

Radiación electromagnética aplicada a conservación de alimentos

Electromagnetic radiation applied to food preservation

Andreia Gomes Vaz ^{1*}, Carlos Ariel Samudio Pérez ¹, Cleci Teresinha Werner da Rosa ¹, Rogério Prado ²

¹ Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, CEP 99052-630, RS, Brasil.

² Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, CEP 78060-900 Brasil.

*E-mail: andreia.vaz.gomes@hotmail.com

Recibido el 1 de marzo de 2023 | Aceptado el 1 de octubre de 2023

Resumo

Este artigo foi produzido baseado nos resultados da aplicação de uma proposta didática com objetivo de propiciar aos educadores uma ferramenta de ensino que contribua para a aquisição de conhecimento científico contextualizado, a partir de técnicas inovadoras e conectadas com a realidade do estudante. O tema de estudo restringiu-se às ondas eletromagnéticas, um assunto por vezes abordado superficialmente e descontextualizado no ensino médio. Para contribuir com a aprendizagem, elaboramos uma sequência didática baseada na teoria de aprendizagem significativa de David Paul Ausubel para ser aplicada em cinco aulas em uma turma da terceira série do ensino médio. As atividades foram organizadas para contemplar diferentes estratégias de ensino, valorizando a diversidade no aprendizado. Assim, elaboramos atividades diversas culminando com a construção de um protótipo experimental, valorizando o trabalho cooperativo e o protagonismo estudantil. O experimento visou trabalhar, em especial, a radiação ultravioleta aplicada à conservação de alimentos, buscando significar os conceitos físicos abordados. O trabalho permitiu verificar in locu que a possibilidade de manusear, cooperar e construir conhecimentos por meio de metodologias que permitam um maior envolvimento dos estudantes sobre a temática em estudo pode resultar em uma aprendizagem com maior significado.

Palavras-Chave: Ensino de Física; Aprendizagem significativa; Experimentação; Ondas eletromagnéticas; Metodologias ativas.

Abstract

This article was produced based on the results of the application of a didactic proposal with the objective of providing educators with a teaching tool that contributes to the acquisition of contextualized scientific knowledge, based on innovative techniques and connected with the student's reality. The subject of study was restricted to electromagnetic waves, a subject sometimes approached superficially and decontextualized in high school. To contribute to learning, we developed a didactic sequence based on the theory of meaningful learning by David Paul Ausubel to be applied in five classes in a third-grade high school class. The activities were organized to contemplate different teaching strategies, valuing the diversity in each one's learning. Thus, we developed expository activities, lectures, directed study and even the construction of an experimental prototype, valuing cooperative work and student protagonism. The experiment aimed to work, in particular, the ultraviolet radiation applied to food conservation, seeking to signify the physical concepts addressed. The work made it possible to verify in locu that the possibility of handling, cooperating and building knowledge through methodologies that allow a greater involvement of students on the subject under study can result in learning with greater meaning.

Keywords: Teaching Physics; Meaningful learning; Experimentation; Electromagnetic waves; Active methodologies.

I. INTRODUÇÃO

O ensino de Física no Brasil, de modo geral, necessita de uma abordagem mais atrativa e instigante, que faça com que temas de Física possam ser ministrados com maior eficiência e que acarrete numa aprendizagem mais significativa para os estudantes do ensino médio. Na busca por melhorar o contexto do ensino de Física para esta modalidade de ensino, foi desenvolvido o material didático apresentado neste artigo, que tem como objetivo principal possibilitar que professores explorem conceitos físicos sobre ondas eletromagnéticas, tomando como tópico orientador a radiação ultravioleta (UV), com ênfase na radiação UV do tipo C (UV-C), a qual tem potenciais aplicações associadas às suas características germicidas. Assim, organizou-se uma sequência didática com o tema “radiação eletromagnética aplicada à conservação de alimentos” que contempla ferramentas diversificadas do processo de ensino e aprendizagem, utilizando-se de estratégias com multimídias, palestra, protótipo experimental e, ainda, aulas expositivas para evidenciar com clareza os conceitos físicos envolvidos nesta temática.

Para atender os anseios da presente proposta, os autores se basearam na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Paul Ausubel como instrumento metodológico que pudesse contribuir para a construção do conhecimento científico (Moreira, 1999). Esta teoria evidencia a necessidade de termos materiais potencialmente significativos que possam ser relacionados à estrutura cognitiva do aluno de maneira não arbitrária e, assim, conduzir a uma aprendizagem significativa, partindo de um princípio fundamental, daquilo que o aluno já sabe e, a partir daí, estabelecer materiais potencialmente significativos, contando com e incentivando a predisposição do estudante para o aprendizado dos conceitos em questão. De acordo com a TAS os novos conceitos devem ser ancorados em conhecimentos já existentes e assim podem ser ampliados. Esses materiais estão relacionados não só à escolha de ferramentas didáticas, mas também a atitudes que provoquem a predisposição para aprender. Para isso, vê-se protótipos experimentais como ferramentas didáticas que, quando exploradas apropriadamente, podem contribuir para a ampliação de conceitos físicos, porém, os mesmos devem ser aliados a outras estratégias de ensino. Segundo Villani e Nascimento (2003), a estratégia experimental possibilita a concretização dos conceitos abordados, suscitando reflexões nos alunos que favorecem o aperfeiçoamento do conhecimento científico.

Segundo Berbel (2011), as metodologias ativas são estratégias aliadas do processo de aprendizagem que colocam o estudante no centro do processo de aprendizagem, participando ativamente de cada etapa de modo a oportunizar o desenvolvimento da capacidade de apropriação do conhecimento autônoma e crítica, para que os conceitos abordados sejam assimilados de maneira significativa. *“Podemos entender que as Metodologias se baseiam em formas de desenvolver o processo de aprender, utilizando experiências reais ou simuladas, visando às condições de solucionar, com sucesso, desafios advindos das atividades essenciais da prática social, em diferentes contextos”* (Berbel, 2011, p. 29).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN+ (Brasil, 2018) trazem em seu texto para o ensino de Física concepções que fundamentam estratégias de ensino que favorecem o planejamento com objetivo de tornar as aulas atrativas e contextualizadas, o que visa contemplar questões que vão desde o que ensinar até como ensinar, com isso, buscar abordar os conceitos específicos da disciplina de forma a relacionar com as vivências dos estudantes. Ainda, as Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio também tratam das estratégias de ensino que têm na interdisciplinaridade uma aliada. Em temas como este, reservadas as especificidades de cada disciplina, a Física, a Química e a Biologia podem atuar de forma conjunta na construção de um novo saber, por se tratar de um objeto comum de estudo, podendo proporcionar resultados significativos de aprendizagem.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Moreira (1982), Ausubel em sua teoria relata que podemos aprender por descoberta, recepção ou memorização. No aprendizado por descoberta, o conhecimento vem de forma desordenada e superficial. No aprendizado por recepção, os conceitos aparecem organizados e ordenados, cabendo ao sujeito o esforço para compreensão dos mesmos. Já por memorização, não há contato prévio com os conceitos abordados, sendo esse tipo de aprendizagem mais fácil de ser esquecida, pois fica no inconsciente. De qualquer forma, esse primeiro contato com o conhecimento é importante, pois pode servir de ancoradouro para novos conceitos.

