

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**ENSINO DE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA USANDO A TEMÁTICA DE
IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ELENICE SANTANA CURVELO

São Cristóvão – SE
Outubro/2024

ELENICE SANTANA CURVELO

**ENSINO DE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA USANDO A TEMÁTICA DE
IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal de Sergipe no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Dra. Laélia P. B. Campos dos Santos

São Cristóvão – SE
Outubro/2024

AGRADECIMENTOS

A Deus, que permitiu que eu pudesse realizar mais um objetivo de vida, pela saúde e determinação na superação dos obstáculos encontrados.

A minha família, em especial meu esposo José Santana Curvelo, meus filhos Ian e Ícaro, e minha mãe Judite, por todo apoio e contribuição no decorrer do processo.

Aos colegas de curso pela troca de experiências e momentos de descontração que aliviaram a carga.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a minha colega e amiga Hulda. Durante todo o processo deste curso, sua companhia foi inestimável. Agradeço por todas as conversas, risadas e momentos de desespero compartilhados. Sua presença tornou os desafios mais leves e os momentos de vitória ainda mais especiais. Sem você, esta jornada teria sido muito mais difícil e solitária. Obrigada pela parceria incrível.

Aos professores, em especial Tiago Nery e Jhon Fredy, pelos ensinamentos e sugestões, ajudando a me guiar neste trabalho, bem como os professores Edvaldo Alves e Sérgio Scarano Jr. por aproximarem a universidade da escola por meio de seus projetos Física na Escola e Carvana Luar do Sertão, respectivamente.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à professora e orientadora Laélia Campos por sua dedicação e apoio ao longo deste trabalho. Sua orientação acadêmica foi fundamental para o desenvolvimento deste projeto, e sua compreensão e incentivo emocional foram igualmente valiosos.

Durante nossas reuniões de orientação, pude aprender não apenas sobre o conteúdo específico do trabalho, mas também sobre como abordar desafios, manter a motivação e superar obstáculos. A professora Laélia sempre esteve disponível para esclarecer minhas dúvidas, fornecer feedback construtivo e compartilhar sua vasta experiência.

Além disso, quero destacar a empatia e o apoio emocional que recebi. Em momentos de incerteza ou pressão, a professora Laélia sempre soube oferecer palavras de encorajamento e confiança. Sua capacidade de entender não apenas as questões acadêmicas, mas também as pessoais, fez toda a diferença.

Portanto, é com imensa gratidão que dedico este trabalho à professora Laélia Campos, como forma de reconhecer sua influência positiva em minha jornada acadêmica e pessoal.

A Universidade Federal de Sergipe (UFS) e ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) por nos oportunizar um avanço considerável em nossa carreira através deste programa de ensino, fazendo com que melhoremos em nossa profissão por meio de uma autoavaliação crítica e nos instigando a desenvolver melhores e novas práticas de ensino.

A CAPES pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de estudos. Esse suporte foi fundamental para a realização deste trabalho, bem como para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento. Este trabalho é fruto de um esforço coletivo e de muitas mãos que se uniram para tornar este sonho uma realidade.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um Produto Educacional na forma de uma sequência didática destinada às turmas da 2ª série do Ensino Médio. A temática central é a irradiação de alimentos, e a metodologia ativa escolhida é a Instrução por Pares (IpP), proposta por Mazur, aplicada com o auxílio do aplicativo Plickers. Durante o processo de ensino, os alunos foram incentivados a participar de debates relacionados ao tema, com a aplicação da IpP ao final de cada encontro. Adicionalmente, foram utilizados um jogo interativo intitulado “Qual Faixa?”, que explora o espectro eletromagnético; um espectrógrafo caseiro, construído junto com os alunos durante a aula; e uma maquete de ampola de raios X, para explicar como esses raios são produzidos. O ensino de tópicos de Física Moderna visa enriquecer a formação dos estudantes, promovendo o desenvolvimento de competências valiosas, como a atualização científica, o estímulo ao interesse pela ciência, o aprimoramento do pensamento crítico e a preparação para o ensino superior. A escolha do tema da irradiação de alimentos se justifica por sua natureza interdisciplinar e relevância para a compreensão de conceitos e aplicações em diversas áreas, incluindo física, química, microbiologia, segurança alimentar, saúde pública, sustentabilidade e meio ambiente. A irradiação de alimentos, realizada por meio de radiação ionizante, visa aumentar a durabilidade dos produtos e reduzir os riscos de contaminação. Esta alternativa, segura e eficiente, mostra-se promissora para prolongar a vida útil dos alimentos e minimizar perdas nas colheitas. Por meio deste trabalho, espera-se que os estudantes se tornem agentes multiplicadores da importância da Física Moderna em nosso cotidiano, além de adquirirem o conhecimento de que a radiação ionizante é segura para diversos fins, desde que utilizada de maneira apropriada.

Palavras-chave: Ensino de Física, Física Moderna, Irradiação de Alimentos, Radiação Ionizante, Espectro Eletromagnético.

ABSTRACT

This work aimed to develop an Educational Product in the form of a didactic sequence designed for 2nd-year high school classes. The central theme is Food Irradiation, and the active methodology chosen is Peer Instruction (PI), proposed by Mazur, applied with the help of the Plickers app. During the teaching process, students were encouraged to participate in debates related to the topic, with the application of PI at the end of each session. Additionally, an interactive game titled "Which Band?" was used to explore the electromagnetic spectrum, along with a homemade spectrograph built with the students during the lesson, and a model of an X-ray tube to explain how these rays are produced. Teaching Modern Physics topics aims to enrich students' education by promoting the development of valuable skills, such as scientific literacy, interest in science, critical thinking, and preparation for higher education. The choice of the food irradiation theme is justified by its interdisciplinary nature and relevance for understanding concepts and applications in various fields, including physics, chemistry, microbiology, food safety, public health, sustainability, and the environment. Food irradiation, carried out using ionizing radiation, aims to increase the shelf life of products and reduce contamination risks. This safe and efficient alternative proves promising in extending the shelf life of food and minimizing harvest losses. Through this work, it is expected that students will become multipliers of the importance of Modern Physics in our daily lives and acquire the knowledge that ionizing radiation is safe for various purposes, as long as it is used appropriately.

Keywords: Teaching Physics, Modern Physics, Food Irradiation, Ionizing Radiation, Electromagnetic Spectrum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Irradiador de cobalto-60 multipropósito, localizado no IPEN.....	13
Figura 2. Onda eletromagnética, com campo magnético (B) e elétrico (E).....	14
Figura 3. Organização das ondas no espectro eletromagnético.....	16
Figura 4. Equipamento de irradiação de alimentos por raios X.....	22
Figura 5. Irradiador de alimentos com radiação gama.....	23
Figura 6. Diagrama sobre a aplicação do método Instrução por Pares (IpP).....	26
Figura 7. Espectroscópio caseiro.....	31
Figura 8. Maquete da ampola de raios X e suas partes.....	34
Figura 9. Percentuais de acertos para as questões do Teste Conceitual 1.....	43
Figura 10. Percentuais de acertos para as questões do Teste Conceitual 2.....	46
Figura 11. Percentuais de acertos para as questões do Teste Conceitual 3.....	50
Figura 12. Alunos jogando o jogo “Qual Faixa?”	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 Ensino de Física Moderna e Aplicações das Radiações Ionizantes	10
2.2 Conceitos de Física na Temática Irradiação de Alimentos	12
2.2.1 Ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético	13
2.2.2 Radiação ionizante e não ionizante	18
2.3 O Irradiador de Alimentos	20
2.4 Metodologias Ativas no Ensino de Radiação	23
3. METODOLOGIA	28
3.1 O Produto Educacional	28
3.2 Aplicação do Produto: Alunos e Escola	29
3.3 Resumo da Sequência Didática	29
3.4 Descrição da Sequência Didática	31
3.4.1 Encontro 1	31
3.4.2 Encontro 2	33
3.4.3 Encontro 3	35
3.4.4 Análise da Sequência Didática	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Análise dos resultados	38
4.1.1 Análise do Encontro 1	39
4.1.2 Análise do Encontro 2	44
4.1.3 Análise do Encontro 3	47
4.1.4 Análise da Aplicação do Jogo de Cartas	51
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
APÊNDICE 1 – APOSTILA SOBRE RADIAÇÕES	58
APÊNDICE 2 – ESPECTROSCÓPIO CASEIRO	65
APÊNDICE 3 – PRODUTO EDUCACIONAL	66
ANEXO 1 – JOGO: “QUAL FAIXA?”	100

1. INTRODUÇÃO

O ensino de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio tem aumentado recentemente e pode enriquecer a educação dos estudantes, proporcionando uma visão mais completa e atualizada da Física (Pereira & Ostermann, 2009).

Segundo Silva e colaboradores (2013), a inserção de tópicos de Física Moderna no ensino médio é de grande relevância por diversos motivos:

- ✚ Relevância Atual: A educação científica deve refletir os avanços mais recentes da física para preparar os estudantes para o mundo moderno.
- ✚ Diretrizes Oficiais: Suas justificativas estão alinhadas ao novo currículo da educação.
- ✚ Contexto Educacional: A atualização do ensino de física é necessária para abranger os objetivos contemporâneos da educação científica.
- ✚ Base Acadêmica Sólida: Pesquisas dos últimos dez anos apoiam essa inserção.

Desse modo, as razões supracitadas destacam a importância de atualizar o currículo para incluir conceitos modernos que são essenciais para a compreensão do mundo atual e para o desenvolvimento de habilidades críticas e analíticas nos estudantes. Vale destacar que a Física Moderna se refere às novas concepções desenvolvidas no campo da Física durante as três primeiras décadas do século XX. Essas concepções surgiram a partir das proposições teóricas dos físicos Albert Einstein e Max Planck. Com o advento da teoria da relatividade de Einstein e a quantização das ondas eletromagnéticas, a Física Moderna emergiu, expandindo os limites previamente estabelecidos pela Física Clássica (Dominguini, 2012).

Diferentemente da Física Clássica, a Física Moderna é capaz de explicar fenômenos em escalas muito pequenas (atômicas e subatômicas) e em altíssimas velocidades próximas à velocidade da luz. Os físicos do século XX perceberam que o conhecimento existente não era suficiente para explicar fenômenos como o efeito fotoelétrico ou a radiação de corpo negro. Assim, diversas hipóteses foram formuladas sobre a natureza da luz e da matéria, bem como sobre suas interações.

Esses tópicos são muito diferentes da física clássica que geralmente é ensinada no ensino médio, que abrange conceitos como movimento de corpos, leis

de Newton e termodinâmica. Assim sendo, a inclusão de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio pode proporcionar diversas vantagens, tais como (Ostermann & Moreira, 2000):

- ✚ Conhecimento atualizado: A Física Moderna representa os avanços científicos mais recentes, permitindo que os estudantes entendam as teorias que explicam o comportamento do mundo subatômico e a natureza do universo em escalas cósmicas.
- ✚ Estímulo ao interesse pela ciência: Ao introduzir tópicos avançados de Física no Ensino Médio, os estudantes podem desenvolver um maior interesse pela ciência, especialmente aqueles que têm uma inclinação para a Física e desejam seguir carreiras científicas.
- ✚ Desenvolvimento do pensamento crítico: O estudo da Física Moderna requer uma abordagem mais abstrata e desafiadora, o que ajuda a desenvolver o pensamento crítico e habilidades analíticas dos estudantes.
- ✚ Preparação para o ensino superior: Alunos que tiveram exposição à Física Moderna no Ensino Médio terão uma base sólida para cursos avançados de Física e ciências no nível universitário, sendo muito importante nas carreiras da área das exatas e tecnológicas.

O ensino desses tópicos pode ser feito de forma contextualizada, usando a história da descoberta de fenômenos físicos contemporâneos, trazendo exemplos e aplicações práticas para tornar os conceitos mais compreensíveis e relevantes para a vida cotidiana dos estudantes. Além disso, a utilização de recursos como experimentos, simulações computacionais e atividades práticas pode tornar o ensino da Física Moderna mais envolvente e estimulante para os alunos.

Segundo Pietrocola e Sabino, (2016 *apud* Dantas, 2021), a partir de 2002, diversos tópicos sobre Física Moderna foram implementados no ensino médio. No entanto, de acordo com Dantas (2021), alguns fatores têm impossibilitado o ensino de Física Moderna, entre eles a baixa carga horária da disciplina e a falta de ambientes propícios para o desenvolvimento dessas aulas.

No contexto do ensino da Física Moderna, a temática sobre radiação desempenha um papel fundamental, pois abrange diversos tópicos e conceitos importantes, que envolvem experimentos históricos, aplicações práticas, e proporcionam uma compreensão envolvente e contextualizada aos estudantes.

Dentre muitas temáticas que abordam as radiações, a irradiação de alimentos tem sua relevância por se tratar de um tema interdisciplinar, que envolve conceitos e aplicações de física, química, microbiologia, segurança alimentar, regulamentações governamentais, saúde pública, sustentabilidade e meio ambiente.

Segundo a Embrapa¹, a irradiação de alimentos é uma técnica que consiste em submeter os alimentos a uma dose controlada de radiação ionizante. O objetivo é aumentar a vida útil dos alimentos, inibindo ou retardando alguns processos fisiológicos (como o brotamento e o amadurecimento), além de inativar larvas e parasitas e reduzir a carga de fungos e bactérias (Silveira, 2022).

Os raios X, juntamente com outras fontes de radiação ionizante, como Cobalto-60, Césio-137 e feixe de elétrons, desempenham um papel essencial na técnica de irradiação de alimentos. Em sala de aula, exploraremos a relevância e eficácia dessas técnicas, bem como sua notável segurança. É importante destacar que a irradiação de alimentos não deixa resíduos no produto nem libera material radioativo no ambiente circundante. Todo o processo é cuidadosamente monitorado para assegurar a qualidade do alimento e preservar suas características sensoriais e valor nutricional.

Uma das vantagens mais significativas, como apontado pela Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica (SBPR), é que a irradiação pode ser aplicada mesmo após o alimento ter sido embalado. Isso reduz substancialmente o risco de recontaminação durante as etapas de transporte, armazenamento e comercialização dos produtos alimentícios. Essa flexibilidade torna a irradiação uma ferramenta valiosa para garantir a segurança e a qualidade dos alimentos que chegam à mesa dos consumidores.

