaram, os pontos que levantaram na discussão. Enfim, a avaliação é aquele momento de verificação da aprendizagem para reiniciar o ciclo.

3. Espectro eletromagnético

A partir deste momento para aprofundar, contextualizar e complementar a Unidade Curricular em tela, traremos a origem das ondas eletromagnéticas, bem como o estudo da espectroscopia associando o lúdico dos heróis e vilões dos quadrinhos. Com um material complementar a formação do professor, que contempla mais especificamente o caminho histórico da descoberta das ondas eletromagnéticas.

A essa altura da nossa imersão no tema, temos o conhecimento que as ondas eletromagnéticas são produzidas por processos elétricos e magnéticos, em função da movimentação de cargas elétricas. Elas não necessitam de meio material para se propagar, podendo ocorrer, inclusive, no vácuo (GODOY, 2020, p. 127-136). Como a frequência é uma grandeza física que caracteriza uma onda, diferentes frequências definem diferentes tipos de onda eletromagnética. O conjunto de todos os tipos de onda é chamado de **espectro eletromagnético**, conforme a representação abaixo (Figura 4) (THOMPSON, 2020, p. 131-135).



Heróis e Vilões: os poderes da radiação eletromagnética

Fonte: <https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/2638/Her%C3%B3is%20e%20Vil%C3%B5es.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

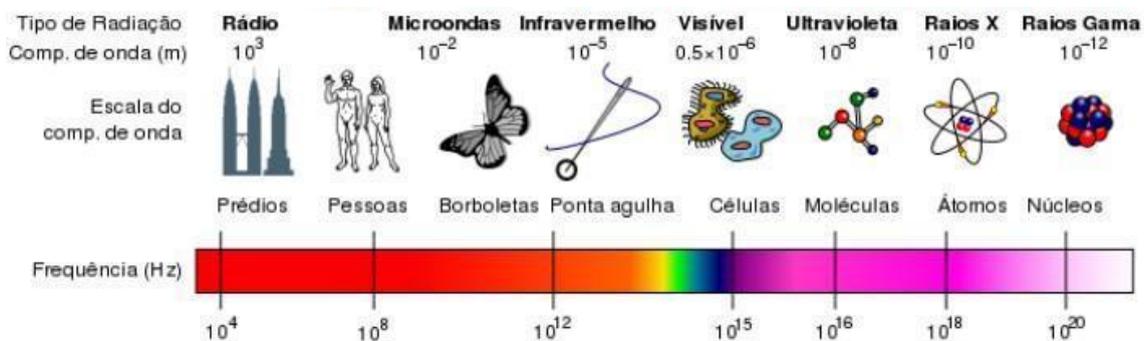


Figura 4. Espectro eletromagnético com a indicação da frequência da onda, escala e tipo de radiação. Fonte: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/espectro-eletromagnetico>

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

Além da frequência, dentre as características das ondas eletromagnéticas, duas se destacam bastante: no vácuo, todas viajam com a mesma velocidade de propagação (3×10^8 m/s) e todas são transversais (GODOY, 2020, p. 132).

Atualmente, cientistas e engenheiros encontram várias aplicações tecnológicas para as ondas eletromagnéticas baseadas, em princípio, na interação delas com a matéria, permitindo, por exemplo, o uso dos raios X para obter uma radiografia, ou o transporte de informação, como em transmissões via satélite. Essas aplicações estão distribuídas por praticamente todo o espectro eletromagnético (THOMPSON, 2020, p. 135). A seguir, apresentaremos, resumidamente, algumas destas aplicações.

Para que servem os raios X?

Esse tipo de radiação, descoberto em 1895 pelo físico alemão *Wilhelm Conrad Röntgen* (1845 – 1923), recebeu a denominação raios “X”, porque sua natureza era desconhecida. Essa radiação compreende frequências entre 10^{16} e 10^{19} Hertz (THOMPSON, 2020, p. 136).

Röntgen, utilizando um tubo de raios catódicos, observou que esses raios atravessam facilmente materiais de baixa densidade, como tecidos e músculos do corpo humano, e são absorvidos pelos ossos. Isso levou sua descoberta a um rumo diferente da grande maioria das descobertas da ciência, que demoram um tempo considerável para encontrar uma aplicação. Nesse caso, a aplicação foi quase imediata, uma vez que o próprio *Röntgen* obteve a imagem dos ossos da mão de uma pessoa. Estava criada a radiografia! (THOMPSON, 2020, p. 136).