A aprendizagem significativa constitui um processo de construção do conhecimento a partir dos conceitos prévios já presentes em nossa estrutura cognitiva, no qual os mesmos são ordenados hierarquicamente e os novos conhecimentos são ancorados nessa estrutura e podem ser ampliados e generalizados ao longo do processo. Para que ela ocorra é necessário que sejam ofertados materiais potencialmente significativos e que o estudante esteja predisposto a aprender. Logo, partindo daquilo que este já sabe, deve-se traçar estratégias que o motive a querer aprender e, assim, que essa aprendizagem passe a ter significado e ainda possa ser generalizada em outros contextos.

A aprendizagem significativa processa-se quando o material novo, ideias e informações que apresentam uma estrutura lógica, interagem com conceitos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva, sendo por eles assimilado, contribuindo para sua diferenciação, elaboração e estabilidade. (Moreira, 1982, p. 4)

Para gerar uma aprendizagem com significado deve-se ofertar estratégias diversificadas de ensino. Segundo Vilani e Nascimento (2003), as atividades experimentais são uma importante ferramenta na construção do conhecimento e, quando associadas a outras técnicas didáticas, contribuem com a motivação e pré-disposição dos estudantes à aprendizagem de novos conceitos, ou mesmo ao aprimoramento dos já existentes. Estas atividades, quando elaboradas com o intuito de contemplar conceitos físicos, podem estimular o diálogo, o trabalho em grupo, a cooperação e, ainda, deve ser compreendida como um objeto didático e facilitador de aprendizagem.

III. CONCEITOS FÍSICOS

A era da informação em que vivemos baseia-se quase totalmente na física das ondas eletromagnéticas. Estamos globalmente conectados pela televisão, telefonia e internet, incluindo a comunicação óptica e sem fio, e completamente dependentes e imersos em ondas eletromagnéticas (Carron e Guimarães, 2014.).

Historicamente, os primeiros fenômenos de eletricidade e magnetismo foram observados na Grécia Antiga, por volta de 800 – 700 a.C., e a partir de então estudados como se fossem totalmente independentes. A palavra elétrico, bem como o termo eletricidade, vem do grego “elektron”, que significa âmbar, enquanto que a palavra magnético e o termo magnetismo vêm de Magnésia, um distrito da Grécia onde foram encontradas pedras que atraíam ferro, e hoje são conhecidas como magnetita (Mizra, 2007). Após vários estudos e desenvolvimentos, cerca de vinte e cinco séculos depois, em 1820, Christian Oersted descobriu que eletricidade e magnetismo se tratavam, na realidade, de diferentes aspectos de um mesmo fenômeno e, por volta de 1860, James Clerk Maxwell conseguiu unificar as equações do eletromagnetismo, que a partir de então passaram a ser chamadas de equações de Maxwell. São elas: as leis de Gauss, para a eletricidade e para o magnetismo, a lei de Ampère generalizada e a lei de Faraday para a indução eletromagnética (Halliday, Resnick e Walker, 2016). Nessas equações, e no eletromagnetismo, μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo e ϵ_0 a permissividade elétrica do vácuo. A importância do trabalho de Maxwell é comparável à formulação das leis dos movimentos por Newton.

A lei de Gauss para a eletricidade define como o campo elétrico (\vec{E}) é produzido por certa distribuição de cargas indicada pela função densidade de carga elétrica (ρ). Esta lei descreve como o campo elétrico diverge a partir de uma carga positiva e converge rumo a uma carga negativa, equivalendo à lei de Coulomb (Halliday, Resnick e Walker, 2016), na qual o campo elétrico devido a uma carga puntiforme varia inversamente com o quadrado da distância à carga.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \text{Lei de Gauss para a Eletricidade} \quad (1)$$

A lei de Gauss para o magnetismo descreve as observações experimentais de que as linhas de campo magnético (\vec{B}) são fechadas. Esta lei também traduz o conceito de que, ao contrário das cargas elétricas, não existem polos magnéticos (norte ou sul) isolados (Halliday, Resnick e Walker, 2016), de tal maneira que a ‘função densidade de polos magnéticos’, que deveria aparecer do lado direito da igualdade, é sempre nula.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad \text{Lei de Gauss para o Magnetismo} \quad (2)$$

A lei de Ampère generalizada, na qual foi inserida a densidade de corrente de deslocamento de Maxwell ($\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$), descreve como um campo magnético com linhas fechadas pode ser criado por uma densidade de corrente elétrica (\vec{J}) ou pela variação temporal de um campo elétrico (Halliday, Resnick e Walker 2016).

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad \text{Lei de Ampère-Maxwell} \quad (3)$$

A lei da indução de Faraday descreve como a variação temporal do campo magnético produz campo elétrico com linhas fechadas (Halliday, Resnick e Walker, 2016). Note que, se a taxa de variação do campo magnético variar em função do tempo, o campo elétrico criado também varia, o que por sua vez (segundo a lei de Ampère generalizada) induz a criação de uma nova componente de campo magnético que, em função do sinal negativo da equação, obrigatoriamente se opõe ao sentido da taxa de variação inicial do campo magnético.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{Lei de Faraday-Lenz} \quad (4)$$

Juntas, estas equações descrevem todos os fenômenos eletromagnéticos até então conhecidos, mas também tiveram uma consequência fundamental: previram a existência de ondas eletromagnéticas.

Como, segundo a lei de Ampère generalizada, campo magnético pode ser criado por um campo elétrico variável, e segundo a lei de Faraday, campo elétrico pode ser criado por um campo magnético variável, os cálculos mostraram que seria possível a existência de campos elétricos e magnéticos oscilantes e perpendiculares, que se autoalimentariam, ou seja, de tal maneira que a variação do campo magnético cederia energia para a variação do campo elétrico e vice-versa, gerando o que conhecemos hoje como ondas eletromagnéticas, que se deslocariam perpendicularmente aos campos elétrico e magnético variáveis, no vácuo, com velocidade (c) dada por ($c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$), ou cerca de 300 000 km/s (Tipler e Mosca, 2009), como ilustrado na figura 1.