Com este panorama apresentado, o objetivo deste trabalho é desenvolver um Produto Educacional sob a forma de uma Sequência Didática usando a temática de irradiação de alimentos, com a abordagem de diversos conceitos de Física Moderna. Esta sequência didática foi aplicada utilizando a metodologia ativa *Peer Instruction* ou Instrução por Pares (IpP).

¹ Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/tipos-de-processos/irradiacao>. Acesso em: 03 de agosto de 2023.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ensino de Física Moderna e Aplicações das Radiações Ionizantes

O início do século XX marcou o ponto de partida para uma série de avanços tecnológicos resultantes dos princípios da Física Moderna, impulsionando uma notável evolução e revolução no pensamento científico. No contexto brasileiro, a incorporação desses conteúdos em programas educacionais começou de maneira gradual com a introdução dos Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 2000) e, posteriormente, com as Orientações Curriculares Nacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Por conta disso, tem sido objeto de discussões e pesquisas.

Segundo Oliveira et al. (2007), pesquisas com professores de Física do ensino médio indicam que a introdução de tópicos de Física Moderna é uma vertente relevante. No entanto, o currículo muitas vezes não acompanha os avanços tecnológicos, tornando o ensino monótono e desinteressante para alunos e professores.

Garcia (2014) afirma que, embora a Física Moderna já esteja presente nos currículos oficiais do ensino médio, sua efetiva aplicação em sala de aula ainda enfrenta muitas dificuldades, entre elas a falta de formação específica dos professores para lidar com o tema.

Ostermann e Moreira (2001) destacam que os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) apontam para a necessidade de conhecimentos em Física Moderna para os alunos da educação básica, pois a inserção desses tópicos visa proporcionar contato com a pesquisa atual em Física, atrair jovens para carreiras científicas, disseminar conhecimentos científicos e tecnológicos à população e esclarecer os estudantes sobre pseudociências e fenômenos observados no cotidiano.

A partir de 2006, é possível observar uma preocupação mais acentuada em proporcionar ao estudante a compreensão dos princípios científicos e tecnológicos, surgindo, assim, alguns documentos norteadores para este fim, como os PCN+ e PCNEM (Brasil, 2006a; 2006b). Os PCN+ sugerem a inserção da temática como um dos temas estruturantes, já os PCNEM sugerem como unidade de ensino para o

alcance de tais competências Radiações e suas interações, estabelecendo algumas competências específicas, como (Brasil, 2006a):

- ✚ Identificar diferentes tipos de radiações presentes na vida cotidiana, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético (das ondas de rádio aos raios gama) e sua utilização por meio das tecnologias a elas associadas (radar, rádio, forno de micro-ondas, tomografia etc.);
- ✚ Compreender os processos de interação das radiações com meios materiais para explicar, por exemplo, os fenômenos envolvidos em fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, radiografias;
- ✚ Avaliar os efeitos biológicos e ambientais do uso de radiações não ionizantes em situações do cotidiano.

Diversos trabalhos têm discutido o uso de tópicos de Física Moderna no ensino de Física. Segundo Dominguni (2012), uma das maiores dificuldades dos professores de Física em trabalhar a Física Moderna reside na pouca ou nenhuma estruturação de objetos do conhecimento com este foco nos livros didáticos, que destinam apenas algumas poucas sessões com textos complementares.

Ao analisar diversas obras didáticas, Rosa e colaboradores (2020) identificaram que a Física Moderna estava apresentada de forma mais estruturada nos livros do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2014. No entanto, é importante notar que esses conceitos geralmente eram abordados no final dos livros, o que criava desafios em relação à sua aplicação prática devido à limitada carga horária da disciplina. Isso, por sua vez, deixava a decisão de incorporar esses tópicos ao programa de ensino como uma escolha livre para os professores.

Fiuza (2016) traz em seu trabalho uma proposta de sequência didática sobre radiações ionizantes e não ionizantes no ensino médio com o propósito de apresentar uma forma de inserção do tema nas aulas de Ciências da Natureza. No mesmo trabalho, a autora propõe algumas aulas teóricas sobre a utilização das radiações ionizantes e não ionizantes no dia a dia.

É possível encontrar diversos estudos relacionados às radiações, tanto ionizantes quanto não ionizantes, no contexto da saúde e do meio ambiente. Por exemplo, temos pesquisas como “Radiações Eletromagnéticas Ionizantes e Não

Ionizantes em Equipamentos Odontológicos” (SIMS et al., 2018), “Meio Ambiente e Radiações Ionizantes e Não Ionizantes: Uma Entrevista sobre o Conhecimento sobre a Radiação” (Neves et al., 2015), e “Os Potenciais Efeitos da Radiação Não Ionizante no Crescimento de Microrganismos” (Lima & Macedo, 2019). Todos esses estudos tiveram como objetivo principal demonstrar a aplicação dessas radiações e seus possíveis impactos, quando relevantes, sobre os seres vivos e o meio ambiente.

Essa análise revela uma notável carência de discussão sobre esse tema no âmbito educacional, especialmente no ambiente escolar. Essa lacuna nos leva a refletir sobre como esses tópicos poderiam ser incorporados às aulas de Física ou em outras disciplinas da área de Ciências da Natureza no Ensino Médio.

2.2 Conceitos de Física na Temática Irradiação de Alimentos

A irradiação de alimentos é uma técnica amplamente empregada para diversas finalidades, tais como desinfecção, prolongamento da vida útil e garantia da segurança alimentar. Trata-se de um método de conservação física, semelhante a outros métodos, como congelamento, refrigeração e pasteurização, no qual os alimentos são submetidos a uma exposição controlada a radiação ionizante.

O procedimento envolve a exposição de alimentos, que podem estar embalados ou a granel, a radiações ionizantes, como raios gama, raios X ou feixe de elétrons. Um exemplo comum de fonte de raios gama para o processamento de alimentos é o radioisótopo Cobalto-60 (^{60}Co).

De acordo com Levy e colaboradores (2020), uma grande vantagem da irradiação de alimentos é que a técnica ocorre em temperatura ambiente e pode ser realizada após o alimento já estar embalado, reduzindo bastante o risco de recontaminação durante as etapas de transporte, armazenamento e comercialização dos produtos alimentícios irradiados. Além disso, a irradiação não deixa resíduos no alimento, não torna o alimento radioativo e não deixa material radioativo no meio ambiente. A técnica é conduzida de forma a garantir a qualidade nutricional dos alimentos.

No Brasil, a técnica da irradiação de alimentos foi introduzida na década de 60 pelos Ministérios da Marinha de Guerra, do Exército e da Aeronáutica Militar, com o objetivo de proteger a saúde das pessoas em relação aos alimentos, desde

a sua obtenção até o seu consumo, em todo o território nacional (Levy et al., 2020). Desde 1974, o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) possui equipamentos para irradiação de alimentos, tanto o ^{60}Co quanto aceleradores de elétrons. Atualmente, existe um irradiador multipropósito com diversos fins, incluindo a irradiação de alimentos (Figura 1).

Figura 1. Irradiador de cobalto-60 multipropósito, localizado no IPEN.



Fonte: <https://abrafrutas.org/2022/01/uma-nova-aliada-da-preservacao-de-alimentos/>.

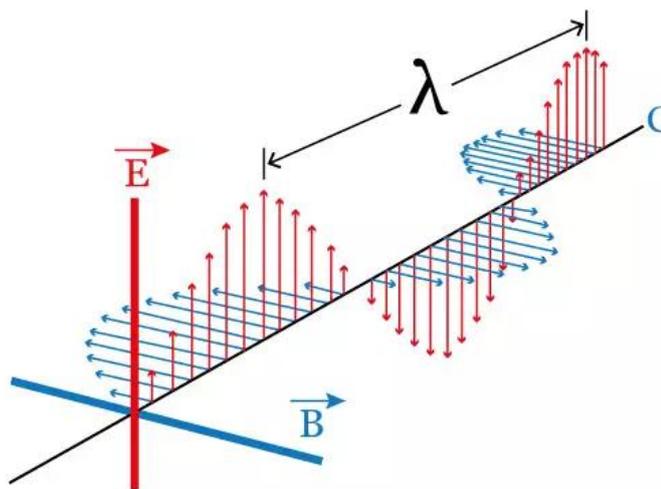
Para uma melhor compreensão do processo de irradiar alimentos, é fundamental ter conhecimento na área da física de alguns conceitos tais como: ondas eletromagnéticas, espectro eletromagnético, diversos tipos de radiação, incluindo radiação não ionizante, radiação ionizante como os raios X, raios gama, e também compreender a natureza da radioatividade.

2.2.1 Ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético

Uma onda eletromagnética é o resultado da oscilação de uma carga elétrica, que faz com que o campo elétrico associado a ela também varie, gerando um campo magnético oscilante, e vice-versa. Ou seja, as ondas eletromagnéticas são formadas

pela oscilação de campos elétrico e magnético perpendiculares entre si (Figura 2). Essas ondas podem ser classificadas levando em consideração seus comprimentos de onda e frequência, em um espectro eletromagnético.

Figura 2. Onda eletromagnética, com campo magnético (B) e elétrico (E).



Fonte: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/ondas-eletromagneticas>.

Existem vários tipos diferentes de ondas eletromagnéticas compondo o espectro, sendo representadas pelas faixas de frequência, comprimento e oscilação das ondas. Desta forma, quanto menor for o comprimento da onda, maior será a sua frequência. A seguir, temos as classificações dos tipos de ondas no espectro, de acordo com suas características (Halliday, Resnick & Walker, 2016).

Assim como uma onda mecânica, as ondas eletromagnéticas são definidas pelas seguintes grandezas:

Período de oscilação da onda (T): representa o tempo necessário para uma onda realizar uma oscilação completa. No SI, a unidade de período é o segundo (s).

Frequência (f): corresponde ao número de oscilações da onda por unidade de tempo. A onda eletromagnética produzida se propaga com a mesma frequência de oscilação das cargas elétricas que a gerou. No SI, a unidade de frequência é denominada hertz (Hz). O período e a frequência são inversos um do outro.

$$T = \frac{1}{f} \text{ ou } f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Comprimento de Onda (λ): é a distância entre valores repetidos sucessivos num padrão de onda. Pode ser representada também pela distância entre picos (máximos), vales (mínimos).

Amplitude (A): é a distância de uma crista ou um vale ao nível de equilíbrio, ou seja, é a “altura da onda”.

Velocidade de propagação da onda (v): corresponde à velocidade com que o pulso da onda se propaga no meio. Como a onda se propaga com velocidade constante, podemos definir a velocidade da onda usando a equação do movimento uniforme da cinemática.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), teremos:

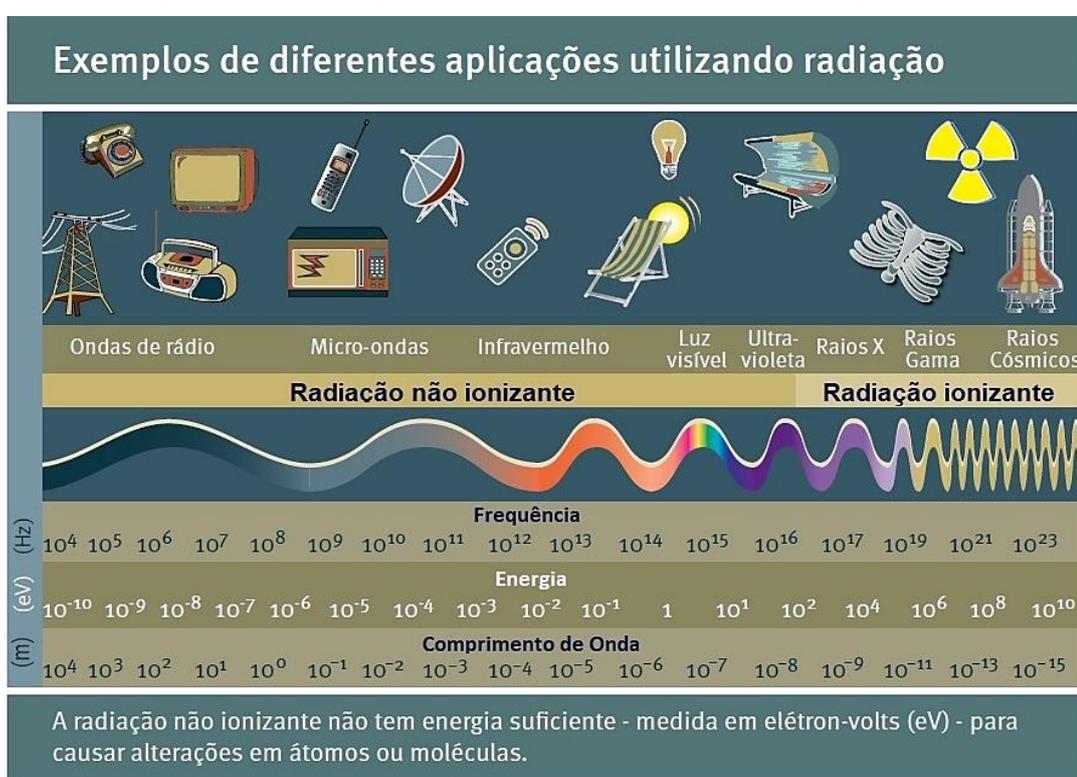
$$v = \lambda \cdot f \quad (3)$$

No século XIX, usando as propriedades dos campos elétrico e magnético conhecidas na época, Maxwell calculou a velocidade de propagação dessas ondas, obtendo o valor de 3×10^8 m/s, que ele reconheceu como sendo a velocidade da luz. Com base nessa descoberta, ele propôs que a luz visível deveria ser uma onda eletromagnética. Alguns anos depois, essa descoberta teórica de Maxwell foi comprovada experimentalmente por Heinrich R. Hertz. Assim, para uma onda eletromagnética, temos a relação:

$$c = \lambda \cdot f \quad (4)$$

O espectro eletromagnético é composto por todas as variedades de radiações existentes no universo (Figura 3). Nos extremos do espectro estão as ondas de rádio, que possuem a frequência mais baixa, e os raios gama (um dos objetos de nosso estudo). Entre essas estão: micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta e raios X (este último, também objeto de nosso estudo). Além disso, podemos citar os raios cósmicos, que são partículas altamente energéticas que podem se originar dentro e fora de nossa galáxia (Okuno, 2010).