A radiação denominada de raios X é capaz de enegrecer filmes fotográficos. Então, em dezembro de 1895, ele pediu que sua esposa, *Anna Bertha Roentgen*, colocasse a mão entre um filme fotográfico e o tubo de onde os raios eram

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

produzidos. Depois de certo tempo, ele percebeu que a imagem dos ossos da mão da mulher estava impressa no filme fotográfico. Essa foi a primeira radiografia feita no mundo (JÚNIOR, 2022), a exemplo da imagem apresentada na Figura 5.



Fonte: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc02/historia.pdf>

Figura 5. Radiografia da mão.

Fonte: <https://www.saudebemestar.pt/pt/exame/imagiologia/raio-x-da-mao/>

Hoje, não é possível imaginar a Medicina sem essa técnica de diagnóstico do corpo humano, utilizada para detectar fraturas, malformações ósseas, entre outros problemas. Ainda na Medicina, os raios X são utilizados no tratamento complementar de alguns tipos de câncer (THOMPSON, 2020, p. 136).

Protetor solar e a radiação ultravioleta

A radiação ultravioleta, mais conhecida por UV, está dividida em faixas, chamadas de UVA, UVB e UVC, com frequência entre 10^{15}Hz e 10^{16}Hz . A radiação UVA tem comprimento de onda que varia entre 400nm e 320nm, sendo chamada luz negra. A UVB varia entre 320nm e 280nm e a UVC entre 280nm e 100nm. As ondas eletromagnéticas desta região do espectro imediatamente superior à luz visível não são percebidas pelo olho humano (GODOY, 2020, p.139; THOMPSON, 2020, p. 136).

A maior parte da radiação ultravioleta não chega à Terra, sendo absorvida pela atmosfera. As que atingem a superfície terrestre são, quase na sua totalidade, do

**SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO**

tipo UVA e um pouquinho (da ordem de 1%) UVB. A radiação UVC não chega à superfície, sendo absorvida pelo oxigênio e pelo ozônio da atmosfera (GODOY, 2020, p.139).

A luz ultravioleta está presente na luz solar e é fundamental para o crescimento e fortalecimento dos ossos; tem efeito bactericida e por isso é utilizada para fazer a assepsia e higienização de objetos e ambientes; atua como catalisador para acelerar a polimerização de certos compostos orgânicos, além de tornar fluorescente algumas substâncias que são expostas a ela.



Figura 6. Ceratose actínica na cabeça.

Fonte: <https://prontopele.com.br/2020/05/04/ceratose-actinica-saiba-mais-sobre-essa-doenca/>

Entretanto, todas as faixas da radiação UV são prejudiciais à saúde, podendo ocasionar desde queimaduras graves até câncer de pele (GODOY, 2020, p. 140; THOMPSON, 2020, p. 136). Entre algumas das doenças de pele ocasionadas pelo sol está a ceratose actínica, conforme apresenta Figura 6. Ela é considerada uma doença da pele pré-maligna. Sua manifestação ocorre através de manchas escuras e claras nas partes do corpo que ficam mais expostas à radiação solar (PAULO, 2022).

Luz visível e as cores do arco-íris

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

Desde a antiguidade até praticamente a metade do século XX, toda informação a respeito do mundo que nos cerca e do universo foi obtida através da luz sensível aos olhos humanos. Essa pequena faixa do espectro de ondas eletromagnéticas está compreendida entre a cor vermelha (frequência de 4×10^{14} Hz e comprimento de 750 nm) e a cor violeta (frequência de $7,5 \times 10^{14}$ Hz e comprimento de 400 nm). Entre esses dois extremos temos as cores laranja, amarelo, verde, azul e anil, que compõem o arco-íris conforme ilustra a Figura 7 (GODOY, 2020, p. 139; THOMPSON, 2020, p. 137).