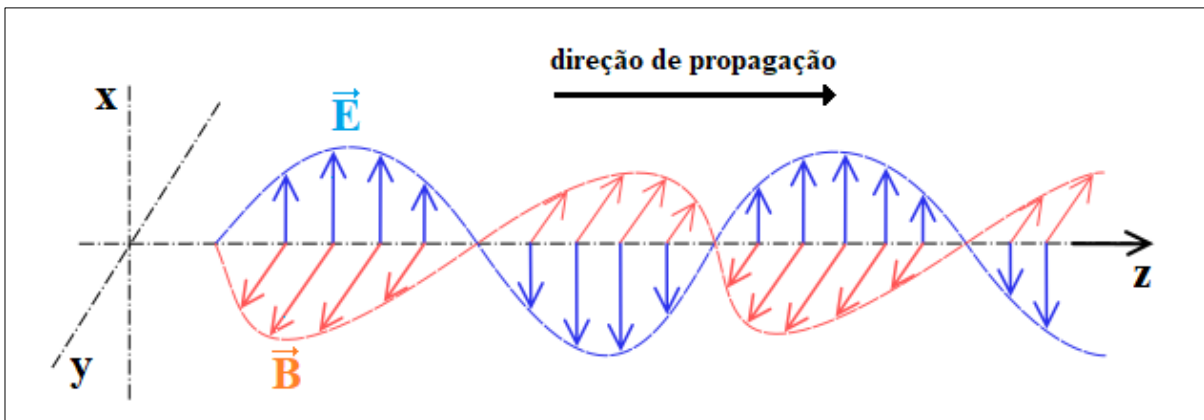


FIGURA 1. Representação esquemática de uma onda eletromagnética (adaptado de Wikimedia Commons, the free media repositior, 2022a).

Essa previsão foi verificada experimentalmente por Heinrich Rudolf Hertz, em 1887, quando conseguiu produzir ondas eletromagnéticas (ondas de rádio) por faiscamento utilizando um sistema indutivo-capacitivo simples, e detectá-las utilizando um receptor em forma de anel, com um pequeno espaço incompleto também para faiscamento, que puderam ser observados em um ambiente escuro (Edwards, 2012). Posteriormente, utilizando uma fonte de frequência conhecida para produzir ondas eletromagnéticas estacionárias, conseguiu medir o comprimento de onda e, com a equação fundamental da ondulatória, $v = \lambda \cdot f$, verificou que a velocidade das ondas de rádio era igual à da luz. Ele também mostrou que ondas de rádio refletiam, refratavam, difratavam e eram polarizáveis como a luz visível determinando sem sombra de dúvida que a luz era uma onda eletromagnética e obedecia às equações de Maxwell (Cichon e Wiesbeck, 1995).

Percebemos a eletricidade em milhares de locais onde antes não tínhamos prova de sua existência. Em cada chama, em toda partícula luminosa, nós vemos um processo elétrico. Mesmo um corpo não luminoso irradia calor, gerado por distúrbios elétricos. Consequentemente, o domínio da eletricidade se estende para toda a natureza. (Edwards, 2012, p.1)

Em reconhecimento ao trabalho por ele realizado, a unidade de frequência no Sistema Internacional de Unidades (SI) recebeu o nome de Hertz (Hz).

A. Ondas eletromagnéticas

A figura 1 é uma representação esquemática de uma onda eletromagnética. Nesta pode ser observada a forma como variam os campos elétrico e magnético, perpendicularmente entre si e à direção de propagação, características estas que são fundamentais de toda onda eletromagnética. Elas podem ser produzidas por uma corrente elétrica oscilante, movimento de cargas elétricas ou oscilação dos campos elétrico ou magnético, propagando-se no vácuo com velocidade igual à da luz.

As ondas eletromagnéticas são classificadas em função de seu processo de produção e/ou pela sua faixa de frequência ou comprimento de onda, que podem ser indicadas no que chamamos de espectro eletromagnético, como mostrado na figura 2. As faixas correspondentes a cada tipo de onda eletromagnética muitas vezes não são bem definidas e em alguns casos sobrepõe-se.

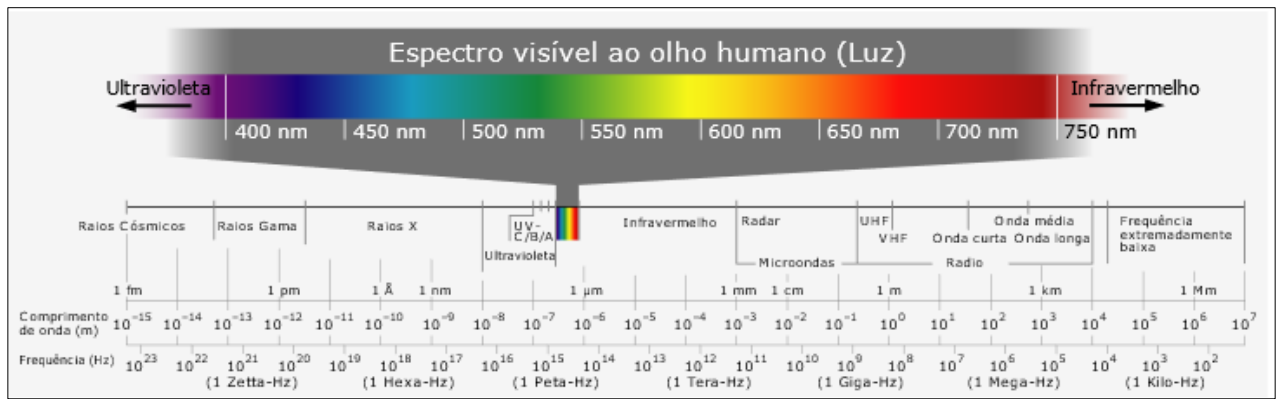


FIGURA 2. Espectro eletromagnético (adaptado de Wikimedia Commons, the free media repository. 2022b).

Teoricamente, não há limites para as frequências ou comprimentos de onda das radiações eletromagnéticas, sendo que cada tipo de onda eletromagnética é produzido por dispositivos ou processos diferentes. Por exemplo, pode-se produzir ondas de rádio por meio de circuitos elétricos oscilantes, e raios X de forma discreta por transições eletrônicas entre dois níveis profundos de um átomo ou de forma contínua em energia pela desaceleração brusca de elétrons. As luzes ultravioleta, visível e infravermelha são emitidas de forma contínua em energia como radiação térmica e pela desaceleração de elétrons, mas de forma discreta durante transições eletrônicas entre níveis mais externos dos átomos e moléculas do material (luz visível e ultravioleta) e, também, pela oscilação de dipolos elétricos existentes na estrutura atômica dos materiais (luz infravermelha). Já a radiação gama é produzida por decaimento radioativo, transições nucleares ou desintegração de partículas (Carron e Guimarães, 2014).

B. Radiação ultravioleta

Radiação UV é o nome dado à porção do espectro eletromagnético compreendido entre a luz visível e os raios X, o que corresponde a comprimentos de onda entre, aproximadamente, 400 nm e 100 nm, como ilustrado na figura 3.