Figura 3. Organização das ondas no espectro eletromagnético.



Fonte: Adaptado de <http://www.unscear.org/unscear/en/publications/booklet.html>.

- ✚ Ondas de rádio: Essas ondas estão localizadas na extremidade do espectro eletromagnético e têm frequências baixas e comprimentos de onda longos. Elas são produzidas pela aceleração de elétrons em uma antena de emissão e têm frequências de até 10^8 hertz (Hz).
- ✚ Micro-ondas: Essas ondas têm frequências mais altas do que as ondas de rádio, mas mais baixas do que o infravermelho (entre 10^8 e 10^{12} Hz). Elas são usadas principalmente nas áreas de telecomunicações.

- ✚ Infravermelho: Essas ondas estão próximas à luz visível, mas não podem ser vistas a olho nu. Elas são emitidas por átomos em corpos aquecidos e têm frequências entre 10^{11} e 10^{14} Hz.
- ✚ Luz visível: Essa é a luz que nossos olhos podem ver. Está localizada no centro do espectro eletromagnético e tem frequências entre $4,6 \times 10^{14}$ e $6,7 \times 10^{14}$ Hz. As frequências menores produzem luz vermelha, enquanto as mais altas produzem luz violeta.
- ✚ Raios ultravioleta: Esses raios têm comprimentos menores do que a luz visível e maiores do que os raios X. Eles têm frequências entre 10^{16} e 10^{18} Hz e são emitidos por átomos excitados. O contato direto com esses raios pode prejudicar os olhos e causar câncer de pele.
- ✚ Raios X: Esses raios têm comprimentos menores do que os raios ultravioleta e maiores do que os raios gama. Eles foram descobertos pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen e são produzidos pelo choque de elétrons em alta velocidade em um material metálico. Sua frequência está entre 10^{18} e 10^{20} Hz.
- ✚ Raios gama: Esses raios estão localizados na extremidade do espectro eletromagnético. Eles têm a maior frequência (de 10^{20} e 10^{22} Hz) e o menor comprimento de onda. São formados pela desintegração do núcleo de elementos radioativos e são responsáveis pela produção de bombas atômicas.
- ✚ Raios cósmicos: Esses raios são partículas subatômicas altamente energéticas que se originam no espaço interestelar, fora do nosso sistema solar, e que constantemente bombardeiam a Terra e outros corpos celestes. Essas partículas carregadas podem ser prótons, nêutrons, elétrons, núcleos atômicos pesados e até mesmo partículas exóticas, como antiprótons e neutrinos.

De acordo com a Figura 3, o espectro eletromagnético pode ser dividido entre radiação não ionizante e ionizante, compreendendo os raios X, raios gama e raios cósmicos.

2.2.2 Radiação ionizante e não ionizante

A radiação é a emissão de energia por uma fonte, que pode ser transmitida através do vácuo, do ar ou de meios materiais. Existem dois tipos principais de radiação: radiação corpuscular, que inclui partículas como partículas alfa e elétrons, e radiação ondulatória, que abrange ondas eletromagnéticas, como raios X e raios gama. A radiação de partículas ocorre quando um átomo instável (ou radioativo) se desintegra. Por outro lado, a radiação eletromagnética não possui massa e se propaga em forma de ondas. Ela pode variar de energia muito baixa a muito alta, abrangendo o que é conhecido como o espectro eletromagnético.

A radiação pode ser de origem natural ou artificial. Por exemplo, o corpo humano está exposto diariamente à radiação natural, proveniente do solo, gases subterrâneos e da radiação cósmica emitida pelo Sol e pelo espaço sideral. Além disso, fontes artificiais, como procedimentos médicos, televisores, telefones celulares e fornos de micro-ondas, também emitem algum tipo de radiação (Young & Freedman, 2016).

É importante ressaltar, contudo, que a radiação não é necessariamente perigosa. Seu impacto depende de fatores como intensidade, tipo e tempo de exposição. Essas características são fundamentais para compreender os riscos e as potenciais aplicações da radiação para o ser humano.

A energia de uma onda eletromagnética é quantizada, ou seja, é emitida e propagada em pequenos pacotes de energia chamados fótons. Essas partículas não possuem carga elétrica nem massa em repouso e se deslocam à velocidade da luz. Durante a interação da radiação eletromagnética com a matéria, a absorção e emissão de energia são determinadas pela energia de cada fóton, que pode ser calculada por meio da equação:

$$E = h \cdot f \quad \text{ou} \quad E = h \frac{c}{\lambda} \quad (5)$$

Onde:

h é a constante de Planck e vale $6,63 \times 10^{-34}$ J.s $\cong 4,14 \times 10^{-15}$ eV, c é a velocidade da luz, igual a 3×10^8 m/s. Fazendo a equivalência, teremos: $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}$ J.

Radiação ionizante é qualquer tipo de radiação capaz de remover um elétron de um átomo ao interagir com ele, um processo descrito como ionização, conforme apontado por Bushong (2010). Dessa forma, qualquer forma de energia que tenha a capacidade de interagir com a matéria e causar ionização é classificada como radiação ionizante.

Entre os principais tipos de radiação ionizante, destacam-se os raios X e os raios gama. Os raios gama são ondas eletromagnéticas de alta frequência e grande capacidade de penetração, geradas por processos subatômicos durante o decaimento radiativo de núcleos atômicos. Por sua vez, os raios X, também caracterizados por alta penetração, são produzidos quando elétrons acelerados colidem com um alvo metálico, resultando na emissão de radiação. Existem diferenças significativas entre raios X e raios gama:

- ✚ Origem: Os raios X são gerados fora do núcleo atômico, a partir de choques de elétrons acelerados com alvos metálicos. Em contraste, os raios gama são emitidos durante o decaimento radioativo de núcleos atômicos instáveis.
- ✚ Energia: Geralmente, os raios gama possuem energias mais altas, frequentemente superiores a 100 keV, enquanto os raios X apresentam energias que variam de aproximadamente 100 eV a 100 keV.
- ✚ Penetração: Devido à sua maior energia, os raios gama têm maior capacidade de atravessar materiais sem serem absorvidos, quando comparados aos raios X.
- ✚ Utilização: Os raios X são amplamente utilizados na medicina para a obtenção de imagens diagnósticas, como radiografias e tomografias. Já os raios gama têm aplicações diversificadas, incluindo radioterapia, esterilização de equipamentos médicos e irradiação de alimentos.

Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios X em 1895, durante estudos sobre a luminescência causada por raios catódicos em um tubo de Crookes. Por essa descoberta, ele recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1901 (Lima, Afonso & Pimentel, 2009). Os raios X são gerados no Tubo de Coolidge, onde elétrons emitidos pelo cátodo são acelerados e colidem com o ânodo, produzindo ondas eletromagnéticas.

Os raios X possuem uma ampla gama de aplicações, incluindo radiografias médicas, tratamentos contra o câncer e pesquisas científicas. Por outro lado, os raios gama são emitidos por núcleos instáveis durante processos de decaimento radioativo. Eles têm a capacidade de ionizar moléculas e átomos ao se propagarem, apresentando alto poder de penetração. Contudo, seu uso inadequado pode representar riscos significativos à saúde.

Em resumo, os raios X e os raios gama são formas de radiação ionizante, com origens e propriedades distintas, que exigem cuidados específicos para garantir sua utilização segura.

2.3 O Irradiador de Alimentos

Segundo Santana (2014), as empresas de alimentos investem em sistemas de inspeção por raios X por diversos motivos. Para certas empresas, essa tecnologia é uma ferramenta indispensável para a gestão de riscos; para outras, é uma maneira de aprimorar a qualidade dos produtos. Há também aquelas que veem nesses sistemas uma estratégia de marketing para gerenciar sua reputação.

O sistema de inspeção por raios X tem a capacidade de identificar inconsistências em uma variedade de materiais. Seja em um pacote individual ou em um fluxo contínuo de produtos, ele consegue detectar a presença de ossos, pedras, vidro e metais como ferro, aço, aço inoxidável e alumínio. Além disso, o sistema é capaz de identificar diversos tipos de plásticos, incluindo nylon, PVC e Teflon.

A capacidade de detectar partículas minúsculas varia conforme o material e a sensibilidade do sistema de inspeção por raios X. Além de corpos estranhos, o sistema também pode identificar itens quebrados ou ausentes. Ao contrário dos detectores de metais, o sistema de inspeção por raios X pode ser utilizado para detectar uma ampla gama de inconsistências em produtos embalados em latas ou envoltos em película metalizada.

É importante destacar que o sistema de inspeção por raios X não se limita à detecção de inconsistências. Ele também pode desempenhar diversas outras funções, como estimar o peso das peças e medir o teor de gordura da carne.

Como funciona a irradiação de alimentos por raios X? Um feixe de raios X é projetado através do produto sendo inspecionado. Do lado oposto do produto, um conjunto de fotodiodos capta a radiação que atravessa o produto. Esses fotodiodos geram um sinal de tensão ou corrente, que é correlacionado com a quantidade de raios X detectada. Esse sinal é então convertido em uma imagem (Figura 4).

Se o produto analisado contiver itens mais densos do que a sua composição geral, eles aparecerão como áreas escuras na imagem, indicando que menos radiação de raios X conseguiu atravessá-los. Por outro lado, vazios na composição do produto, que são menos densos que a composição geral, aparecerão como áreas mais claras, pois mais radiação conseguiu penetrar. Além disso, o sistema pode ser ajustado para rejeitar automaticamente os itens que apresentem defeitos.

De acordo com Santana (2014), a inspeção por raios X é capaz de identificar uma série de imperfeições, indo além da simples detecção de contaminação. Entre as inconsistências que podem ser detectadas estão:

- ✚ Presença de vazios ou bolhas de gás;
- ✚ Componentes fora do tamanho padrão ou ausentes no produto;
- ✚ Ausência total do produto;
- ✚ Rachaduras ou fissuras no produto ou na embalagem;
- ✚ Aglomerações em produtos em pó.

Além disso, o sistema é capaz de calcular o peso dos itens individuais, desde que estejam devidamente separados, permitindo a rejeição de embalagens que estejam abaixo do peso. Portanto, o sistema de inspeção por raios X possibilita a verificação de diversos parâmetros de qualidade, garantindo uma inspeção rápida e eficiente.

Figura 4. Equipamento de irradiação de alimentos por raios X.



Fonte: <https://foodsafetybrazil.org/anvisa-entende-que-alimento-que-passa-por-raio-x-deve-ser-rotulado-como-irradiado/rotulo-irradiado-raio-x-3/>.

Para o irradiador com raios gama, os alimentos são colocados em um recipiente de metal hermeticamente fechado contendo elementos radioativos como cobalto-60 ou césio-137, que emitem raios gama. Os raios são direcionados para o alimento que está sendo irradiado, mas o próprio alimento nunca entra em contato direto com a fonte de cobalto ou césio (Figura 5).

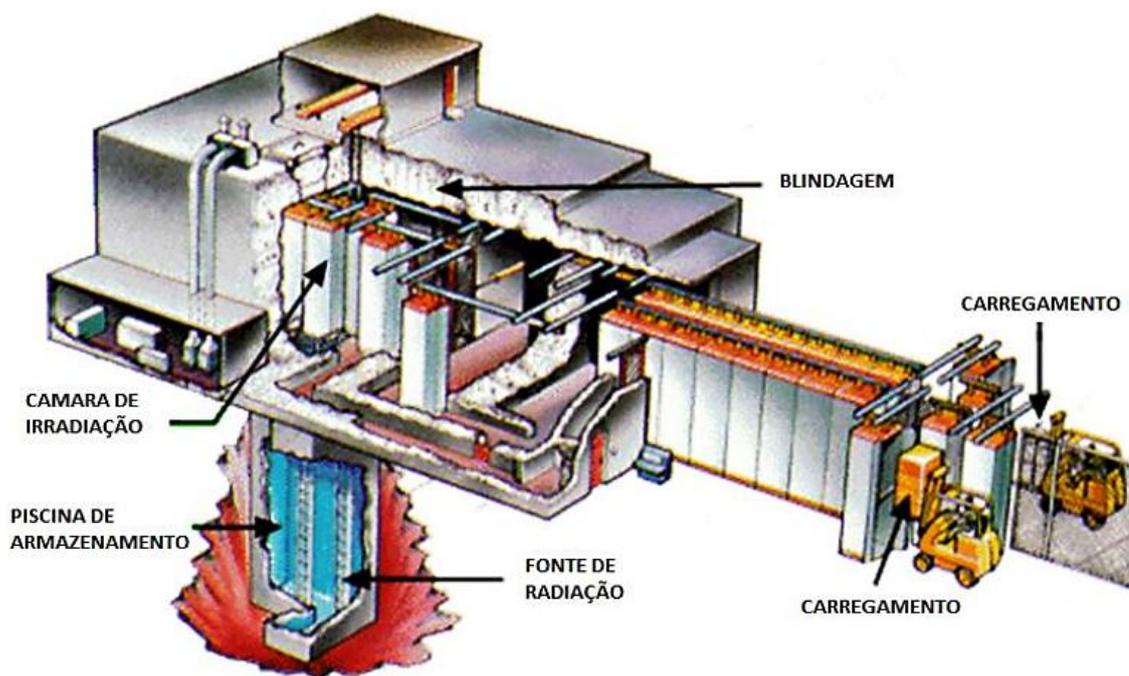
O processo de irradiação de alimentos segue os seguintes passos:

1. Preparação do alimento: O alimento é limpo e embalado em recipientes resistentes à radiação antes do processo de irradiação.
2. Exposição à radiação: O alimento embalado é então exposto à fonte de raios gama, geralmente cobalto-60 ou césio-137. A radiação penetra no alimento, matando ou inativando os organismos prejudiciais presentes.
3. Tempo de exposição: O tempo de exposição varia conforme o tipo de alimento e o objetivo da irradiação. Por exemplo, a irradiação pode ser utilizada para retardar o amadurecimento, prevenir a brotação ou eliminar patógenos.

4. Pós-processamento: Após a irradiação, o alimento não retém radioatividade e pode ser manuseado sem riscos. É então armazenado e transportado nas mesmas condições que os alimentos não irradiados.

A irradiação de alimentos é uma técnica segura e eficaz, respaldada por diversas organizações internacionais de saúde e segurança alimentar.

Figura 5. Irradiador de alimentos com radiação gama.