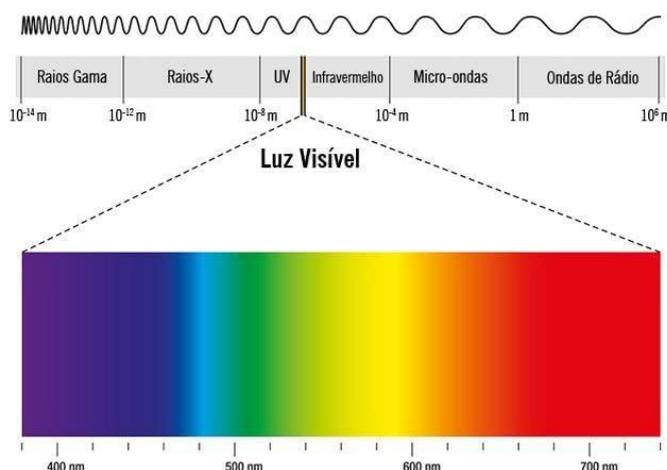


Figura7. Espectro visível das ondas eletromagnéticas.

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>

Apenas recentemente, a humanidade, com o apoio da tecnologia, conseguiu construir potentes instrumentos ópticos, como telescópios e microscópios, para descobrir o mundo das escolas astronômicas e das escalas microscópicas (THOMPSON, 2020, p. 137).

Aquecimento com a radiação infravermelha

As ondas eletromagnéticas na faixa de frequência entre 10^{11} Hz e 10^{14} Hz são conhecidas por radiação infravermelha ou radiação térmica por serem emitidas pelos corpos aquecidos, como o sol. Quando estamos próximos a qualquer objeto aquecido, como um forno de cozinha, podemos perceber a radiação infravermelha pelo calor que sentimos (THOMPSON, 2020, p. 138).

Esse tipo de radiação também é muito empregada na troca de informações entre computadores e *smartphones*, apresentam comprimento de onda entre 700 nm e 50.000 nm e contribuem para a formação do efeito estufa natural da Terra, que impede que ocorra variação de temperatura muito intensa no planeta (GODOY, 2020, p. 138).

Mas, atualmente, são os sensores sensíveis ao calor que roubam a cena das inúmeras aplicações dessa radiação. As câmeras sensíveis ao infravermelho são capazes de mostrar as áreas mais quentes dos corpos, que ficam com as cores amarela, laranja e vermelha. Na figura 8 temos um exemplo dessas câmeras térmicas e uma fotografia obtida com ela (GODOY, 2020, p. 139; THOMPSON, 2020, p. 138).

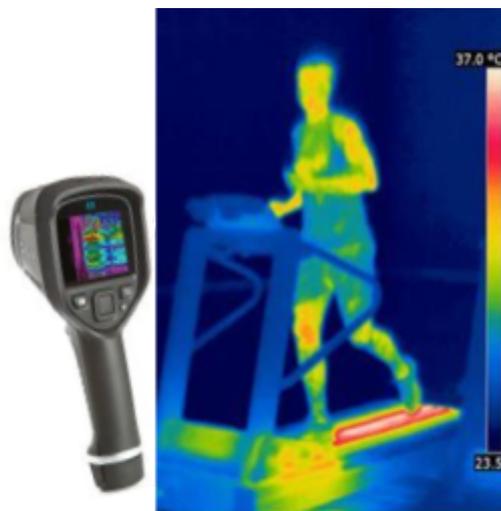


Figura 8. Atleta correndo em esteira com imagem obtida por câmera termográfica.
Fonte: <https://efdportes.com/efd190/a-termografia-no-tratamento-de-lesoes.htm>

As micro-ondas

Com a descoberta de novos usos para as micro-ondas, elas passaram a ser utilizadas não apenas para aquecer/preparar alimentos, mas também em

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

transmissões de comunicações (rádio, TV via satélite, telefonia), em radares para detectar distância, velocidade e outras características de objetos distantes (GODOY, 2020, p. 138; THOMPSON, 2020, p. 138).

As micro-ondas são ondas com frequência entre 10^5 Hz e 10^8 Hz e, comprimento de onda de 1 m a 1 nm. Em um forno do tipo micro-ondas, a radiação emitida pelo magnetron faz as moléculas de água presentes nos alimentos vibrarem, aquecendo-os. Geralmente, os recipientes de vidro, plástico ou cerâmica não são aquecidos graças à ausência de moléculas de água (GODOY, 2020, p. 138; THOMPSON, 2020, p. 138).

Sintonizando as ondas de rádio

Os sinais de rádio e de televisão são transmitidos por potentes antenas que emitem ondas eletromagnéticas. Estas ondas com frequências muito baixas, entre 10^2 Hz e 10^7 Hz, são assim chamadas por serem usadas pelas estações de rádio para suas transmissões. Circuitos elétricos provocam constantes oscilações dos elétrons das antenas, fazendo com que eles sejam continuamente acelerados e emitam ondas na faixa de frequência que está vibrando (THOMPSON, 2020, p. 138).