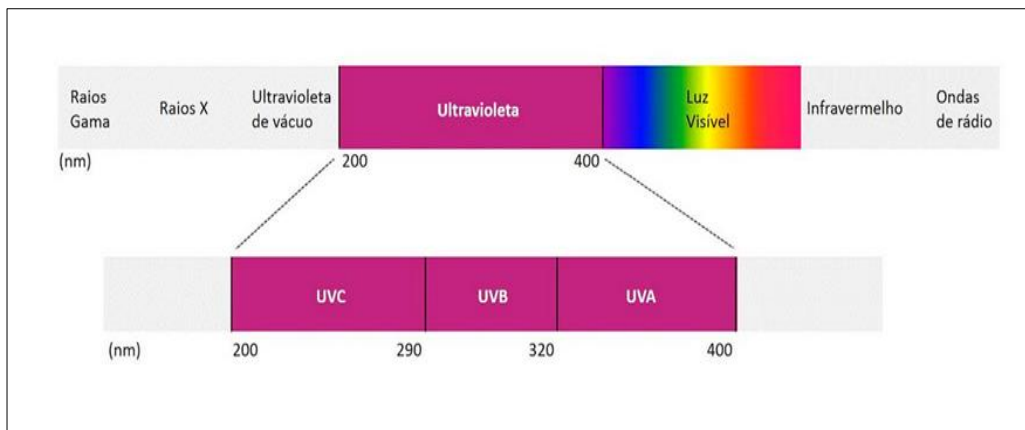


FIGURA 3. Espectro parcial da radiação UV (adaptado de Dermatologia e saúde, 2022).

A existência deste tipo de radiação foi identificada pela primeira vez pelo físico alemão Johann Wilhelm Ritter em 1801, a partir de experimentos com cloreto de prata (AgCl) exposto à luz visível, e cujos resultados o levaram à conclusão da existência de raios invisíveis além da luz violeta no espectro solar. Em virtude disto foram chamados de radiação ultravioleta.

A radiação UV é gerada pelo mesmo processo que origina a luz visível, ou seja, elétrons de um átomo que foram excitados e, ao retornar do estado mais energético para um menos energético, emite radiação (Tipler e Mosca, 2009). Esta radiação pode ser produzida na forma de espectro discreto (conjunto de comprimentos de onda) por excitação atômica em um tubo de descarga gasosa ou na forma de um espectro contínuo quando emitida por superfícies em alta temperatura. O fato de o Sol ser uma estrela em cujo interior se gera uma imensa quantidade de energia, elevando a temperatura da sua superfície até algo em torno de 6000 K, o torna a principal fonte natural de radiação UV para a Terra.

Do ponto de vista físico, todos os corpos aquecidos emitem um espectro contínuo de radiação eletromagnética, sendo que a forma do espectro e a sua região de maior intensidade dependem da temperatura do corpo, como mostra a figura 4. Observa-se nesta figura que a intensidade relativa da radiação UV aumenta em relação a das radiações visível e infravermelha (IV) com o aumento da temperatura do corpo: à temperatura de 3000 K a emissão é praticamente de radiação IV e luz visível, enquanto que a 6000 K a radiação predominante é a visível, com boa quantidade de radiação UV (Carron e Guimarães, 2014).

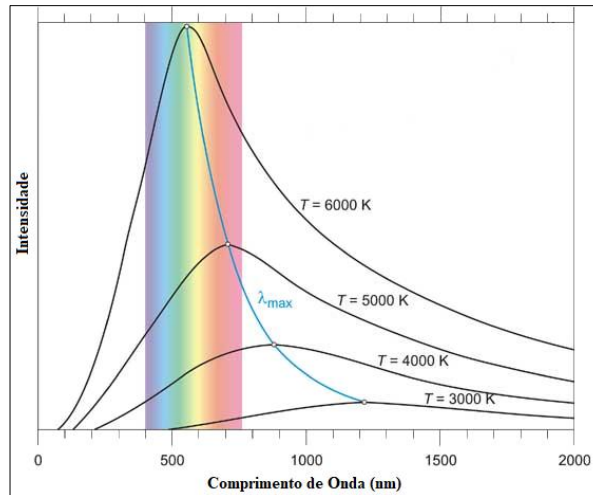


FIGURA 4. Gráfico da intensidade relativa em função do comprimento de onda, para as radiações emitidas por um corpo aquecido, de acordo com a temperatura do corpo na escala Kelvin (adaptado de: Noções básicas de engenharia e eletrônica (2022)).

No que se refere à saúde humana, por seu baixo poder de penetração, a radiação UV tem seus efeitos diretos no corpo humano limitados à superfície da pele. Dentre os efeitos (positivos ou negativos) se incluem vermelhidão da pele (queimaduras solares), desenvolvimento de pigmentação (bronzado), envelhecimento e alterações cancerígenas, assim como o estímulo à produção de vitamina D.

Felizmente, grande parte da radiação UV emitida pelo Sol, e que poderia atingir a Terra, é blindada pela atmosfera terrestre. A radiação UV-A (320 – 400 nm) é a mais comumente encontrada no ambiente, uma vez que é pouco absorvida pela atmosfera, sendo necessária para a síntese da vitamina D, e também estimula a produção de pigmentos responsáveis pelo bronzeamento (escurecimento da pele). Esta radiação é frequentemente chamada de luz negra por causa de seu efeito fluorescente. Na década de 1970, a luz negra era muito usada em discotecas e casas de shows.

A radiação UV-B (280 – 320 nm) é apenas parcialmente blindada pela camada de ozônio atmosférico, possuindo energia suficiente para causar danos ao DNA das nossas células (queimaduras de pele), podendo produzir eritemas (vermelhidão na pele).

A radiação UV-C (200 – 280 nm) é denominada luz germicida, em função da sua capacidade de destruição de germes, sendo utilizada nos hospitais, clínicas e consultórios dentários para esterilizar instrumentos cirúrgicos, em estações de tratamento de água e ainda na indústria de alimentos. Essa radiação possui energia suficiente para danificar as células da pele.

Também existe a radiação UV-V, com comprimentos de onda menores que 200 nm e que é, por exemplo, utilizada na fabricação de semicondutores, no estudo de proteínas e na astronomia.

Embora boa parte da radiação ultravioleta seja classificada como não ionizante, por não arrancar elétrons de átomos ou moléculas, ela possui energia suficiente para levá-los a um nível eletrônico de maior energia. Essa energia absorvida pelos átomos e moléculas pode ser liberada na forma de fótons, por meio dos fenômenos de fluorescência e fosforescência (Carron e Guimarães, 2014).

IV. ALIMENTOS IRRADIADOS

Existem duas maneiras de irradiar alimentos para conservação, através de radiação ionizante que pode ser com os raios X, raios gama ou feixe de elétrons e a não ionizante com radiação UV-C (Batista, 2017).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA é o órgão que, no Brasil, regulamenta o controle sanitário dos alimentos, com objetivo principal de preservar a saúde da população, é também a responsável pelo controle dos processos de irradiação de alimentos, regulamentada a partir da resolução número 21 de 2001, que trata das regras para a irradiação de alimentos a partir de radiações ionizantes, estabelecendo os limites de radiação que não prejudiquem

a saúde das pessoas (ANVISA, 2001), porém em se tratando de UV-C não há legislação específica no contexto de conservação de alimentos.

De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada nº 21 da ANVISA: “A irradiação de alimentos é um processo físico de tratamento que consiste em submeter o alimento, já embalado ou a granel, a doses controladas de radiação ionizante, com finalidade sanitária, fitossanitária e ou tecnológica” (ANVISA, 2001, p. 1).