Fonte: <https://www.ifsudestemg.edu.br/>

2.4 Metodologias Ativas no Ensino de Radiação

As metodologias ativas de aprendizagem são estratégias pedagógicas que buscam envolver os estudantes de forma ativa e participativa no processo de construção do conhecimento. Em contraste com as abordagens tradicionais, que se baseiam na transmissão passiva de informações pelo professor, as metodologias ativas incentivam a autonomia dos alunos e os colocam como protagonistas da própria aprendizagem (Stuart, 2019).

Dentre as características essenciais das metodologias ativas, destacamos aqui:

1. Envolvimento Ativo: As metodologias ativas promovem a participação ativa dos estudantes por meio de atividades práticas, debates, resolução de problemas e colaboração em grupo.

2. *Feedback* Imediato: Os alunos recebem feedback imediato durante o processo de aprendizagem, o que ajuda a consolidar o conhecimento.
3. Professor como Mediador: O papel do professor muda de transmissor de informações para mediador, orientando os alunos e estimulando o pensamento crítico.
4. Foco em Habilidades: Além de transmitir conteúdo, as metodologias ativas desenvolvem habilidades como pensamento crítico, comunicação e trabalho em equipe.

Dentre os vários tipos de metodologias ativas, podemos citar:

1. Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP): Os alunos trabalham em grupos para resolver problemas do mundo real, aplicando conceitos aprendidos.
2. *Flipped Classroom* (Sala de Aula Invertida): Os alunos estudam o conteúdo em casa e usam o tempo em sala de aula para discussões, atividades práticas e esclarecimento de dúvidas.
3. *Peer Instruction* (Instrução entre Pares): Os alunos discutem conceitos com seus colegas e respondem a perguntas durante a aula.
4. *Design Thinking*: Abordagem que incentiva a criatividade e a resolução de problemas por meio de etapas como empatia, definição, ideação, prototipagem e teste.

Essas metodologias têm o potencial de transformar a experiência educacional, tornando-a mais dinâmica, relevante e alinhada com as necessidades dos alunos e da sociedade.

De acordo com Araujo & Mazur (2013), o ensino de física eficaz vai além da simples exposição de conteúdos e requer métodos de ensino ativos que envolvam os estudantes como agentes corresponsáveis pelo processo de aprendizagem. Dois desses métodos são o Ensino sob Medida (EsM) e a Instrução por Pares (IpP), aplicados desde a década de 90 e reconhecidos por melhorar a aprendizagem conceitual e o desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais.

A Instrução por Pares envolve a colaboração entre os estudantes, incentivando-os a discutir ideias, trabalhar em grupo e ensinar uns aos outros. Esse método

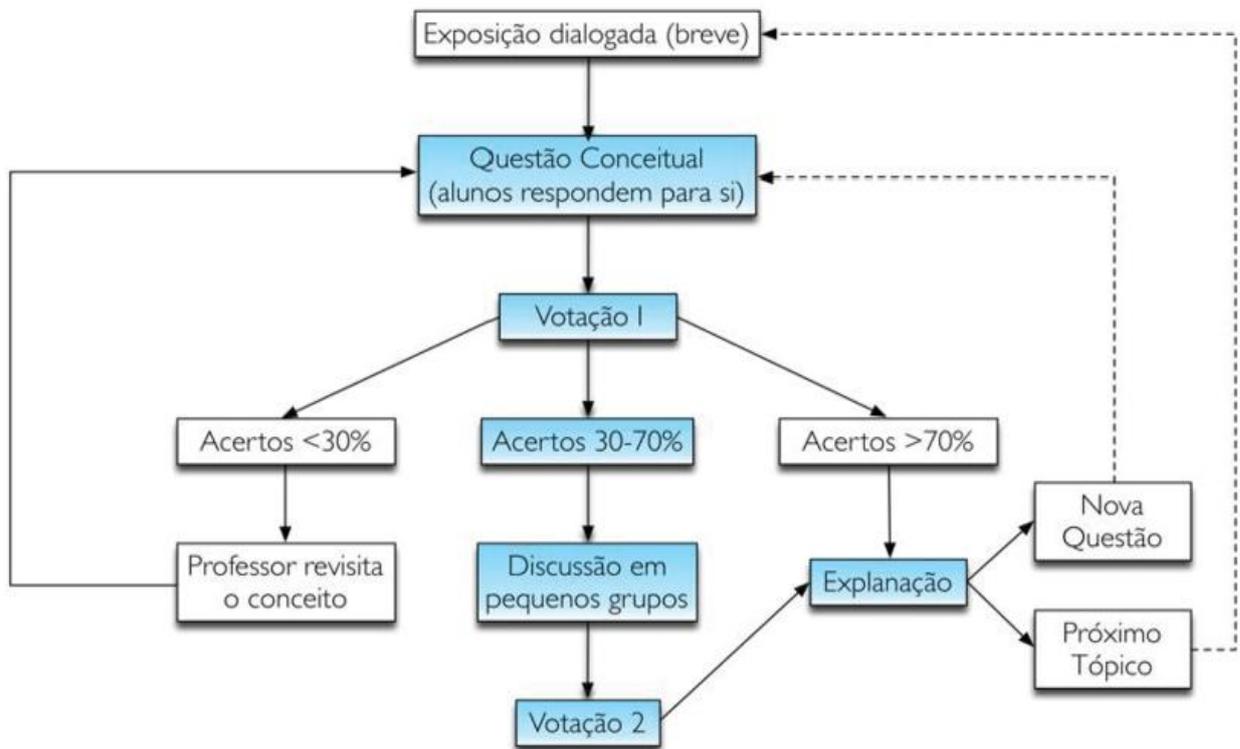
promove o diálogo entre os alunos, facilitando a troca de conhecimentos e experiências, o que pode aumentar a compreensão dos conceitos e o engajamento na aprendizagem (Mörschbacher & Padilha, 2017).

Desenvolvido pelo físico Eric Mazur (2015), a IpP é uma estratégia educacional amplamente aplicada, especialmente nas ciências e engenharias. Seu princípio básico é promover a interação entre os alunos para que aprendam uns com os outros. A estratégia geralmente envolve os seguintes passos:

1. Introdução ao tópico: O professor apresenta o conceito ou tópico a ser estudado.
2. Pergunta conceitual: O professor formula uma pergunta relacionada ao tópico, que requer raciocínio e não apenas uma resposta direta.
3. Votação individual: Cada aluno responde à pergunta individualmente, estimulando-os a pensar sobre o conceito antes da discussão em grupo.
4. Análise dos resultados: Os resultados são analisados em termos percentuais. Se menos de 30% acertaram, o professor revisita o conteúdo; se mais de 70%, é feita uma breve explanação e segue-se para a próxima questão; entre 30% e 70%, ocorre a discussão em pares.
5. Discussão em pares: Os alunos são divididos em duplas ou pequenos grupos para discutir suas respostas e argumentar seus pontos de vista.
6. Votação novamente: Após a discussão, os alunos votam novamente na mesma pergunta.
7. Discussão em sala de aula: O professor facilita uma discussão em sala de aula, onde os alunos compartilham suas respostas, raciocínios e justificativas.

Esse método não apenas engaja os alunos ativamente no processo de aprendizagem, mas também promove o desenvolvimento de habilidades como pensamento crítico, comunicação e colaboração. O diagrama a seguir auxilia na compreensão das etapas na aplicação da metodologia (Figura 6).

Figura 6. Diagrama sobre a aplicação do método Instrução por Pares (IpP).



Fonte: Araujo & Mazur (2013).

A Instrução por Pares (IpP) promove a participação ativa dos alunos e a construção conjunta do conhecimento. Segundo Valente e colaboradores (2017), há benefícios significativos associados a essa metodologia:

- ✚ Melhora o engajamento dos alunos, tornando as aulas mais dinâmicas e interessantes.
- ✚ Reforça a compreensão dos tópicos por meio da discussão entre os colegas.
- ✚ Identifica conceitos mal compreendidos, oferecendo oportunidades para esclarecimentos.
- ✚ Desenvolve habilidades de comunicação e argumentação.
- ✚ Promove a aprendizagem colaborativa, incentivando a cooperação e o trabalho em equipe.

Para maximizar esses benefícios, é crucial que o professor crie um ambiente seguro e encorajador para os alunos expressarem suas ideias e dúvidas. Além disso,

a formulação de perguntas conceituais desafiadoras é fundamental para estimular o pensamento crítico e facilitar discussões significativas (Araujo & Mazur, 2013).

A escolha adequada de questões conceituais pode aumentar a eficiência na promoção de debates enriquecedores entre os alunos, especialmente quando envolvem raciocínios relacionados a concepções alternativas e dificuldades sobre o conteúdo estudado. Além disso, a atribuição de notas com base no desempenho nos testes conceituais durante as atividades de IpP motiva os alunos a se engajarem mais ativamente nas discussões e na compreensão dos conceitos abordados.

Em resumo, ao integrar questões e atribuir notas com base no desempenho nos testes conceituais em sala de aula, a Instrução por Pares pode se tornar uma estratégia mais eficaz na promoção do aprendizado ativo e na construção colaborativa do conhecimento.

3. METODOLOGIA

3.1 O Produto Educacional

O Produto Educacional deste trabalho consta de uma Sequência Didática (SD) capaz de explorar o tema sobre irradiação de alimentos para alunos do 2º ano do Ensino Médio. O público a que se destinou o produto são alunos da zona rural do Município de Simão Dias/SE em uma turma de aproximadamente 25 estudantes.

Para alcançar esse objetivo, desenvolvemos uma SD que abordou os conceitos fundamentais relacionados a ondas eletromagnéticas, abordando tópicos de Física Moderna a partir da discussão acerca de radiações, com enfoque na radiação ionizante proveniente dos raios X e raios gama.

Além disso, a SD objetiva discutir com os alunos a respeito do funcionamento da irradiação de alimentos usando raios X ou raios gama, buscando esclarecer as vantagens, e as desvantagens da técnica, abordando a sustentabilidade para o agronegócio e o desperdício de alimentos, sem apresentar riscos para a saúde humana.

Para a construção da SD, elaboramos e usamos alguns elementos importantes, tais como: uma apostila sobre radiações (Apêndice 1) para ser entregue no início da aplicação da SD e auxiliar os alunos com os diversos conceitos físicos; aplicamos testes conceituais durante a implementação da metodologia Instrução por Pares (IpP); construímos um espectroscópio caseiro (Apêndice 2) para mostrar a decomposição da luz branca; apresentamos uma maquete de ampola de raios X (Santos, 2023) para explicar como esses raios são produzidos; e na finalização da SD, entregamos um jogo de cartas “Qual Faixa?” (Apêndice 1) para os alunos jogarem, na intenção de consolidar os conceitos estudados presentes no espectro eletromagnético.

Além disso, para a implementação da metodologia IpP, elaboramos cartões coloridos contendo alternativas de respostas (A, B, C e D), para a contagem manual dos acertos e erros, caso a escola não dispusesse de internet para o uso de aplicativos durante a aula. Contudo, baixamos o aplicativo Plickers para uso gratuito, para nos fornecer um feedback imediato das respostas dos testes conceituais.

3.2 Aplicação do Produto: Alunos e Escola

O Produto Educacional foi aplicado em uma turma de 2º ano do Ensino Médio, com aproximadamente 25 alunos, durante um Itinerário Formativo de Ciências da Natureza.

Na escola, dispomos de 6 (seis) salas, pequenas para o número de estudantes, climatizadas (uma delas com TV), com disponibilidade de duas TVs móveis e um datashow para toda a escola, uma pequena sala que funciona como biblioteca, almoxarifado para material esportivo, sala de professores, secretaria, banheiros masculino e feminino para estudantes, banheiro para funcionários que fica dentro da secretaria, sala da diretoria e uma quadra coberta.

3.3 Resumo da Sequência Didática

A Sequência Didática (SD) proposta pretende desenvolver nos alunos uma melhor compreensão dos conceitos apresentados com a participação ativa e crítica dos estudantes por meio da metodologia ativa Instrução por Pares (IpP). A SD foi aplicada em 3 encontros, com duas aulas cada encontro. Cada aula possui 50 minutos.

Propomos uma Avaliação Investigativa para uma sondagem de conhecimentos prévios e testes conceituais que foram aplicados durante a SD, em cada encontro, usando a metodologia IpP.

Para o primeiro encontro, **Encontro 1**, propomos que este seja usado para explicar a metodologia que será aplicada, assim como o despertar da temática e sua importância. Ainda neste encontro, entregamos uma Apostila (Apêndice 1) aos alunos e abordamos diversos conceitos iniciais sobre ondas e suas classificações. O encontro é finalizado com a IpP e aplicações de testes conceituais.

O **Encontro 2** tem início com uma breve exposição sobre o conceito de radiações e seus tipos, como os raios X e os raios gama e suas respectivas utilizações. O encontro é finalizado com a aplicação de testes conceituais utilizando a metodologia IpP.

No **Encontro 3**, a aula tem início com a explicação das diferenças entre raios X e raios gama. Na sequência, propomos uma exposição mais detalhada sobre a temática irradiação dos alimentos, enfatizando suas vantagens e desvantagens. Em

seguida, aplicamos o jogo “Qual Faixa?” (Anexo 1) e finalizamos a SD com alguns testes conceituais usando a IpP. O Quadro 1 abaixo mostra o resumo da SD.

Quadro 1. Resumo da sequência didática.

ENCONTROS	OBJETIVOS	Nº AULAS
<p>ENCONTRO 1</p> <p>Ondas eletromagnéticas</p> <p>Espectro eletromagnético</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apresentar a Sequência Didática, a temática Irradiação de alimentos e a metodologia Instrução por Pares; ✓ Aplicar uma Avaliação Investigativa. ✓ Retomar de forma sucinta o conceito de ondas e suas classificações; ✓ Fazer uma breve exposição sobre os modelos atômicos; ✓ Conceituar ondas eletromagnéticas e os principais tipos; ✓ Apresentar os elementos que compõem uma onda eletromagnética; ✓ Apresentar o Espectro eletromagnético, mostrando a classificação das ondas eletromagnéticas de acordo com seus comprimentos de onda e frequências; ✓ Mostrar um espectroscópio caseiro; ✓ Aplicar testes conceituais usando a metodologia IpP. 	2
<p>ENCONTRO 2</p> <p>Radiação</p> <p>Raios X</p> <p>Raios Gama</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Explorar o conceito de radiação; ✓ Diferenciar as radiações ionizantes das não ionizantes; ✓ Apresentar conceitos e aplicações de raios X; ✓ Mostrar o funcionamento de uma ampola de raios X; ✓ Apresentar conceitos e aplicações dos raios gama; ✓ Aplicar testes conceituais usando a metodologia IpP. 	2
<p>ENCONTRO 3</p> <p>Raios X e Raios Gama</p> <p>Irradiação de Alimentos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Expor as diferenças entre raios X e raios gama; ✓ Expor sobre a Irradiação de alimentos: vantagens e desvantagens; ✓ Aplicar o jogo “Qual a Faixa?” com a finalidade de recordar o que aprendeu. ✓ Aplicar testes conceituais usando a metodologia IpP. 	2

3.4 Descrição da Sequência Didática

3.4.1 Encontro 1

Neste encontro será explicada a metodologia e a sequência didática proposta.