Orientações para realização de atividades

Como já dito, esta unidade curricular pertence aos eixos estruturantes de *Processos Criativos* e *Empreendedorismo*, e considerando também o *Foco Pedagógico* associado a ela, sugerimos como atividade para o tópico em tela a construção de mapas conceituais e/ou mentais que relacionem as aplicações das ondas eletromagnéticas. Na medida em que os alunos utilizarem mapas conceituais para

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

integrar, reconciliar e diferenciar conceitos, eles estarão usando o mapeamento conceitual como um recurso de aprendizagem (MOREIRA, 2012).

Certamente, com mais tempo e maior propriedade na exploração dos aplicativos de busca pela internet, os estudantes encontrarão aplicações que talvez ainda não conhecemos.

Orientações para a avaliação

É muito significativo para a formação dos estudantes que eles tenham entendimento real, complexo e conectado entre as necessidades contemporâneas e a saúde do ambiente e da sociedade, no tocante aos efeitos da radiação.

Nesse sentido, é importante incentivar os estudantes a fazerem uma análise crítica e reflexiva sobre esse cenário, principalmente, no aspecto relativo à atuação humana, para fazer nascer o sentimento de pertencimento que pode provocar mudanças individuais e coletivas.

Assim, uma boa estratégia avaliativa do percurso é acompanhar o envolvimento dos estudantes na construção dos mapas conceituais e/ou mentais. Esse instrumento, como ferramenta de avaliação da aprendizagem, pode contribuir na visualização da organização conceitual que o aprendiz atribui a um dado conhecimento. Trata-se basicamente de uma técnica não tradicional de avaliação que busca informações sobre os significados e relações significativas entre conceitos-chave da matéria de ensino segundo o ponto de vista do aluno. É mais apropriada para uma avaliação qualitativa, formativa, da aprendizagem (MOREIRA, 2012).

4. Interações das radiações eletromagnéticas

As relações homem-natureza vêm passando por mudanças que acompanham o próprio desenvolvimento da sociedade, principalmente as de cunho econômico e industrial, são esses setores da sociedade que ditam como os recursos naturais são explorados. Atualmente, tal exploração utilitarista é inflamada pelo capitalismo, que está interligado às ações econômicas, e ao consumismo doentio (CIDREIRA-NETO; RODRIGUES, 2017).

Nas ciências da natureza não foi diferente, principalmente na área da física, pois foi a descoberta do efeito fotoelétrico que descortinou os estudos sobre a maneira pela qual as radiações eletromagnéticas interagem com a matéria (SOUZA, 2019).

Einstein, em 1905, propôs uma teoria que foi, em parte, inspirada nos trabalhos de Max Planck, a qual admite que as radiações eletromagnéticas são compostas por pacotes (quanta) de energia individualmente caracterizados pela energia $E = h\nu$ (em que $h = 6,62.10^{-34}$ J.s é a constante de Planck e ν é a frequência da onda). Com isso, conclui-se que cada pacote de energia atinge um único elétron, sendo proporcional à energia total que a radiação transporta e associado à quantidade de fótons que a compõe, explicado assim, o comportamento dual da luz com o efeito fotoelétrico (SOUZA, 2019, p. 27).

Em razão disso, toma-se uma onda eletromagnética, comportando-se como onda enquanto se propaga de um ponto a outro, algo evidenciado pela reflexão, refração, difração e interferência manifestadas sob certas circunstâncias (conceitos abordados mais adiante). E, comportando-se como corpúsculo, quando interage com a matéria. Desse modo, as principais formas de interação entre as radiações eletromagnéticas e a matéria serão resumidas a seguir conforme Souza (2019).

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

- ✓ Espalhamento coerente (ou efeito Rayleigh): corresponde à absorção e reemissão de radiação pelo átomo, em uma direção diferente da de incidência.

Neste fenômeno, a radiação é considerada como onda; nos demais logo abaixo, como fótons (corpúsculo).