Note, ainda, que a “...irradiação de alimentos não aumenta a quantidade normal de radioatividade do alimento, portanto não torna o alimento radioativo” (Costa, Zétula, Lima e Guines, 2018, p.1).

Em nossa pesquisa o objeto de estudo é a radiação UV-C, em específico a sua ação germicida aplicada à conservação de alimentos. Desta forma, vale ressaltar que a radiação UV não interfere na composição ou características nutricionais dos alimentos. Segundo Bintsis *et al.* (2000) este tipo de radiação teve suas primeiras aplicações a partir de 1930 na esterilização de materiais na indústria farmacêutica nos Estados Unidos, mais tarde em embalagens de laticínios e também nas superfícies de frutas e hortaliças, por mostrar-se eficiente em manter as características originais dos alimentos, prolongando sua vida útil.

O método de conservar alimentos por radiação eletromagnética com UV-C é um tema em estudo e desenvolvimento no Brasil, o mesmo reduz as perdas por processos biológicos, diminuindo a proliferação de micro-organismos, aumentando assim a competitividade dos produtos agropecuários sem causar prejuízo ao alimento, já que a mesma atua no DNA desses organismos inibindo sua replicação celular, tendo baixo poder de penetração e maior eficiência no comprimento de onda de 254 nm (Portal da educação, 2022).

No ano de 2016 foi publicada uma notícia no Food Safety Brazil (2019) em que se relatava, na época, a construção de um dispositivo que estaria sendo testado nos Estados Unidos pelo professor Haigiank Chen, da Universidade de Delaware, para servir de irradiador doméstico. Seria algo similar a um forno de micro-ondas, no qual as pessoas poderiam irradiar seus alimentos em casa. Nesta época a temática sobre utilizar a radiação UV-C como germicida estava em processo de construção.

Nos dias atuais, devido a pandemia de COVID-19, esse processo foi amplamente disseminado por sua eficácia no combate ao vírus e para a desinfecção de ambientes variados. Segundo Pessoa *et al.* (2021), para a desativação do coronavírus é preciso uma dosagem de radiação UV-C, que deve estar associada à transmissão de energia para essa faixa de onda emitida pela lâmpada germicida, porém os estudos deste método de desinfecção específico para o SARS-CoV-2 ainda é experimental e não tem sua eficácia comprovada cientificamente.

Diante da disseminação da radiação UV-C como desinfetante para desativar a ação do vírus SARS-CoV-2 a ANVISA emitiu notas técnicas com orientações e indicações quanto ao uso desta técnica de desinfecção. A primeira nota Nº082/2020 (ANVISA, 2020), ressalta os cuidados de exposição com a luz devido aos efeitos danosos a saúde humana sobre a pele e os olhos, ainda a Organização Mundial da Saúde-OMS indica que não é possível usar lâmpadas com luz UV-C para desinfetar mãos e outras zonas da pele. A nota técnica afirma que: “[...] deve-se ter em mente que não há comprovação de que a exposição de roupas, objetos e ambientes à radiação UV contribua para que as pessoas fiquem protegidas de contaminação e proliferação do vírus mediante descontaminação do ambiente ou roupas” (ANVISA, 2020, p.4).

A segunda nota técnica Nº32/2021 (ANVISA, 2021) aponta a partir dos avanços nos estudos científicos, que os equipamentos de emissão de UV-C para serem utilizados como desinfetante para ambientes e superfícies em geral, são possíveis para situações específicas, como em ambientes controlados e que tenham sofrido uma higienização manual e depois posterior exposição à radiação UV-C. Desta forma, a nota traz várias restrições quanto ao uso deste tipo de radiação e orienta quanto aos riscos para a saúde humana. Assim:

Existem limitações sobre a eficácia da radiação UV-C na inativação de vírus, de forma geral. É importante reconhecer que, geralmente, a UV-C não pode inativar um vírus ou bactéria se não houver a exposição direta. Portanto, a inativação de vírus em superfícies pode não ser eficaz devido ao bloqueio da radiação UV pelo solo, poeira, ou outros contaminantes, como fluidos corporais. (ANVISA, 2021, p.4)

Diante disso, nota-se a potencialidade do tema para apresentar aos estudantes inovações na aplicação da radiação UV-C, proporcionando um aprendizado dos conceitos físicos contextualizados e aplicados na atualidade.

A. Lâmpada germicida no processo de irradiação de alimentos

O protótipo experimental construído como parte desta sequência didática está fundamentalmente embasado nos efeitos que a radiação UV-C pode trazer no processo de irradiação de alimentos. O principal elemento de funcionamento da câmara de irradiação de alimentos é uma lâmpada germicida compacta de vapor de mercúrio de 20W. A eficiência desse tipo de lâmpada para a produção de luz é de algo em torno de 60%, enquanto que apenas metade da intensidade luminosa é emitida na faixa do ultravioleta, ou seja, aproximadamente 30% ou 6W. Pessoa *et al.* (2021),

ressalta que este tipo de lâmpada, emite radiação também na faixa do visível, por isso no momento que acesa é notada uma coloração azulada ou violeta e ainda para terem a ação germicida devem ser confeccionadas de quartzo, já que neste tipo de material tem absorção menor para essa faixa de radiação.

Segundo Otto *et al.* (2011), a lâmpada germicida UV-C de descarga de mercúrio, não possui a cobertura externa de material fluorescente (observada nas lâmpadas comuns usadas para a iluminação nas ruas), a descarga elétrica entre os eletrodos ioniza a fase gasosa (vapor de mercúrio), que irradia fótons para o exterior da lâmpada e que podem provocar alteração no DNA de micro-organismos, agindo como germicida, eliminando da superfície dos alimentos irradiados os parasitas, vírus ou protozoários e, conseqüentemente, ampliando a vida útil dos mesmos. Esse tipo de radiação é absorvida quase totalmente pelo vidro comum, que funciona como um filtro, por este motivo este tipo de lâmpada possui bulbo de quartzo.

Rivera e Pastrana *et al.* (2007) dizem que, ao irradiar alimentos com UV-C, existe uma vantagem sobre outras formas de conservação por irradiação, pois se trata de radiação não ionizante, é de baixo custo, não possui restrições legais e não altera o sabor, a coloração ou o odor dos alimentos, e ainda não gera subprodutos.