Como o objetivo da avaliação prévia é verificar o grau de conhecimento dos alunos acerca da temática radiação, propusemos algumas questões de múltipla escolha como Avaliação Investigativa.

As questões para sondar os conhecimentos prévios dos alunos foram baseadas em alguns mitos e/ou verdades relacionados à radiação.

Ainda no Encontro 1, faremos uma abordagem sobre ondas e suas classificações, no intuito de que os alunos possam recordar o tema. Em seguida, apresentaremos de maneira mais detalhada as ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético, apresentando um espectroscópio caseiro, conforme detalhamento de construção no Anexo 2 (Figura 7).

Figura 7. Espectroscópio caseiro.



Fonte: A autora.

No final do encontro, aplicamos a metodologia de Instrução por Pares (IpP) com algumas questões conceituais que abordavam o conteúdo estudado em sala de aula. Em seguida, apresentamos a Avaliação Investigativa e o Teste Conceitual 1. Convém salientar que as questões foram submetidas à validação por colegas professores, que as avaliaram e responderam.

Avaliação Investigativa

Questão 1: Alimentos irradiados são radioativos, por isso apresentam riscos aos consumidores.

- Verdadeiro
 Falso

Questão 2: A radiação presente nos exames de raios X odontológico podem gerar severas dores de cabeça.

- Verdadeiro
 Falso

Questão 3: Morar em áreas próximas a usinas nucleares não traz riscos à saúde, pois a emissão de radiação externa é muito baixa.

- Verdadeiro
 Falso

Questão 4: A exposição à qualquer radiação causa morte instantânea à pessoa.

- Verdadeiro
 Falso

Questão 5: A radiação pode ser natural ou artificial.

- Verdadeiro
 Falso

Respostas: 1F, 2F, 3V, 4F, 5V

Teste Conceitual 1 (Instrução por Pares)

Questão 1: O que são ondas?

- A. Perturbações que se deslocam no espaço, transportando energia e matéria.
B. Perturbações que se deslocam no espaço, transportando apenas matéria.
C. Perturbações que se deslocam no espaço, transportando exclusivamente energia de um ponto a outro, sem realizar transporte de matéria.
D. Perturbações no espaço que se deslocam sem transportar matéria ou energia.

Resposta: C

A primeira questão deste estudo foi elaborada para introduzir a temática central, que é a irradiação de alimentos. Seu objetivo é abordar o conceito geral de ondas, para familiarizar os alunos com os princípios básicos que regem a propagação de energia através de meios físicos. Esse conhecimento é fundamental para entender como a irradiação funciona para preservar e proteger os alimentos.

Questão 2: A luz visível tem um comprimento de onda entre 400-700 nanômetros (nm). Sabendo-se que uma luz tem um comprimento de onda de 500 nm, qual é a sua frequência? Use a equação da velocidade da luz ($c = \lambda v$), onde c é a velocidade da luz ($3,0 \times 10^8$ m/s), λ é o comprimento de onda e v é a frequência?

- A. $1,5 \times 10^{15}$
B. 6×10^{14}
C. 8×10^{15}
D. $1,7 \times 10^{15}$

Resposta: B

Esta questão foi preparada para avaliar o conhecimento dos alunos sobre o cálculo da frequência de ondas, um conceito fundamental na física. A frequência mede quantas oscilações

completas ocorrem em um determinado intervalo de tempo, sendo crucial para entender as propriedades das ondas.

Questão 3: Qual destas tem maior energia: luz vermelha com um comprimento de onda de aproximadamente 700 nm ou luz violeta com um comprimento de onda de aproximadamente 400 nm? Use a relação entre energia e comprimento de onda ($E = hv = hc/\lambda$), onde h é a constante de Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ J.s?

- A. a luz violeta
- B. a luz vermelha
- C. ambas têm a mesma energia, pois estão dentro do espectro da luz visível

Resposta: A

Esta questão foi elaborada para avaliar a capacidade dos alunos de discernir e comparar as propriedades energéticas da luz vermelha e da luz violeta, considerando o comprimento de onda. A luz vermelha, com comprimento de onda mais longo, tem menor energia, enquanto a luz violeta, com comprimento de onda mais curto, tem maior energia. Esta relação inversa é fundamental na física quântica e essencial para entender a dualidade da luz como partícula e onda. Além disso, a questão visa aplicar os conceitos para comparar diferentes tipos de luz e obter uma visão valiosa sobre o nível de percepção dos alunos e sua capacidade de aplicar conceitos teóricos a exemplos práticos.

Questão 4: Qual das seguintes alternativas é uma diferença entre ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas?

- A. As ondas mecânicas podem se propagar no vácuo, enquanto as ondas eletromagnéticas não podem.
- B. As ondas eletromagnéticas podem se propagar no vácuo, enquanto as ondas mecânicas não podem.
- C. Ambas requerem um meio para se propagar.
- D. Ambas podem se propagar no vácuo.

Resposta: B

A questão em análise tem como objetivo avaliar a habilidade dos estudantes em discernir corretamente ondas mecânicas de ondas eletromagnéticas

Questão 5: Qual das seguintes alternativas é uma aplicação das ondas eletromagnéticas?

- A. Produção de som em alto-falante
- B. Detecção de objetos submersos (sonar)
- C. Transmissão de sinais de rádio e televisão
- D. Produção de ondas sísmicas.

Resposta: C

Esta questão visa avaliar se os estudantes têm conhecimento suficiente sobre a aplicação de algumas ondas eletromagnéticas em seu cotidiano.

3.4.2 Encontro 2

O Encontro 2 tem por objetivo conceituar radiação e diferenciar radiações ionizantes de não ionizantes. Além disso, tem o propósito de apresentar conceitos e aplicações dos raios X e dos raios gama.

Em seguida, apresentamos uma maquete de uma ampola de raios X (Figura 8) (Santos, 2023), com o intuito de explicar a formação dos raios X, além de aplicações dos raios X em diferentes áreas, como a área médica diagnóstica e a área industrial, que é o caso do irradiador de alimentos.

Figura 8. Maquete da ampola de raios X e suas partes.



Fonte: Santos (2023).

Para verificar a aprendizagem dos alunos acerca dos conteúdos apresentados, aplicamos a metodologia Instrução por Pares, por meio de um Teste Conceitual.

Teste Conceitual 2 (Instrução por Pares)

Questão 1: *O que é radiação?*

- A. A transferência de energia através do espaço na forma de ondas ou partículas.
- B. A emissão de luz por uma lâmpada.
- C. O processo de aquecimento de um objeto ao sol.
- D. A propagação do som através do ar.

Resposta: A

Esta questão visa elucidar o conceito de "radiação" e tem como objetivo principal avaliar o nível de compreensão dos estudantes em relação à definição ampla desse fenômeno.

Questão 2: *Qual das seguintes afirmações sobre a radiação ionizante é verdadeira?*

- A. A radiação ionizante não pode causar danos aos tecidos vivos.
- B. A radiação ionizante pode remover elétrons dos átomos.
- C. A radiação ionizante não pode penetrar na matéria.
- D. A radiação ionizante não é usada em aplicações médicas.

Resposta: B

A questão proposta teve como objetivo avaliar principalmente a habilidade dos estudantes em identificar corretamente uma afirmação verdadeira sobre a radiação ionizante. Essa avaliação é fundamental para compreender o nível de entendimento dos alunos sobre este conceito específico no contexto mais amplo da física nuclear.

Questão 3: *Marque a alternativa que corresponde a uma fonte de radiação natural.*

- A. Raios-X
- B. Radônio
- C. Televisores
- D. Micro-ondas

Resposta: B

A questão proposta visa se estudante consegue distinguir a radiação natural da artificial.

Questão 4: Qual das seguintes afirmações sobre a radiação não ionizante é verdadeira?

- A. A radiação não ionizante tem energia suficiente para ionizar átomos.
- B. A radiação não ionizante inclui raios-X e raios gama.
- C. A radiação não ionizante é sempre prejudicial aos seres humanos.
- D. A radiação não ionizante inclui luz visível e ondas de rádio.

Resposta: D

A questão acima visa avaliar a habilidade dos estudantes em identificar corretamente uma afirmação verdadeira sobre radiação não ionizante.

Questão 5: Das alternativas abaixo, qual se refere aos perigos da exposição à radiação ionizante?

- A. Pode causar queimaduras na pele.
- B. Pode danificar o DNA das células, levando a mutações e possivelmente ao câncer.
- C. Pode causar cegueira.
- D. Todas as opções acima.

Resposta: B

Esta questão visa avaliar se os estudantes têm conhecimento suficiente sobre os perigos da exposição à radiação ionizante. Esta avaliação é importante para medir o entendimento dos alunos sobre este conceito específico, que abrange a física nuclear e a saúde ocupacional.

3.4.3 Encontro 3

O objetivo do Encontro 3 é expor as diferenças entre raios X e raios gama; além disso, explicar a Irradiação de alimentos, bem como suas vantagens e desvantagens desta técnica para uma vida sustentável com menos desperdício de alimentos.

Em seguida, sugerimos aplicar o jogo “Qual Faixa?” com a finalidade de recordar o que aprendeu. Este jogo de cartas pode ser visto no Anexo 1. Como regra, um dos jogadores lança o dado e com base na face para cima (que define o tipo de carta a ser descartada) todos lançam as cartas. Caso lance a carta errada, terá que pegar 3 cartas do monte. Caso não possua em mãos terá que buscar no monte até encontrar. Ganha aquele que descartar todas as cartas primeiro. Finalmente, a SD é encerrada com a aplicação de testes conceituais usando a IpP.

Teste Conceitual 3 (Instrução por Pares)

Questão 1: Como a radiação ionizante é usada na irradiação de alimentos?

- A. A radiação ionizante é usada para matar bactérias e outros microrganismos nos alimentos.
- B. A radiação ionizante é usada para cozinhar os alimentos.
- C. A radiação ionizante é usada para alterar o sabor dos alimentos.
- D. A radiação ionizante é usada para tornar os alimentos radioativos.

Resposta: A

A questão proposta teve como objetivo avaliar o entendimento dos alunos sobre o uso da radiação ionizante na irradiação de alimentos, um tema de grande relevância que abrange conceitos fundamentais de física nuclear e suas aplicações práticas na preservação e segurança alimentar. Para

responder adequadamente, os alunos precisam compreender os princípios da radiação ionizante e como ela pode ser empregada para impedir o crescimento de microrganismos nos alimentos, prolongando assim sua vida útil. Além disso, é crucial que os alunos estejam cientes das implicações de segurança e dos benefícios associados a este método de conservação alimentar.

Questão 2: *Qual das seguintes afirmações sobre a segurança da irradiação de alimentos é verdadeira?*

- A. A irradiação de alimentos torna os alimentos radioativos.
- B. A irradiação de alimentos é uma prática segura e aprovada pela Organização Mundial de Saúde.
- C. A irradiação de alimentos é prejudicial e deve ser evitada.
- D. A irradiação de alimentos remove todos os nutrientes dos alimentos.

Resposta: B

A questão formulada teve como propósito avaliar a profundidade do conhecimento dos alunos sobre a segurança relacionada à irradiação de alimentos. Este tema é de suma importância, pois aborda um aspecto central na preservação e segurança alimentar.

Questão 3: *Quais são as principais fontes de radiação utilizadas na irradiação de alimentos?*

- A. Raios X e raios gama
- B. Luz ultravioleta e luz infravermelha
- C. Micro-ondas e ondas de rádio
- D. Luz visível e luz ultravioleta

Resposta: A

A questão proposta foi formulada com o objetivo de avaliar a compreensão dos alunos sobre as diferentes fontes de radiação ionizante empregadas no processo de irradiação de alimentos.

Questão 4: *Qual a principal razão para irradiar carnes de boi e de aves?*

- A. Para melhorar a cor e a textura.
- B. Para aumentar a vida útil.
- C. Para matar bactérias e outros micro-organismos.
- D. Para torná-las mais macias.

Resposta: C

A questão proposta visa avaliar a compreensão dos alunos sobre a irradiação de carnes e aves, um tema crucial na preservação de alimentos e na garantia da segurança alimentar.

Questão 5: *A irradiação de alimentos é utilizada em quais tipos de produtos alimentícios?*

- A. Carnes e aves
- B. Frutas e vegetais
- C. Especiarias e grãos
- D. Todos os itens acima

Resposta: D

A pergunta proposta foi elaborada para avaliar o entendimento dos alunos sobre a diversidade de alimentos que podem ser submetidos ao processo de irradiação.

3.4.4 Análise da Sequência Didática

Para analisar a Sequência Didática (SD), foram utilizados os percentuais de respostas dos alunos de acordo com a metodologia de Instrução por Pares (IpP), alinhados aos objetivos propostos para cada questão. Em seguida, foram elaborados

gráficos para as questões respondidas, contendo um comparativo entre os resultados percentuais para cada Teste Conceitual aplicado durante os encontros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo acadêmico, com duração de três semanas e a participação de cerca de 20 alunos, foram abordados tópicos selecionados da Física Moderna, com foco particular na temática da irradiação de alimentos. A irradiação de alimentos, por ser um tema relevante e contemporâneo, encontra-se devidamente inserida no contexto do currículo de Física Moderna, proporcionando aos alunos uma perspectiva aplicada e prática dos conceitos teóricos abordados.