- ✓ Efeito fotoelétrico: um fóton provoca a ionização de um átomo após ser absorvido por um elétron (contanto que a energia transferida seja suficiente para o processo).
- ✓ Efeito Compton: trata-se do espalhamento de um fóton por um elétron fracamente ligado do material alvo após o evento de colisão. Nesse caso, há transferência de parte de energia e quantidade de movimento do fóton para o elétron com o qual se chocou.
- ✓ Produção de pares elétron-pósitron: após ser absorvido pelo núcleo atômico, toda a energia do fóton é convertida em massa de repouso e energia cinética de um par partícula-antipartícula, do elétron-pósitron. Outros pares de partículas podem ser formados, mas a energia necessária é bastante expressiva.
- ✓ Reações fotonucleares: semelhante ao que ocorre no efeito fotoelétrico, um fóton é absorvido pelo núcleo produzindo a liberação de um próton ou nêutron quando sua energia é superior à energia de ligação dos núcleos. Por essa razão, é também conhecida como efeito fotonuclear (SOUZA, 2019, p. 28).

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

No tocante aos efeitos que promovem ao interagirem com a matéria, as radiações eletromagnéticas podem ser classificadas por: radiações ionizantes e radiações não ionizantes (SOUZA, 2019, p. 28). Quando a quantidade de energia é suficiente para arrancar um elétron de determinado material, dizemos que esta é uma radiação ionizante, pois tanto o elétron quanto o material de onde saiu se tornam íon (GODOY, 2020, p. 135). Os raios X e gama, por exemplo, são radiações ionizantes com caráter ondulatório, devido à sua ausência de carga e massa de repouso, conseguem penetrar em um material, percorrendo grandes espessuras antes mesmo de sofrer a primeira interação (IAEA. 2022).

Entretanto, as radiações não ionizantes possuem energia relativamente baixa, incapaz de arrancar um elétron. Elas são mais populares e estão sempre à nossa volta. Ondas eletromagnéticas como a luz, calor e ondas de rádio são formas comuns de radiações não ionizantes. Sem radiações não ionizantes, nós não poderíamos apreciar um programa de TV em nossos lares ou cozinhar em nosso forno de micro-ondas (FIOCRUZ, 2022).

Orientações para realização de atividades

Diante do exposto constatamos que em muitos ramos da nossa vida cotidiana fazemos uso das ondas eletromagnéticas, entretanto, a compreensão a nível microscópico ainda fica um pouco restrita ao campo mais aprofundado e matemático da física. Nesse sentido, uma proposta prática que envolvesse uma articulação entre algumas das aplicações das radiações eletromagnéticas com a racionalidade microscópica que explica e justifica o fenômeno macroscópico, proporcionaria aos estudantes uma noção conjuminada com a complexidade da realidade natural micro-macroscópica.

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

O trabalho de Sá *et al.* (2017) aborda conceitos associados à interação da radiação eletromagnética com a matéria através de uma aplicação experimental de baixo custo. Segundo os autores, o objetivo é exatamente aproximar o estudante das leis físicas mais teóricas por meio de um kit baseado na detecção da radiação gama.

Orientações para a avaliação

Assim, é possível favorecer atividades como a sugerida acima por meio de instrumentos avaliativos que estimulem a criatividade, a pesquisa, a descoberta, mas também que valorizem e tratem o erro como mais uma oportunidade de aprendizado, ou seja, acompanhar o engajamento dos estudantes em cada etapa do experimento, ou mesmo, sua capacidade de extrapolar as teorias para outras situações práticas, são estratégias que cumprem bem esse papel.

Ademais, quando os estudantes conseguem elaborar um planejamento, executá-lo e avaliá-lo pensando em racionalizar teoricamente os conceitos físicos acerca das radiações eletromagnéticas, numa perspectiva social, cultural ou ambiental, temos o objetivo de uma avaliação da aprendizagem, simplesmente, coroada.

5. Fenômenos ondulatórios

Conforme já sinalizado no item anterior, quando uma onda se propaga de um ponto a outro, esbarrando em obstáculos ou mesmo ao mudar de meio, temos um fenômeno ondulatório. Independentemente da natureza da onda, quer seja mecânica ou eletromagnética, podemos observar um dos mais comuns fenômenos: reflexão, refração, difração, dispersão, interferência, ressonância e polarização.