Como a intensidade (I) da radiação UV que incide sobre o alimento irradiado é dada pela razão entre a potência de radiação UV emitida que incide sobre o alimento, ou seja, a potência da lâmpada (P) multiplicada por sua eficiência (η) de emissão na região do UV, e a área (A) na qual essa potência incide (a área de superfície do alimento).

$$I = \eta \frac{P}{A} \tag{5}$$

No caso do protótipo de câmara de irradiação construída, cuja potência da lâmpada é de 20 W e eficiência aproximada para a produção de luz UV de 30% (0,30). Um tomate de 5 cm de raio, possui área de 0,00785 m², de maneira que a intensidade de radiação incidente sobre o tomate será de, aproximadamente:

$$I = 0,3 \frac{20}{0,00785} \frac{W}{m^2} = 764 \frac{W}{m^2} = 0,764 \text{ kJ/s.m}^2 \tag{6}$$

O resultado da intensidade de radiação não foi aferido no experimento com radiômetro, uma vez que o objetivo do experimento era o de apresentar aos estudantes uma aplicação prática da radiação ultravioleta na qual pudessem visualizar a conservação dos alimentos irradiados sem a necessidade de aparatos sofisticados para as medições ou mesmo de um laboratório equipado. Para fins de informação, para um tempo de exposição de 10 minutos (600 segundos), conforme utilizado neste trabalho, tem-se que a densidade de energia de radiação UV por unidade de superfície atingiu cerca de 460 kJ/m².

V. METODOLOGIA

A sequência didática proposta foi elaborada para ser replicada em turmas da terceira série do ensino médio, em cinco aulas, explorando conceitos físicos envolvidos em um contexto prático objetivando aguçar a curiosidade e despertar maior interesse dos estudantes pelo assunto, buscando a cada etapa evidenciar a premissas da TAS de David Paul Ausubel. Acreditamos ser de fundamental importância buscar novas formas de ensinar contribuindo para melhorar o gosto dos estudantes pela área das ciências, em especial a Física.

A elaboração deste material teve por objetivo contemplar estratégias e ferramentas de ensino diversas que contribuíssem para a construção dos conceitos físicos envolvidos na proposta, sobre radiação eletromagnética, em especial a radiação UV-C aplicada à conservação de alimentos.

A tabela I traz a sequência didática aplicada a alunos da terceira série do ensino médio.

TABELA I. Sequência didática ‘Radiação Eletromagnética Aplicada à Conservação de Alimentos’.

Aulas	Etapa	Atividade	Descrição	Produção	Finalidade	Tempo
1	1	Vídeo	Vídeo motivados com as ideias iniciais da temática		Organizador Prévio	5min.
	2	Roda de Conversa 1	Pontos observados no vídeo relações com cotidiano	Discussão oral	Situação problema inicial	15min.
	3	Pré-Teste	Aplicação do teste	Realizar o teste	Subsunções	15min.
2	4	Prática 1	Construção da Câmara de Irradiação de alimentos	Anotações na tabela	Assimilação	55min.
3	5	Aula expositiva 1	Apresentar os conceitos da temática central		Aprendizagem representacional	25min.

Aulas	Etapa	Atividade	Descrição	Produção	Finalidade	Tempo
4	6	Lista de atividades	Estudo dirigido: realização da atividade em grupo	Realizar a atividade	Diferenciação progressiva	30min.
	7	Aula expositiva 2	Mini palestra processos de conservação de alimentos	Registro escrito das impressões sobre a palestra	Organizador prévio	20min.
	8	Roda de Conversa 2	Discussão sobre a palestra		Reconciliação Integrativa	35min.
5	9	Prática 2	Observação dos alimentos irradiados e grupo de controle	Registro na tabela	Registro para análise do produto	15min.
	10	Roda de Conversa 3	Leitura coletiva texto: Irradiação de alimentos	Discussão oral	Reconciliação Integrativa	15min.
	11	Pós- teste	Aplicação do teste	Realizar o teste	Registro para análise do produto	30min.

A. Detalhamento das atividades

As atividades realizadas nas cinco aulas são descritas a seguir, enquanto o material de apoio utilizado está disponibilizado por meio do link.

A.1. Aula 1 - Vídeo motivador (organizador prévio)

A atividade inicial foi organizada com intuito de estabelecer organizadores prévios necessários à assimilação dos novos conhecimentos. Foi apresentado um vídeo criado pelos autores com imagens e figuras que apresentam diferentes tipos de radiações eletromagnéticas, e disponível em <https://youtu.be/tVrHdCsPMIY>, com o objetivo de estimular os estudantes a relacionar as mesmas a conhecimentos já existentes em suas estruturas cognitivas. Após a exibição do vídeo foi realizada uma discussão coletiva (roda de conversa) com o intuito de observar se os alunos conseguiam relacionar as impressões do vídeo com situações do cotidiano e, também, se em algum momento de suas falas os estudantes fariam alusão ao termo ondas eletromagnéticas. Após, os grupos de estudantes foram organizados para a realização do questionário pré-teste, com objetivo de identificar os conceitos subsunçores e, ainda, direcionar as próximas etapas. Ao término da aula solicitou-se que os grupos trouxessem para o encontro seguinte as frutas e legumes que seriam utilizados no processo de irradiação.

A.2. Aula 2 - Construção da câmara de irradiação de alimentos (assimilação)

Os estudantes foram organizados em grupos de até quatro componentes, com o objetivo de desenvolver uma atividade de natureza prática/experimental. Cada grupo recebeu um kit de montagem para construção da câmara. Para auxiliar no processo, foi apresentado um vídeo elaborado pelos autores disponível no link, com detalhes sobre a montagem da câmara protótipo. Na sequência, cada grupo construiu sua própria câmara de irradiação de alimentos. Nesse processo, todos os grupos foram acompanhados pelo professor e por estudantes que tinham conhecimento sobre instalação de circuitos elétricos, que colaboraram com os demais grupos. Intencionalmente, decidiu-se pela construção da câmara de irradiação de alimentos antes da abordagem dos conceitos físicos específicos, com o intuito de motivar os estudantes para as próximas etapas. A figura 5 apresenta o protótipo de câmara para a irradiação de alimentos confeccionada pelos autores.

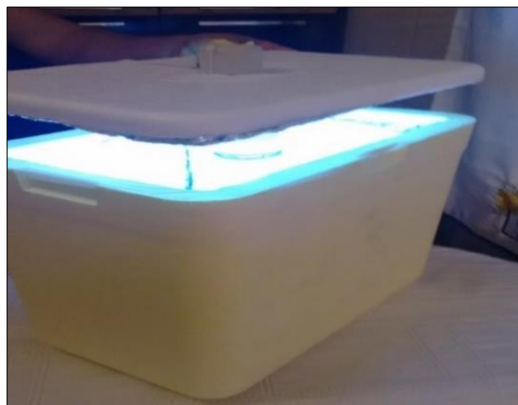


FIGURA 5. Protótipo da câmara de irradiação de alimentos.

Com a câmara pronta, os grupos foram orientados a irradiar os alimentos que haviam trazido, deixando uma amostra não irradiada de cada alimento, para que servisse de controle. Os alimentos foram expostos à luz UV-C por, aproximadamente, 10 minutos, tempo estimado mediante estudos prévios realizados pelos autores. Os estudantes receberam uma tabela para anotações sobre o tipo de alimento, a data, o tempo de irradiação e aspectos físicos das amostras. Os estudantes também fizeram o registro fotográfico de todo o processo. Os grupos receberam a incumbência de, nos dias seguintes, realizar os registros escritos e fotográficos do estado das amostras irradiadas e, nos próximos encontros, descrever o estado físico das amostras, até a discussão final.