A metodologia de Instrução por Pares (IpP) foi adotada como estratégia pedagógica para este estudo, sendo aplicada por meio do uso de um aplicativo denominado Plickers, o qual fornece instantaneamente o percentual de acertos em cada questão. A Instrução por Pares é reconhecida como uma abordagem interativa que engaja os alunos em um processo colaborativo de ensino e aprendizagem. Tal metodologia foi selecionada devido à sua eficácia comprovada em promover uma compreensão profunda e a retenção de conhecimento a longo prazo.

O público-alvo deste estudo consistiu nos alunos do segundo ano do Ensino Médio. Essa escolha foi fundamentada na maturidade acadêmica e no nível de preparação desses alunos para abordar tópicos avançados, como Física Moderna e irradiação de alimentos. Acredita-se que a introdução de tais tópicos complexos em uma fase precoce pode despertar o interesse dos alunos pela física e pelas ciências em geral, ao mesmo tempo em que os prepara para estudos mais avançados no futuro.

4.1 Análise dos resultados

Neste estudo, todas as atividades avaliativas foram conduzidas empregando a metodologia de Instrução por Pares (IpP), uma abordagem pedagógica participativa que promove a aprendizagem colaborativa e aprofunda a compreensão dos alunos sobre os assuntos a serem estudados.

A metodologia IpP foi avaliada com base no percentual de acertos dos alunos nas atividades avaliativas. Foi estabelecido um sistema de três níveis, conforme definido por Mazur (2015), para orientar a progressão do ensino com base nesses resultados.

Se o percentual de acertos fosse inferior a 30%, isso indicaria uma compreensão insuficiente do conteúdo relacionado à questão entre os alunos. Nesse caso, o professor retomaria a explicação do conteúdo, garantindo que todos os conceitos fossem claramente entendidos antes de prosseguir.

Caso o percentual de acertos estivesse entre 30% e 70%, isso sugeriria que alguns alunos entenderam o conteúdo, mas outros ainda tinham dificuldades. Nesse cenário, os alunos seriam organizados em pares para discutir a questão, com o objetivo de esclarecer mal-entendidos e fortalecer a compreensão do conteúdo. Após a discussão, uma nova rodada de respostas seria realizada para avaliar a eficácia dessa intervenção.

Finalmente, se o percentual de acertos fosse superior a 70%, isso indicaria que a maioria dos alunos tinha uma boa compreensão do conteúdo. Nesse caso, o ensino avançaria para a próxima pergunta, continuando o processo de aprendizagem.

Dessa forma, foi estabelecido um sistema de avaliação baseado em percentuais de acertos para orientar a progressão do ensino e maximizar a eficácia da aprendizagem. A seguir, serão descritos separadamente os encontros e as atividades que foram aplicadas aos alunos.

4.1.1 Análise do Encontro 1

Este encontro contou com a participação de dezessete alunos, demonstrando um envolvimento significativo dos estudantes no processo de aprendizagem. Para esta atividade, foram elaboradas oito questões. Entretanto, devido às restrições de tempo da aula, apenas cinco dessas questões foram efetivamente utilizadas. Essa decisão foi tomada para assegurar que cada questão recebesse a devida atenção e discussão, sem comprometer a qualidade da instrução devido a limitações de tempo.

É importante ressaltar que a elaboração de um número maior de questões do que o utilizado oferece ao docente uma valiosa flexibilidade. As questões não utilizadas podem ser empregadas em ocasiões futuras, permitindo que os tópicos sejam revisitados e reforçados. Essa prática é recomendada para docentes que planejam aplicar esta metodologia, pois permite uma boa revisão do conteúdo e reforça a retenção de conhecimento pelos alunos. A seguir apresentaremos os percentuais de acertos da 1ª rodada e da 2ª rodada da metodologia IpP.

Questão 1: *O que são ondas?*

1ª rodada – 35%

2ª rodada – 70%

A Questão 1 desempenha um papel importante como introdução à temática da irradiação de alimentos, estabelecendo uma base sólida para a construção de conceitos subsequentes. Essa abordagem pedagógica assegura que os alunos obtenham uma compreensão clara e abrangente do tópico antes de avançar para conceitos mais complexos.

Para esta questão específica, a expectativa era que os alunos atingissem um percentual de acerto superior a 35%. Essa meta foi estabelecida considerando a natureza do conteúdo da questão, que trata de um conceito básico recentemente abordado no curso. Presume-se, portanto, que o conceito esteja fresco na memória dos alunos.

A definição deste limiar de 35% reflete a importância atribuída a este conceito fundamental e a expectativa de que os alunos talvez não tenham adquirido uma compreensão sólida do mesmo. Segundo Murgi (2016, p. 93), muitos estudantes conseguem exemplificar aplicações das ondas, mas apresentam dificuldades em entender o conceito físico em si. Portanto, a superação deste limiar pelos alunos após a discussão por pares foi um indicativo positivo de sua compreensão. Caso contrário, seria necessário revisar o conceito para garantir uma compreensão adequada antes de prosseguir com tópicos mais avançados.

Questão 2: *A luz visível tem um comprimento de onda entre 400-700 nanômetros (nm). Sabendo-se que uma luz tem um comprimento de onda de 500 nm, qual é a sua frequência? Use a equação da velocidade da luz ($c = \lambda v$), onde c é a velocidade da luz ($3,0 \times 10^8$ m/s), λ é o comprimento de onda e v é a frequência.*

1ª rodada – 20% (retomada)

2ª rodada – 55% (repetida, levando em consideração outro comprimento de onda)

Durante a avaliação da Questão 2, observou-se que o número inicial de acertos para esta questão foi baixo, ficando abaixo do limiar de 30%. Esse resultado indicou a necessidade de revisar o conceito, levando a docente a retomar a explicação do conteúdo, mas principalmente de revisar o conteúdo de notação científica, pois foi observado que a dificuldade em resolver a questão estava na representação n (nano)

e cálculo matemático com potência. Esta intervenção pedagógica é crucial para garantir que nenhum aluno fique para trás e que todos tenham uma compreensão sólida dos conceitos fundamentais antes de avançar para tópicos mais complexos. Conforme destacado por Costa (2023), as turmas, sendo heterogêneas, apresentam uma diversidade de ritmos de aprendizagem, vinculados às condições específicas de cada indivíduo.

Após a revisão do conceito, uma segunda rodada de respostas foi realizada. Embora o resultado desta rodada (55% de acertos) ainda não tenha atingido o nível desejado, representou um aumento considerável em relação à primeira rodada. Este progresso ressalta a necessidade frequente de revisão e reforço do conteúdo, além de enfatizar a importância de adaptar a instrução às necessidades dos alunos, objetivando a aprendizagem.

Questão 3: *Qual destas tem maior energia: luz vermelha com um comprimento de onda de aproximadamente 700 nm ou luz violeta com um comprimento de onda de aproximadamente 400 nm? Use a relação entre energia e comprimento de onda ($E = hv = hc/\lambda$), onde h é a constante de Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ J.s.*

1ª rodada – 40%

2ª rodada – 60%

A análise dos resultados das duas rodadas de respostas da Questão 3 revela informações valiosas sobre a compreensão dos alunos em relação ao conceito de comparação das propriedades energéticas da luz vermelha e da luz violeta.

Na primeira rodada, o percentual de acertos foi de 40%, sugerindo que uma parte significativa dos alunos tinha uma compreensão inicial do conceito, mas havia espaço para melhorias. Menos da metade dos alunos responderam corretamente, indicando que o conceito pode não ter sido totalmente assimilado por todos.

Na segunda rodada, após a discussão por pares, o percentual de acertos aumentou para 60%. Este aumento de 20 pontos percentuais demonstra a eficácia da revisão e da discussão entre pares na melhoria da compreensão dos alunos. Isso ressalta a importância do compartilhamento de saberes e experiências, como defende Costa (2023), enriquecendo o contexto da sala de aula.

Em resumo, os resultados das duas rodadas destacam a relevância das revisões e discussões interativas no processo de aprendizagem, corroborando com

Costa (2023), e sublinham a necessidade de estratégias de ensino adaptativas que possam ser ajustadas com base no desempenho dos alunos para garantir a compreensão completa dos conceitos, como a Instrução por Pares (IpP).

Questão 4: *Assinale a alternativa que corresponde a uma diferença entre ondas mecânicas e eletromagnéticas?*

1ª rodada – 40%

2ª rodada – 65%

Esta questão avalia não apenas o conhecimento teórico dos alunos, mas também sua capacidade de identificar diferenças fundamentais entre ondas mecânicas e eletromagnéticas. A análise das respostas revelará a compreensão desses conceitos importantes.

Observou-se uma progressão notável entre duas rodadas de avaliação. Na primeira, a taxa de acertos foi de 40%, sugerindo uma compreensão inicial e limitada. Na segunda, a taxa aumentou para 65%, um incremento de 25%. Este aumento indica uma melhora substancial na compreensão do tópico após a discussão por pares, conforme corroborado por Mörschbacher & Padilha (2017).

Questão 5: *Marque a alternativa que representa uma aplicação das ondas eletromagnéticas.*

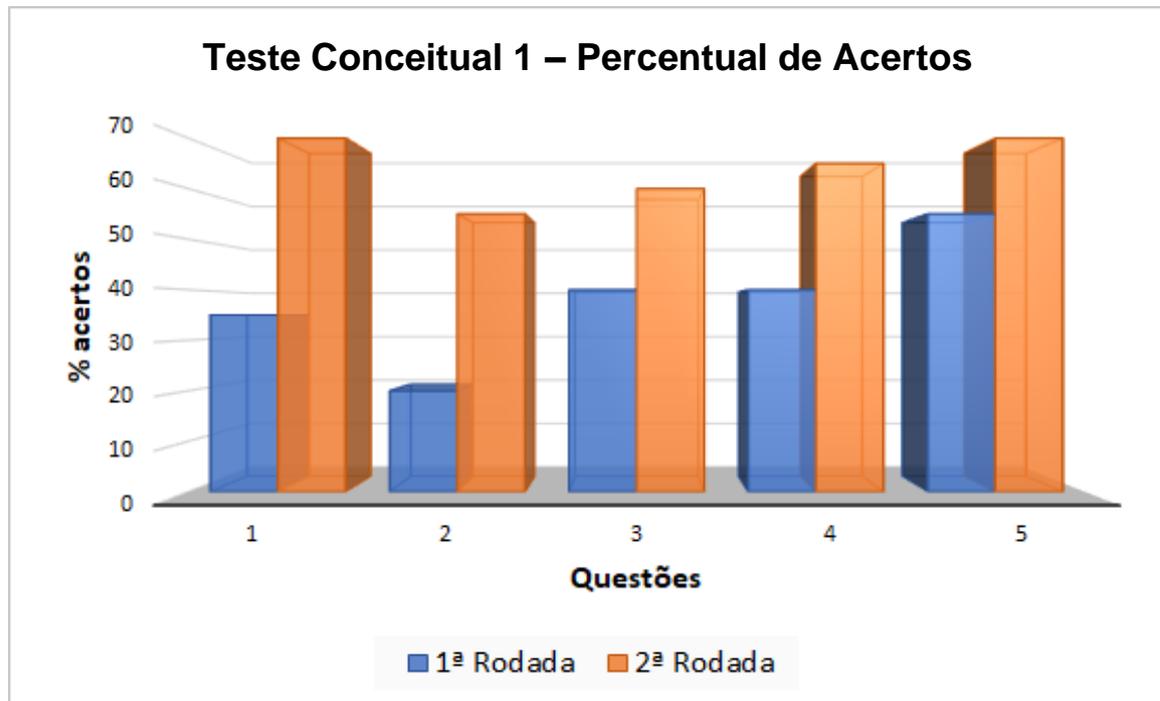
1ª rodada – 55%

2ª rodada – 70%

A análise dos resultados obtidos através da discussão por pares revela um progresso notável na compreensão dos alunos sobre a aplicação das ondas eletromagnéticas, refletindo também um aumento no interesse pelo processo de ensino e aprendizagem, conforme observado por Mörschbacher & Padilha (2017). Na primeira rodada, a taxa de acertos foi de 55%, indicando uma compreensão inicial adequada. Na segunda rodada, a taxa aumentou para 70%, sugerindo que a discussão por pares foi eficaz na melhoria da compreensão dos alunos.

A seguir, apresentamos um gráfico (Figura 9) contendo os percentuais de acertos de todas as questões referentes ao Teste Conceitual 1.

Figura 9. Percentuais de acertos para as questões do Teste Conceitual 1.



Fonte: A autora.

A obtenção do percentual de acertos é essencial para avaliar o progresso dos alunos e identificar áreas que necessitam de revisão ou reforço. Como ilustrado na Figura 9, houve um aumento na taxa de acertos em todas as questões na segunda rodada, destacando a eficácia da metodologia de ensino aplicada.

O gráfico não apenas mostra o progresso dos alunos, mas também reforça a importância de metodologias interativas, como a Instrução por Pares (IpP). A implementação contínua dessas estratégias pedagógicas pode aumentar a taxa de acertos e a compreensão dos alunos.

O aumento na taxa de acertos sugere que a metodologia foi bem-sucedida em melhorar a compreensão dos alunos, corroborando a eficácia da instrução por pares proposta por Mazur (2015). Esta abordagem contribuiu significativamente para aprimorar a compreensão dos estudantes sobre o conteúdo discutido, demonstrando ser uma ferramenta valiosa para o processo de ensino-aprendizagem.

4.1.2 Análise do Encontro 2

Neste encontro, vinte alunos participaram. Foram elaboradas oito questões para a atividade, porém, devido ao tempo limitado da aula, apenas cinco foram utilizadas. A elaboração de um número maior de questões oferece flexibilidade ao docente, permitindo que as não utilizadas sejam aproveitadas em futuras revisões.

Após avaliar o entendimento dos alunos sobre o conceito de radiação, o objetivo foi avançar para uma discussão mais específica sobre a irradiação de alimentos. Este aprofundamento temático visa proporcionar uma compreensão contextualizada da radiação, especialmente em sua aplicação na segurança e preservação alimentar. Espera-se que os alunos desenvolvam uma visão crítica e informada sobre o uso da radiação na indústria alimentícia. A seguir mostraremos os percentuais de acertos da 1ª rodada e da 2ª rodada da metodologia IpP.