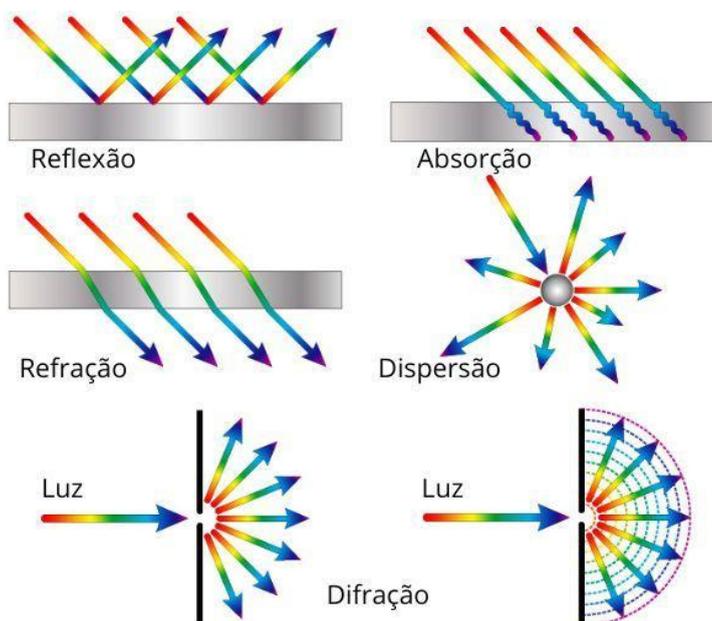


Figura 9. Exemplos de fenômenos ondulatórios: reflexão, absorção, refração, dispersão e difração.

Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/fenomenos-ondulatorios.htm>

A figura 9 traz um resumo esquemático de alguns dos fenômenos ondulatórios que apresentaremos.

Reflexão

Dos fenômenos que podem ocorrer com a luz no nosso dia a dia, o mais comum é a reflexão. A não ser os corpos que emitem luz, todos os outros podem

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

ser observados por causa da reflexão da luz em sua superfície. Assim, uma onda que se propaga em um meio sofre reflexão quando, após incidir num segundo meio de características diferentes, volta a se propagar no meio original. O esquema da figura 9 mostra esse aspecto. A propósito, como a frequência, característica de onda se mantém sempre constante, o comprimento de onda também não varia na reflexão (VILLAS BOAS *et al.* 2007, p. 206).

Refração

Chama-se refração de uma onda a passagem dessa onda de um meio para outro, de características diferentes. Qualquer que seja o tipo de onda, sua frequência não se altera na refração. No entanto, devido à mudança de meio, a velocidade e comprimento de onda se modificam. A onda que refrata está sempre em fase com a onda incidente, conforme esquema simplificado da figura 9 (VILLAS BOAS *et al.* 2007, p. 208).

Difração

Este fenômeno ocorre quando uma onda encontra um obstáculo ou atravessa orifícios e fendas, sofrendo desvio (ou espelhamento). Isso ocorre porque cada ponto da chamada frente de onda se comporta como se fosse uma nova fonte de ondas, as duas imagens da figura 9 exemplificam bem o evento. Esse princípio foi descoberto pelo físico e matemático holandês Christian Huygens (1629 – 1695) (GODOY, 2020, p. 129).

A rigor, a difração de uma onda em fendas sempre ocorre. Entretanto, o desvio torna-se tanto mais acentuado quanto menor é a largura da fenda (VILLAS BOAS *et al.* 2007, p. 226).

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

Dispersão

A dispersão é o fenômeno que ocorre quando uma onda, constituída de várias outras, ao entrar em um meio material diferente, refrata e se dissocia em suas componentes (MELO, 2022), conforme ilustra a figura 9. O clássico e conhecido exemplo desse fenômeno ondulatório, pode inclusive, ser demonstrado pelo experimento de decomposição da luz branca no espectro de cores do arco-íris através de um prisma (DATORA *et al.*, 2011), demonstrado na figura 10 abaixo.

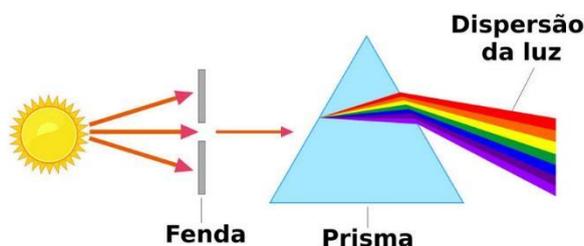


Figura 10. Dispersão da luz branca através de um prisma.

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-dispersao-luz-branca.htm>

Observe que a luz branca se refrata e se decompõe em seus componentes monocromáticos com diferentes ângulos de refração e diferentes frequências (MELO, 2022; DATORA *et al.*, 2011).