A.3. Aula 3 - Conceitos de radiação eletromagnética (aprendizagem representacional)

Nesta primeira aula expositiva, foram abordadas as características das radiações, seus tipos e aplicações, ficando a critério do professor usar o material de apoio que julgar necessário. Expositivamente, foram abordados os conceitos e aplicações das ondas de rádio, micro-ondas, raios X e a radiação UV, enfatizando-se a radiação UV-C emitida pela lâmpada germicida. Esta etapa é importante para que o professor possa fundamentar os conceitos físicos específicos das radiações eletromagnéticas, direcionando para a aplicação na conservação de alimentos. Ao término dessa exposição e posteriores discussões foi aplicado um estudo dirigido para a generalização e assimilação dos conceitos estudados.

A.4. Aula 4 - História dos processos de conservação de alimentos (organizador prévio)

Para esta aula expositiva foi convidado um profissional da área de engenharia de alimentos, que fez uma apresentação expositiva sobre os processos de conservação de alimentos, desde o início da civilização aos dias atuais, auxiliando na compreensão do assunto, enfatizando o processo por radiação UV-C, e promovendo a interdisciplinaridade. Ao final da aula, na forma de roda de conversa, os estudantes produziram um pequeno texto com as suas impressões sobre o tema abordado, o que possibilitou acompanhar a construção da aprendizagem.

A.5. Aula 5 - Alimentos irradiados e o registro dos dados observados

Inicialmente, foi solicitado aos estudantes que fizessem uma última observação dos alimentos irradiados e das amostras de controle, registrando suas observações fotograficamente e na tabela de anotações. Após, foi realizada a leitura coletiva do texto “Irradiação de Alimentos”, disponível no link, e posterior discussão dos pontos de maior relevância citados pelos grupos. Assim, foi possível analisar se os conceitos abordados tinham se consolidado na estrutura cognitiva dos estudantes. Feito isso, os estudantes foram organizados para a aplicação do questionário de pós-teste, com o objetivo de subsidiar os registros finais sobre a evolução da aprendizagem dos estudantes.

VI. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação das potencialidades da sequência didática sugerida foi efetuada por meio de questionários pré-teste (anterior à aplicação do produto) e pós-teste (posterior à aplicação do produto). O questionário pré-teste foi elaborado com cinco questões abertas, e buscou identificar os conhecimentos apresentados inicialmente pelos estudantes sobre o tema central. As mesmas questões foram aplicadas como pós-teste, a fim de estabelecer um comparativo entre as respostas dadas pelos estudantes no princípio e no término da execução da proposta.

Foi observado que, durante o desenvolvimento da sequência didática, a atividade de construção do protótipo de câmara de irradiação de alimentos foi a etapa de maior envolvimento dos estudantes, que nas etapas seguintes apresentaram boa pré-disposição à introdução dos conceitos físicos, fundamentais para a compreensão da aplicação prática do tema em estudo (Alves Filho, 2000).

Berbel (2011) deixa claro que, se tratando de metodologias ativas, o estudante participa de cada etapa da construção do conhecimento, o que leva a perceber a necessidade de fomentar estratégias e métodos de ensino que contemplem estes aspectos, tornando o objeto de estudo atrativo e interessante aos olhos de quem aprende. Nesse contexto notou-se, a partir das observações e por meio dos registros escritos, que os estudantes se envolveram ativamente em cada etapa da proposta, o que acarretou em consolidação dos conceitos físicos que foram objeto do estudo.

Por meio da transcrição dos registros escritos obtidos a partir do pré-teste no aplicativo “Wordle”, foi produzida a figura 6, cuja nuvem de palavras evidencia as palavras que mais se repetem no texto transcrito. O software permite escolher o layout da mesma, e assim buscou-se a imagem que melhor retratasse a situação inicial do grupo.

A nuvem de palavras da figura 7 foi gerada a partir da transcrição das respostas do pós-teste, e permite observar que houve, em primeiro lugar, um maior número de citações de palavras que correspondiam à temática trabalhada. Também conseguiram, na sua maioria, identificar a relação entre as imagens apresentadas no vídeo exibido na primeira aula. A figura possibilita observar que evidenciaram em suas respostas o objeto principal de estudo: as ondas ou radiações eletromagnéticas aplicadas no cotidiano. Souberam, ainda, identificar características das ondas eletromagnéticas e, por fim, a aplicação delas na conservação de alimentos por UV-C.

Essa ferramenta de frequência de palavras transcritas (nuvem de palavras) gerada a partir das respostas dos estudantes nas atividades de pré e pós-teste, auxiliou em alguns apontamentos relevantes sobre as evidências de evolução da aprendizagem. Observando a figura 6 temos boa parte das respostas desconexas, com palavras aleatórias e ou que não se relacionavam ao tema central. Já na figura 7 há uma redução na quantidade de palavras, e as palavras que mais se repetiram foram radiação, ondas e eletromagnéticas, tema central da proposta.

Por fim, fazendo um comparativo entre as Figuras 6 e 7 tem-se uma visão relevante da evolução da aprendizagem, que associadas à aspectos observacionais realizados durante a execução da sequência didática, por meio do envolvimento do grupo de estudantes em cada etapa, aliados as resoluções das atividades propostas, fizeram com que acreditemos que a proposta deste produto educacional seja um instrumento que viabilize a aprendizagem significativa sobre radiações eletromagnéticas aplicadas à conservação de alimentos, possibilitando a exploração do tema em contextos reais presentes no cotidiano dos estudantes.

Diante da relevância do aparato experimental dentro da proposta didática, é importante ressaltar que o mesmo obteve resultado satisfatório no processo de conservação dos alimentos.

A figura 8 apresenta as fotografias de uma amostra de controle no início do experimento (esquerda) e após três semanas (direita).



FIGURA 8. Amostra de controle.

A figura 9 apresenta a foto de uma amostra irradiada no início do experimento (à esquerda) e após três semanas (à direita).



FIGURA 9. Amostra irradiada.

As Figuras 8 e 9 permitem observar que as amostras de controle (não irradiadas) se degradaram no período de análise, enquanto que as amostras irradiadas tiveram seu processo de decomposição retardado, corroborando com a proposta do experimento e evidenciando que a radiação UV-C tem ação germicida e pode contribuir para a conservação de alimentos.

VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sequência didática sugerida foi elaborada com objetivo de instrumentalizar professores que busquem estratégias diversificadas para trabalhar os conteúdos de Física Contemporânea no ensino médio. O ponto chave da proposta é agregar ao conceito físico novas perspectivas de aprendizagem, culminando com um protótipo experimental de baixo custo a ser construído. A sequência didática contribuiu para atitudes de protagonismo entre os estudantes e possibilitou o estudo dos conceitos físicos por meio de uma aplicação prática de radiação eletromagnética num contexto contemporâneo e inovador, possibilitando uma aprendizagem significativa.