Questão 1: *O que é radiação?*

1ª rodada – 31%

2ª rodada – 50%

Na primeira rodada, a taxa de acertos foi de 31%, revelando algum conhecimento prévio sobre o conceito de radiação, porém insuficiente para nossa proposta. Na segunda rodada, os acertos aumentaram para 50%, indicando que os alunos absorveram mais conhecimento após a discussão por pares, demonstrando a eficácia da metodologia. Ainda assim, metade dos alunos não alcançou a compreensão adequada do tema, sugerindo a necessidade de revisões adicionais ou abordagens alternativas de ensino. A análise contínua desses resultados será crucial para orientar futuros esforços educacionais.

Questão 2: *Qual das seguintes afirmações sobre a radiação ionizante é verdadeira?*

1ª rodada – 65%

2ª rodada – 95%

Na primeira rodada de avaliação, 65% dos alunos identificaram corretamente uma afirmação verdadeira sobre radiação ionizante, indicando uma compreensão básica do conceito. Após uma discussão em pares, houve um aumento notável na taxa de acertos para 95% na segunda rodada.

Este crescimento substancial sugere que a discussão em pares foi uma estratégia eficaz para melhorar a compreensão dos alunos sobre o tema. O resultado também reflete a capacidade dos alunos de aprender mutuamente, destacando o valor do aprendizado colaborativo e da troca de ideias no ensino de conceitos científicos complexos como a radiação ionizante.

Questão 3: *Marque a alternativa que corresponde a uma fonte de radiação natural.*

1ª rodada – 75%

Nesta questão, os alunos responderam corretamente com um percentual de acertos de 75%, mostrando que sabiam diferenciar entre radiação natural e radiação artificial. Portanto, não foi necessária a realização de uma segunda rodada na metodologia IpP.

Questão 4: *Qual das seguintes afirmações sobre a radiação não ionizante é verdadeira?*

1ª rodada – 40%

2ª rodada – 80%

Na primeira rodada de avaliação, 40% dos alunos identificaram corretamente uma afirmação verdadeira sobre radiação não ionizante, indicando um entendimento básico do tema por uma parcela considerável dos alunos. Após uma sessão de discussão em pares, houve um aumento expressivo na taxa de acertos. Na segunda rodada, 80% dos alunos conseguiram identificar corretamente a afirmação verdadeira sobre radiação não ionizante. Este resultado demonstra a eficácia da metodologia apresentada por Costa (2023), que foca em superar dificuldades individuais através do diálogo entre colegas.

O significativo aumento na taxa de acertos sugere que a discussão em pares foi uma boa estratégia para aprimorar a compreensão dos alunos sobre radiação não ionizante. Isso indica que os alunos foram beneficiados mutuamente, enriquecendo seu entendimento por meio do intercâmbio de ideias e discussões colaborativas.

Questão 5: *Quais são alguns dos perigos da exposição à radiação ionizante?*

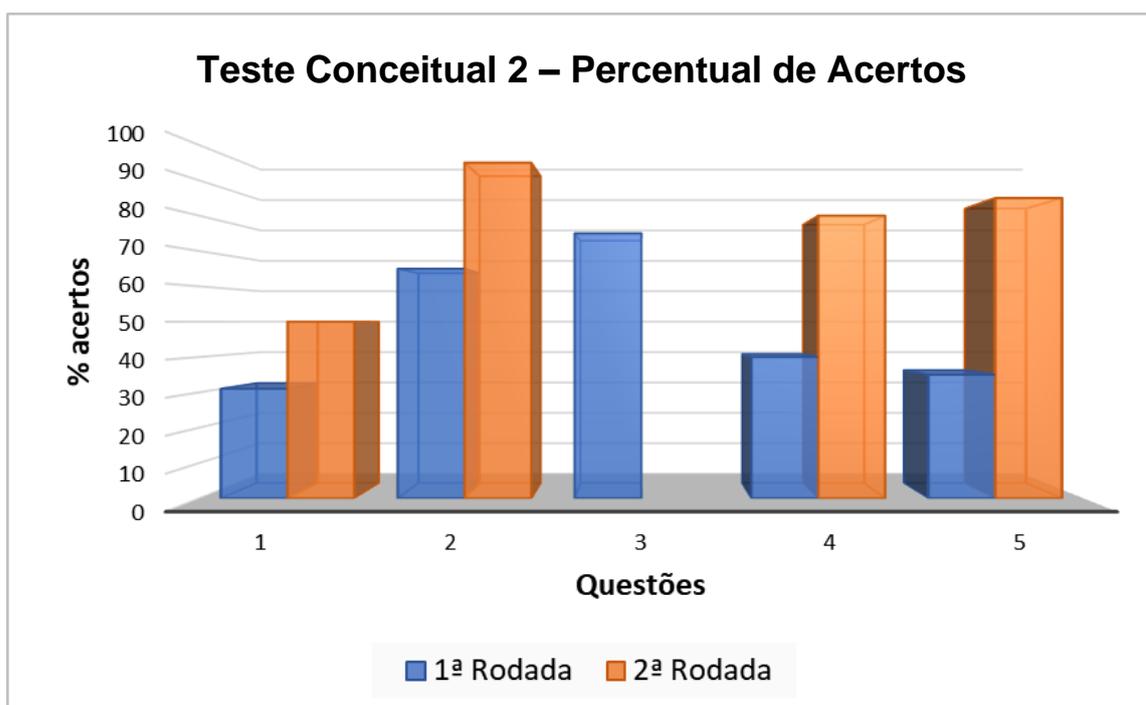
1ª rodada – 35%

2ª rodada – 85%

Na primeira rodada de avaliação, apenas 35% dos alunos responderam corretamente à questão. Este resultado inicial sugere que alguns alunos já possuem algum entendimento sobre os perigos da exposição à radiação ionizante, enquanto a maioria ainda possui dúvidas significativas. No entanto, após a implementação da metodologia IpP, houve um aumento substancial na taxa de acertos. Na segunda rodada, 85% dos alunos responderam corretamente à questão.

Este incremento na taxa de acertos indica que a discussão em pares foi uma estratégia eficaz para melhorar a compreensão dos alunos sobre os perigos da radiação ionizante. Além disso, sugere que os alunos foram capazes de aprender uns com os outros e aprimorar seu entendimento através do diálogo e da troca de ideias. Isso reforça a importância do aprendizado colaborativo e da discussão em pares como ferramentas pedagógicas no ensino de conceitos científicos complexos, como os perigos da radiação ionizante. O gráfico (Figura 10) a seguir mostra os percentuais de acertos para o Teste Conceitual do Encontro 2.

Figura 10. Percentuais de acertos para as questões do Teste Conceitual 2.



Fonte: A autora.

Com base na Figura 10, os resultados revelaram uma melhoria significativa na compreensão dos alunos após a implementação da metodologia de Instrução pelos Pares (IpP), uma abordagem que incentiva o compartilhamento e o debate de ideias entre os alunos. Isso foi observado pelo aumento nas taxas de acertos nas avaliações após as discussões em pares.

No entanto, os resultados também indicaram que há espaço para melhorias, pois uma parte dos alunos ainda não alcançou uma compreensão completa dos temas discutidos. Isso ressalta a necessidade de revisões adicionais ou a adoção de abordagens de ensino alternativas para auxiliar esses alunos na compreensão dos conceitos relacionados à radiação.

4.1.3 Análise do Encontro 3

A atividade pedagógica foi concluída com êxito conforme planejado e executado. Este encontro contou com a participação de 18 alunos engajados, destacando-se pelo comprometimento com o processo de aprendizagem. A metodologia de Instrução por Pares (IpP) mostrou seu potencial interativo na construção do conhecimento, conforme discutido por Costa (2023) e Mörschbacher e Padilha (2017).

Foram elaboradas sete questões, das quais cinco foram selecionadas para avaliar principalmente o entendimento dos alunos sobre um tema específico: a irradiação de alimentos.

Questão 1: *Como a radiação ionizante é usada na irradiação de alimentos?*

1ª rodada – 81%

Registramos que uma parcela substancial dos alunos, exatamente 81%, demonstrou um entendimento preciso e adequado do assunto, como indicado pelas respostas corretas à questão. Entretanto, nosso compromisso persiste em assegurar que todos os alunos alcancem um nível elevado de compreensão deste relevante tópico.

Questão 2: *Qual das seguintes afirmações sobre a segurança da irradiação de alimentos é verdadeira?*

1ª rodada – 88%

Responder corretamente a esta questão requer uma compreensão clara dos princípios científicos que regem a irradiação de alimentos, bem como uma apreciação das normas de segurança associadas a este método de conservação. Além disso, os alunos devem ser capazes de distinguir entre afirmações verdadeiras e falsas, uma habilidade crucial tanto no ambiente acadêmico quanto além dele.

É encorajador observar que uma parcela significativa dos alunos, especificamente 88%, respondeu corretamente à pergunta. Este resultado sugere evidências de aprendizagem pela maioria dos alunos sobre a segurança da irradiação de alimentos.

Questão 3: *Quais são as principais fontes de radiação utilizadas na irradiação de alimentos?*

1ª rodada – 69%

2ª rodada – 95%

Para acertar esta questão, os alunos precisam ter um entendimento sólido das várias fontes de radiação ionizante, como os raios X e raios gama, e de como essas fontes são utilizadas para inibir o crescimento de microrganismos em alimentos, prolongando assim sua vida útil. Além disso, os alunos devem estar cientes das implicações de segurança e dos benefícios associados a este método de conservação de alimentos.

Na primeira rodada de respostas, 69% dos alunos demonstraram um entendimento adequado do assunto, como evidenciado por suas respostas corretas à pergunta. Este resultado, embora encorajador, indicou a necessidade de reforçar o ensino deste tópico. Na segunda rodada, após revisão e reforço do material didático, observou-se uma melhoria significativa, com 95% dos alunos respondendo de maneira precisa à pergunta. Este resultado corrobora com a eficácia da discussão por pares entre os alunos (Araujo & Mazur, 2013).

Questão 4: *Qual a principal razão para irradiar carnes de boi e de aves?*

1ª rodada – 31%

2ª rodada – 100%

Na primeira rodada de respostas, apenas 31% dos alunos demonstraram compreensão correta do tema, conforme suas respostas precisas à pergunta. Este resultado, embora abaixo das expectativas, destacou a necessidade de reforçar o ensino deste tópico através da IpP.

Na segunda rodada, após uma discussão em pares, houve uma melhoria significativa, com 100% dos alunos respondendo corretamente à pergunta. Este resultado reflete o êxito de nossas estratégias educacionais e o comprometimento dos alunos com seu próprio aprendizado.

Questão 5: *A irradiação de alimentos é utilizada em quais tipos de produtos alimentícios?*

1ª rodada – 59%

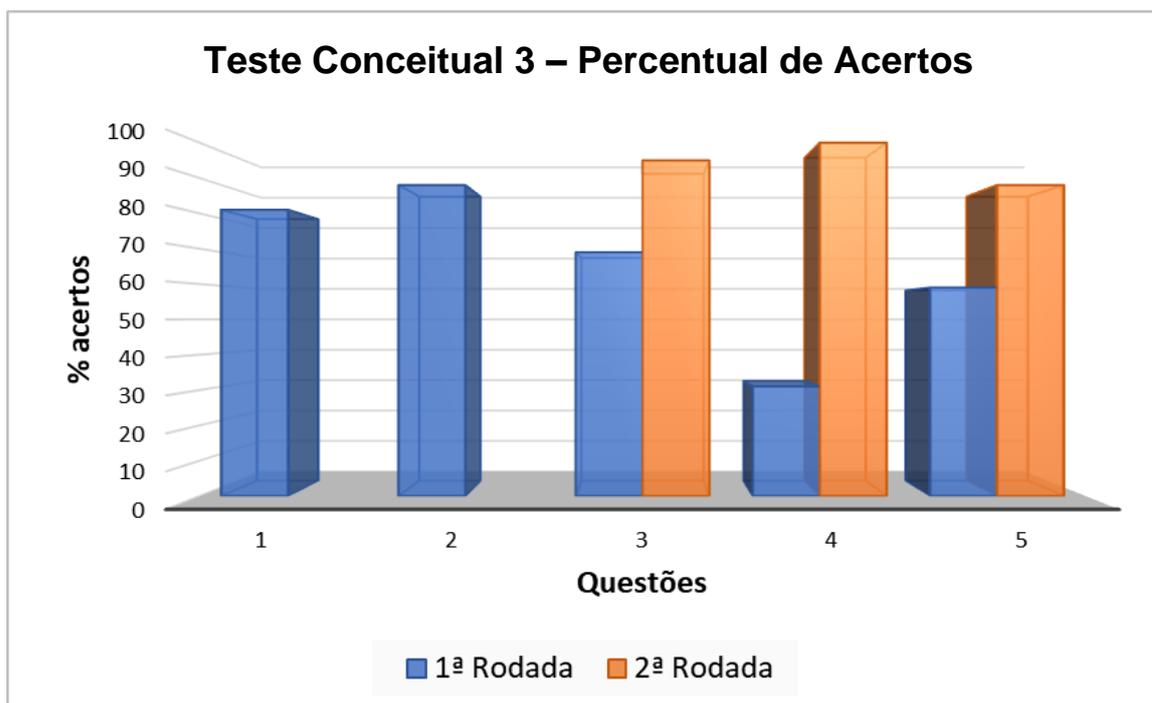
2ª rodada – 88%

Na primeira rodada de respostas, 59% dos alunos demonstraram um entendimento correto do assunto, conforme evidenciado por suas respostas precisas à pergunta. Este resultado, embora não tenha alcançado o esperado, indicou a necessidade de reforçar o aprendizado. Na segunda rodada, após uma discussão em pares, observou-se uma melhoria significativa, com 88% dos alunos respondendo corretamente à pergunta.

Essa atividade teve como objetivo não apenas verificar o aprendizado dos alunos, mas também promover a reflexão crítica sobre as implicações e benefícios da irradiação de alimentos no contexto atual. A implementação desta técnica é respaldada por estudos que destacam sua eficácia no processo de ensino-aprendizagem, proporcionando uma oportunidade para os alunos revisarem e refletirem sobre os conhecimentos adquiridos.

Portanto, essa atividade foi uma oportunidade valiosa para os alunos demonstrarem sua compreensão e aplicação dos conceitos aprendidos, além de enfatizar a importância do engajamento ativo no processo educacional, corroborando com Azevedo et al. (2022), conforme ilustrado no gráfico da Figura 11 a seguir.