Interferência

A interferência é um fenômeno de superposição de ondas formando uma onda resultante, descoberto pelo físico Thomas Young (1773–1829). Essa interferência pode ser construtiva, quando as ondas que se encontram são somadas, formando uma onda resultante com amplitude maior, ou podem ser destrutivas, quando essas ondas se anulam, diminuindo sua amplitude ou até mesmo desaparecendo (MELO, 2022). A figura 11 nos mostra a diferença entre os dois tipos de interferência.

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO



Figura 11. Interferência construtiva e destrutiva.

Fonte: MELO, 2022.

Curiosamente, é graças à interferência destrutiva que escutamos os ruídos no rádio e nos televisores (MELO, 2022).

Ressonância

A ressonância ocorre em corpos que recebem uma frequência igual a uma das suas frequências preferenciais de vibração, fazendo eles oscilarem junto da onda, mas de maneira amplificada (MELO, 2022). Sendo assim, um sistema físico é dito em ressonância com um agente excitador quando recebe excitações periódicas numa frequência igual a uma de suas frequências naturais de vibração (VILLAS BOAS *et al.* 2007, p. 218).

Embora a definição possa causar um pouco de estranheza, cotidianamente podemos citar alguns exemplos, como a corda de um violão, a estrutura de um prédio, a de um estádio de futebol e o próprio corpo humano que vibra quando os torcedores batem os pés (VILLAS BOAS *et al.* 2007, p. 218).

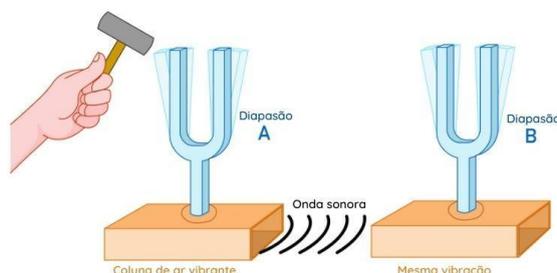


Figura 12. Diapasão em ressonância.

Fonte: MELO, 2022.

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

Um tradicional exemplo desse fenômeno está ilustrado na figura 12, onde é possível observar a ressonância em um diapasão por meio da produção de uma onda sonora. Essa onda faz que um segundo diapasão, idêntico ao primeiro, passe a vibrar na mesma frequência, por ressonância, sem que exista contato físico entre eles (GODOY, 2020, p. 130).

Polarização

A polarização ocorre apenas em ondas transversais (ondas com vibração perpendicular à direção de propagação). Esse fenômeno consiste em orientar a onda em uma única direção ou plano através da passagem em um dado meio, chamado polarizador. Por meio de um polarizador é possível escolher se sua componente será vertical ou horizontal. Polarizadores são bastante utilizados para produzir filtros para óculos e câmeras fotográficas, visando a produção de imagens mais nítidas (GODOY, 2020, p. 129; OLIVEIRA, 2022; MELO, 2022).

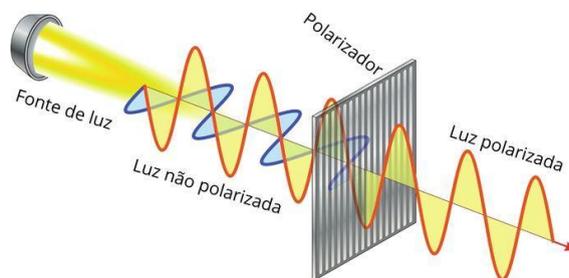


Figura 13. Ondas de luz visível sendo polarizadas verticalmente.

Fonte: OLIVEIRA, 2022.

A figura 13 ilustra muito bem o exemplo descrito acima.

Orientações para realização de atividades

Este tópico teve em seu próprio texto a citação de alguns experimentos. Diante disso, sugerimos uma curadoria de experimentos simples, até com o uso de materiais alternativos e de baixo custo. Assim, durante a própria pesquisa dos experimentos, os estudantes estarão exercendo o senso crítico para seleção e, depois, já na execução dos mesmos, estarão exercitando a transposição didática da teoria para a prática.

Orientações para a avaliação

Nada mais justo que seja sugerido também uma avaliação processual, em que o estudante é acompanhado em todas as etapas do processo, desde a realização da curadoria dos experimentos, passando pelo planejamento até a demonstração aos colegas, com uma socialização coletiva dos experimentos selecionados.