Este material é uma alternativa que pode contribuir de maneira significativa com o avanço da aprendizagem para conteúdo específico da disciplina. Buscou-se organizar a mesma com atividades que contemplem áreas diversificadas do ensino, com intuito de fomentar as metodologias ativas e garantir o envolvimento dos alunos em todas etapas do trabalho.

O protótipo de câmara de irradiação elaborado e a respectiva sequência didática aplicada se mostraram relevantes para a compreensão e ampliação dos conceitos físicos relacionados às radiações eletromagnéticas, em especial a UV-C, e foram bem sucedidos no processo de conservação de alimentos. Acredita-se que a mesma é de fácil replicação e pode suscitar aprendizagem significativa, já que em cada etapa o estudante teve a oportunidade de fazer relações, conexões, aprimorar conceitos e ampliar seus conhecimentos, sendo participante ativo a cada etapa.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, ao programa do MNPEF que tem promovido a área das ciências no país, proporcionado a nós educadores uma infinidade de materiais didáticos para a disciplina de Física criando novas estratégias e possibilidades de aprendizagens para educadores e estudantes. Em especial, agradeço ao professor Patrick Siqueira da Rocha pelos anos de orientação, por juntos termos construídos esta proposta que resultou em um despertar de pesquisadora em mim, abrindo novas perspectivas e possibilidades de ensinar e aprender. Diante da partida precoce por COVID-19, em meio nossa construção escrita deste material, deixo aqui minha homenagem e reconhecimento por nossa parceria. No IF/UFMT deixa a saudade e o respeito pelo trabalho desempenhado ao longo dos anos de docência nesta instituição.

REFERÊNCIAS

Alves Filho, J. P. (2000). Atividades Experimentais: do Método à Prática Construtivista. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Educação – UFSC, Florianópolis.

ANVISA-Brasil. (2001). Resolução - RDC Nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Recuperado de: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_21_2001_.pdf/10d406b6-09c0-4773-b458-b9b599ca7d5d. Acesso em agosto de 2018.

ANVISA-Brasil. (2020). Nota Técnica Nº 82/2020/Sei/Cosan/Ghcos/Dire3/Anvisa. Recuperado de: <https://www.gov.br/anvisa/ptbr/centraisdeconteudo/publicacoes/saneantes/notas-tecnicas/nota-tecnica-82-2020-cosan-ghcos-dire3-anvisa/view>.

ANVISA-Brasil. (2021). Nota Técnica Nº 32/2021/Sei/Cosan/Ghcos/Dire3/Anvisa. Recuperado de: https://www.gov.br/anvisa/ptbr/centraisdeconteudo/publicacoes/saneantes/notas-tecnicas/nota-tecnica-32_2021-guia-uv.pdf/view.

Batista, F. O. (2017). Estudo da influência das doses de radiação UV-C nas propriedades físico-química e sensorial instrumental de morango. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - UFSC, Florianópolis. Recuperado de: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/182060>.

Berbel, N. A. N. (2011). As Metodologias Ativas e a Promoção da Autonomia de Estudantes. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, 32(1), 25-40.

Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E. & Robinson, R. (2000). Existing and Potential Applications of Ultraviolet Light in the Food Industry – A Critical Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(6), 637-645.

Brasil (2018a). Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Área de Ciências da Natureza e Matemática. Recuperado de <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>

Brasil (2018b). Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Área de Ciências da Natureza e Matemática. Adaptados dos PCN+ do Ensino Médio. Recuperado de http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_CNMT.pdf.

Carron, W. e Guimarães, O. (2014). *Coleção Base - Física Volume Único*. São Paulo: Editora Moderna.

Cichon, D. J. & Wiesbeck, W. (1995). The Heinrich Hertz Wireless Experiments at Karlsruhe in the View of Modern Communication. In *Proceedings of the 1995 International Conference on 100 Years of Radio*. Londres, Reino Unido. DOI: 10.1049/cp:19950782

Costa, A. A., Zétula, A. P. R., Lima, E. C. de e Guines, L. (2018). Irradiação de Alimentos. Recuperado de <http://www.as-mec.br/biblioteca/anais2010/024.pdf>.

Dermatologia e saúde (2022). Images, eletromagnetico.jpg. Recuperado de <https://www.dermatologiaesauade.com/imagens/eletromagnetico.jpg>.

Edwards, S. A. (2022). Heinrich Hertz and Electromagnetic Radiation. Recuperado de <https://www.aaas.org/heinrich-hertz-and-electromagnetic-radiation>.

Food safety Brazil (2019). Recuperado de <https://foodsafetybrazil.org/dispositivo-com-luz-ultravioleta-podera-descontaminar-alimentos-em-casa/>.

Halliday, D., Resnick, R. e Walker, J. (2016). *Fundamentos de Física Volume 4: Eletromagnetismo*. 10ª ed.. Rio de Janeiro, RJ: LTC.

Mizra D. K. (2007). *Practical Electromagnetics: from Biomedical Sciences to Wireless Communication*. Hoboken, NJ, EUA: Wiley-Interscience.

Moreira M. A. e Masini E. F. S. (1982). *Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes.

Moreira M. A. (1999). *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Editora EPU.

Noções básicas de engenharia e eletrônica (2022). Black body radiation. Recuperado de <https://riverglen-naps.com/pt/theory-of-light/848-colour-temperature-of-black-body-radiation.html>.

Otto, C., Zahn, S., Rost, F., Zahn, P., Jaros, D. & Rohm, H. (2011). Physical Methods for Cleaning and Disinfection of Surfaces. *Food Engineering Reviews*, 3, 171-188.

Pessoa, M.A.S., Silva, F. M. E. Lima Jr, M. P., Gualhardo, G., Olyntho, P. H. M. e Neves, A. A. R. (2022). A Física de um Desinfector com radiação UV-C. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/rbef/a/gcZ9sF5PQvm93WZys7467Rc/?lang=pt>.

Portal da educação (2022). Radiação como Método de Conservação de Alimentos. Recuperado de <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/nutricao/radiacao-como-metodo-de-conservacao-de-alimentos/31389>.

Rivera-Pastrana, D. M., Béjer, A. G., Martínez-Téllez, M. A., Rivera-Dompiguez, M. e González-Aguilar, G. A. (2007). Efectos Bioquímicos Postcosecha de la Irradiación UV-C en Frutas y Hortalizas. *Rev. Fitotec. Mex.*, 30(4), 361 – 372.

Tipler P. A. e Mosca G. (2009). *Física Para Cientistas e Engenheiros. Volume 2: Eletricidade e Magnetismo, Óptica*. Rio de Janeiro, RJ: LTC.

Villani C. E. P. e Nascimento S. S. (2003). A Argumentação e o Ensino de Ciências: Uma Atividade Experimental no Laboratório Didático de Física do Ensino Médio. *Investigação em Ensino de Ciências*, 8(3), 187-2093.

Wikimedia Commons, the free media repository (2022a). Onde electromagnetique.svg. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Onde_electromagnetique.svg.

Wikimedia Commons, the free media repository (2022b). Electromagnetic spectrum-es.svg. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Electromagnetic_spectrum-es.svg&oldid=643486943.