6. Referencial bibliográfico

ALBUQUERQUE, J. P. F. **Conceitos iniciais sobre ondas no Enem**. 2020

Disponível em: < <https://infoenem.com.br/conceitos-iniciais-sobre-ondas-no-enem/>>.

Acesso em: 15 de agosto de 2022.

CIDREIRA-NETO, I. R. G.; RODRIGUES, G. G. Relação homem-natureza e os limites para o desenvolvimento sustentável. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, Recife, V. 6, N. 2, 2017, p. 142-156.

DARTORA, C. A.; NOBREGA, K. Z.; MATIELLI, M. H. K.; CAMPOS, F. K. R.; SANTOS FILHO, H. T. Conceitos básicos sobre a difração e a dispersão de ondas eletromagnéticas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1307-1 – 1307-10. 2011.

FERREIRA, R. **Efeitos da radiação no corpo humano**. 2022.

Disponível em:

<<https://radioprotecaonapratca.com.br/efeitos-da-radiacao-no-corpo-humano/>> Acesso

em: 12 de agosto de 2022.

FERREIRA, V. R. **Radiação**. Disponível em:

<<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/radiacoes.htm>>. Acesso em: 19 de agosto de 2022.

FIOCRUZ.

Radiação.

Disponível

em:

<https://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/radiacao.html>. Acesso em: 24 de dezembro de 2022.

GODOY, L. P. **Multiversos: ciências da natureza: ciência, tecnologia e cidadania: ensino médio**. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2020.

GUIA DO ESTUDANTE. **Resumo de física: Calculando frequências**. 2011.

Disponível

em:

<<https://guiadoestudante.abril.com.br/estudo/resumo-de-fisica-calculando-frequencias/>>

Acesso em: 19 de agosto de 2022.

IAEA (International Atomic Energy Agency). **CAPÍTULO 3: Interação da radiação com a matéria**. Disponível em:

<<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/45/073/45073468.pdf>>.

Acesso em: 24 de dezembro de 2022.

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

JÚNIOR, J. S. da S. **O que são os raios X?**; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-sao-os-raios-x.htm>>. Acesso em: 30 de agosto de 2022.

MELO, P. R. **Fenômenos ondulatórios.** Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/fisica/fenomenos-ondulatorios.htm#:~:text=A%20dispers%C3%A3o%20%C3%A9%20o%20fen%C3%B4meno,se%20dissocia%20em%20suas%20componentes.>>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2022.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa.** Cadernos do Aplicação, 11(2): 143-156, 2012.

OLIVEIRA, G. **Fenômenos ondulatórios.** Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/fenomenos-ondulatorios.htm>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2022.

PAGANINE, J. **Os benefícios e os perigos da radioatividade.** 2012.
Disponível em:
<<https://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/especial-cidadania/vitimas-do-cesio-137-pedem-assistencia-medica-para-todos/os-beneficios-e-os-perigos-da-radioatividade>>.
Acesso em: 12 de agosto de 2022.

PAULO, S. **Ceratose actínica: saiba mais sobre essa doença.** Pronto Pele. Disponível em:
<<https://prontopele.com.br/2020/05/04/ceratose-actinica-saiba-mais-sobre-essa-doenca/>>.
>. Acesso em: 08 de dezembro de 2022.

PIRES, M. T. **Contaminação, a marca da radiação no ambiente.** 2016.
Disponível em:
<<https://veja.abril.com.br/ciencia/contaminacao-a-marca-da-radiacao-no-ambiente/>>.
Acesso em: 12 de agosto de 2022.

SÁ, J. R; ANJOS, R. M. dos; CARDOSO, R. P, MUNIZ, M. C.; CID, A. S.; LACERDA, T. C. Interação da física das radiações com o cotidiano: uma prática multidisciplinar para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** Vol. 39, Nº 1, p. e15031-e150311, 2017.

SOUZA, R. B. de. **Interação das radiações eletromagnéticas com a matéria: conceitos de física moderna propellidos por jogos pedagógicos em um pano de fundo clássico.** Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2019.

THOMPSON, M; *et. al.* . **Conexões: ciências da natureza e suas tecnologias: saúde e tecnologia.** 1ª ed. São Paulo: Moderna, 2020.

Secretaria
de Educação e
Esporte



GOVERNO DE
**PER
NAM
BU
CO**
ESTADO DE MUDANÇA

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

VILLAS BOAS, N.; DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J. **Tópicos de física 2: termologia, ondulatória e óptica**. 18ª edição. São Paulo: Saraiva, 2007.