Figura 11. Percentuais de acertos para as questões do Teste Conceitual 3.



Fonte: A autora.

Os resultados das respostas dos alunos, conforme observado no gráfico acima, revelaram uma variação significativa. Em algumas questões, a maioria dos alunos demonstrou um entendimento sólido desde o início, enquanto em outras, foi necessária uma discussão por pares e revisão do material didático para melhorar a compreensão. Globalmente, os resultados indicam que as estratégias de ensino foram eficazes e que os alunos estão engajados em seu aprendizado. Contudo, também ressaltam a necessidade contínua de reforçar o ensino para assegurar que todos alcancem um alto nível de compreensão deste importante tópico.

A metodologia IpP (Instrução por Pares), conhecida por sua natureza altamente interativa, promoveu a colaboração entre os alunos, incentivando discussões e debates de conceitos, o que pode levar a uma compreensão mais profunda do material do curso.

O aumento notável na taxa de acertos em todas as atividades é uma clara indicação de que a implementação dessa metodologia interativa resultou em melhorias no desempenho dos alunos. Isso sugere que a interação e a discussão entre pares são ferramentas valiosas para aprimorar a compreensão dos alunos sobre os conceitos apresentados.

4.1.4 Análise da Aplicação do Jogo de Cartas

Segundo Castanho (2013), o jogo desempenha um papel distinto no contexto educacional em comparação com seu uso na vida social. Na escola, o jogo não se limita a ser uma atividade recreativa, mas sim parte de uma sequência pedagógica planejada com intencionalidade. Dessa forma, ele transcende sua função lúdica, tornando-se uma ferramenta estratégica no processo educativo.

Nesse contexto, o jogo de cartas “Qual a Faixa?”, proposto, tem como objetivo aprofundar as teorias discutidas ao longo das aulas. O objetivo principal é eliminar as cartas nas mãos dos jogadores, categorizadas em “Ionizante”, “Não ionizante”, “Visível”, “Frequência abaixo do visível” e “Frequência acima do visível”. A categoria jogada em cada rodada é determinada pelo lançamento de um dado, que pode indicar qualquer uma das opções listadas, utilizando todas as cartas representativas do espectro eletromagnético.

Durante a execução do jogo, observou-se que alguns alunos já possuíam a capacidade de identificar a maioria dos exemplos e aplicações das ondas eletromagnéticas, o que enriqueceu a dinâmica do jogo. Os próprios alunos estabeleceram uma regra específica para lidar com erros: o jogador que jogasse uma carta inadequada deveria recolher todas as cartas na mesa e ficar uma rodada sem jogar. Essa iniciativa demonstrou o engajamento dos alunos no processo de aprendizagem e confirmou a eficácia do jogo como ferramenta pedagógica. A Figura 12 a seguir mostra os alunos jogando as cartas durante a aplicação do jogo.

Figura 12. Alunos jogando o jogo “Qual Faixa?”



Fonte: A autora.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação comercial da tecnologia de irradiação de alimentos no Brasil tem apresentado um crescimento gradual e lento, em grande parte devido a concepções errôneas de uma ampla parcela dos consumidores brasileiros. Muitos têm uma visão preconcebida, originada da imagem negativa associada à energia nuclear. Assim, podemos afirmar que a educação desempenha um papel crucial na aceitação de novas tecnologias pelos consumidores, especialmente no caso dos alimentos irradiados.

Nesse sentido, a abordagem desses conceitos em sala de aula não só atende a uma das recomendações dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) sobre Física Moderna, que enfatiza a necessidade de discutir as diversas aplicações da energia nuclear, incluindo seu uso na agricultura e, por consequência, a irradiação de alimentos, como também funciona como uma porta de entrada para a compreensão de conceitos da Física que muitas vezes são alvo de preconceito. No entanto, o tema específico da irradiação de alimentos não é explicitamente mencionado, cabendo ao docente decidir como abordar essa área.

Portanto, a relevância da participação ativa do estudante destaca a importância de contextualizar os saberes científicos, permitindo que o aluno compreenda as finalidades do conhecimento. Consequentemente, acreditamos que uma abordagem pedagógica das ciências, orientada para a realidade cotidiana, é um meio eficaz de transformar o aluno em um agente ativo no processo educacional, bem como um multiplicador de informações científicas.

Com este trabalho, esperamos que os alunos compreendam que a utilização da radiação ionizante visa assegurar a segurança dos alimentos, sendo uma alternativa eficiente e segura ao uso de pesticidas agrícolas, além de se mostrar promissora para prolongar a vida útil dos alimentos e minimizar as perdas nas colheitas. Dessa forma, o estudante se tornará um agente multiplicador da importância da Física Moderna em nosso cotidiano, além de ajudar a desmistificar a ideia de que essa área da Física seja responsável apenas por grandes danos à humanidade.

Além disso, as metodologias ativas, que promovem o envolvimento ativo dos estudantes por meio de atividades práticas, debates, resolução de problemas e colaboração em grupo, desempenham um papel fundamental nesse processo

educativo. Essas metodologias permitem que os alunos recebam feedback imediato durante o processo de aprendizagem, o que ajuda a consolidar o conhecimento de forma mais eficaz.

Pudemos confirmar na prática todos esses benefícios, observando que a aplicação dessas metodologias realmente melhora o engajamento dos alunos, tornando as aulas mais dinâmicas e interessantes. Ao promover discussões entre os colegas, a compreensão dos tópicos foi reforçada, e conceitos mal compreendidos foram prontamente identificados e esclarecidos. Além disso, essas práticas efetivamente desenvolveram habilidades de comunicação e argumentação, promovendo a aprendizagem colaborativa e incentivando a cooperação e o trabalho em equipe.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino aprendizagem de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 30, n. 2, p. 362-384, 2013.

AZEVEDO, K. L. F., AZEVEDO FILHO, F. M.; ARAUJO, K. M. F. A. Instrução entre pares como método de ensino superior na área da saúde: uma revisão integrativa. *Revista Brasileira de Educação Médica*, v. 46, n. 3, e115. 2022. <https://doi.org/10.1590/1981-5271v46.3-20220088>.

BRASIL, Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2000.

BRASIL, Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006a.

BRASIL, Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias / Secretaria de Educação Básica. – Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006b. (Orientações curriculares para o ensino médio; volume 2).

BUSHONG, S. C. Ciência radiológica para tecnólogos: física, biologia e proteção. [tradução Sandro Martins Dolghi et al.] Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CASTANHO, A. F. A. O jogo e seu lugar na aprendizagem da Matemática. *Revista Nova Escola*. 2013. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/1784/o-jogo-e-seu-lugar-na-aprendizagem-da-matematica>>. Acesso em: 15 de março de 2024.

COSTA, R. L. S. Neurociência e aprendizagem. *Revista Brasileira de Educação*, v. 28, e280010, 2023.

DANTAS, C. S. G. Metodologias de ensino de física moderna e contemporânea voltadas para o ensino médio: incoerências quanto a aplicabilidade. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 9, n. 12, p. 103-114, 2021.

DOMINGUINI, L. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 2, 2502, 2012.

FIUZA, G. S. Radiações ionizantes e radiações não ionizantes no ensino médio. 105 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Instituto De Estatística, Matemática e Física, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica. 10 ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC-GEN, 2016.

LEVY, D. et al. Irradiação de alimentos no Brasil: revisão histórica, situação atual e desafios futuros. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, p. 1-16, 2020.

LIMA, R. D. S.; AFONSO, J. C.; PIMENTEL, L. C. F. Raios-X: fascinação, medo e ciência. *Química Nova*, v. 32, p. 263-270, 2009.

LIMA, A. A.; MACEDO, W. P. Os potenciais efeitos da radiação não ionizante no crescimento de microrganismos. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 9, p. 13689-1370, 2019.

MAZUR, E. *Peer instruction: a revolução da aprendizagem ativa*. Trad. Anatólio Laschuk. Porto Alegre: Penso, 2015.

MÖRSCHBÄCHER, J. L.; PADILHA, T. A. F. Contribuições e desafios da metodologia instrução entre pares: um estudo de caso no ensino técnico, 2017. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/20dee545-55dd-4e4f-bb41-19fbc768b488/content>. Acesso em: 15 de março de 2024.

MURGI, R. N. D. *Proposta de Sequência Didática para o ensino de ondas: uma abordagem teórico-experimental*. / Regiane Nunes Dronov Murgi. Dourados, MS: UFGD, 2016.

OLIVEIRA, F. F.; VIANA, D. M.; GERBASSE, R. S. Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

NEVES, M. D. et al. Meio ambiente, radiações ionizantes e não ionizantes: entrevista sobre conhecimentos sobre a radiação. 8º Congresso de extensão universitária da UNESP, p. 1-3, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/142336>. Acesso em: 04 de agosto de 2023.

OKUNO, E. *Física das radiações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. *Investigações em ensino de ciências*, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. *Investigações em ensino de Ciências*, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.

ROSA, C. T. W et al. Estudo envolvendo a função das imagens associadas a tópicos de Física Moderna nos livros didáticos do ensino médio. *Caderno Brasileiro de Estudo de Física*. v. 37, n. 1, p. 27-50, 2020.

SANTANA, A. *Sistema de inspeção por raio X no controle de qualidade de alimentos*. Food Safety Brazil, 2014. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/sistema-de-inspecao-por-raio-x-no-controle-de-qualidade-de-alimentos/>. Acesso em: 24 novembro de 2024.

SANTOS, A. A. Desenvolvimento de uma maquete da ampola de raios X para ensino e aprendizagem de seus componentes. Trabalho de Conclusão de Curso de Física Médica. Universidade Federal de Sergipe, 2023.

SILVA, J. R. N.; ARENGHI, L. E. B.; LINO, A. Por que inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 6, n. 1, 2013.

SILVEIRA, L. G. Irradiação de alimentos: descubra tudo sobre a técnica radiológica. Disponível em: <https://www.conter.gov.br/site/noticia/entrevista-05-04-2022>. Acesso em 01 de setembro de 2023.

SIMS, E. S. et. al. Radiações eletromagnéticas ionizantes e não-ionizantes em equipamentos odontológicos. In: III Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica. Edição 2018.

STUDART, N. Inovando a ensinagem de física com metodologias ativas. Revista do Professor de Física, v. 3, n.3, p. 1-24, 2019.

VALENTE, J. A., ALMEIDA, M. E. B., & GERALDINI, A. F. S. Metodologias ativas: das concepções às práticas em distintos níveis de ensino. Revista Diálogo Educacional, v. 17, n. 52, p. 455-478. DOI: 10.7213/1981-416x.17.052.ds07, 2017.

YOUNG, H. D., FREEDMAN, R. A. Física II – Termodinâmica e Ondas. 14 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

APÊNDICE 1 – APOSTILA SOBRE RADIAÇÕES

ONDAS

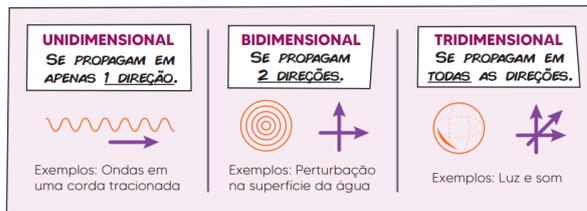
As **ondas** são perturbações que se propagam pelo espaço sem transporte de matéria, apenas de energia.

Classificação das ondas:

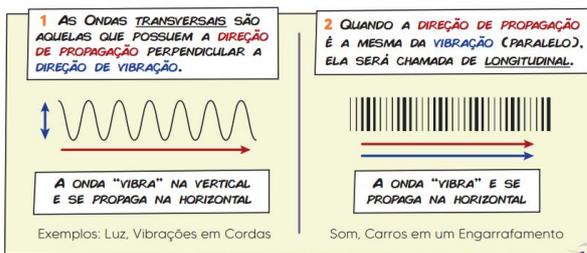
✚ **Quanto à natureza:** mecânicas e eletromagnéticas.



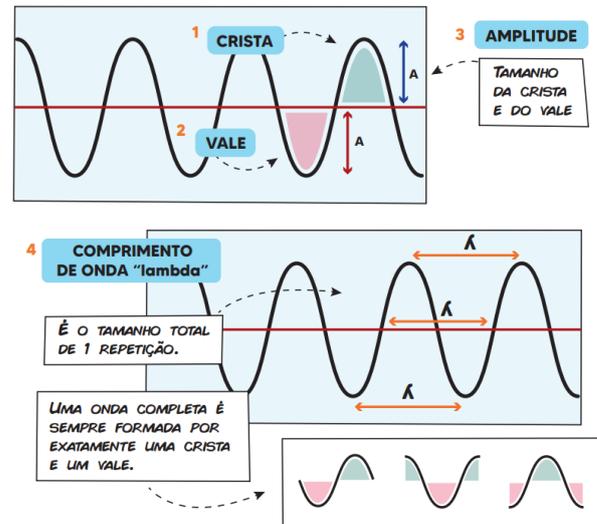
✚ **Quanto à direção de propagação:** uni, bi e tridimensional.



✚ **Quanto à direção de vibração:** transversal e longitudinal.

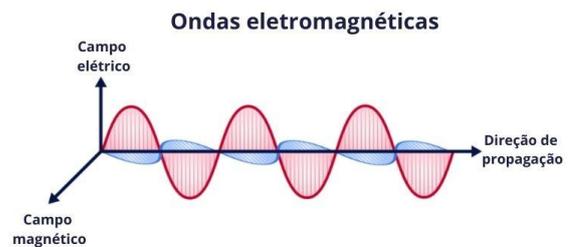


Elementos da onda:



ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Uma onda eletromagnética é o resultado da oscilação de uma carga elétrica, que faz com que o campo elétrico a ele associado também varie gerando um campo magnético, também oscilante, e vice-versa. Ou seja, As ondas eletromagnéticas são ondas formadas pela oscilação de um campo elétrico e magnético perpendiculares entre si.



Existem sete tipos de ondas eletromagnéticas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama. Juntas elas formam um espectro de onda eletromagnética que varia com a frequência e o comprimento de cada onda.

Assim como uma onda mecânica, as ondas eletromagnéticas são definidas pelas seguintes grandezas:

✚ **Período** de oscilação da onda (T): representa o tempo necessário para uma onda realizar uma oscilação completa. No SI, a unidade de período é o segundo (s).

✚ **Frequência** (f): corresponde ao número de oscilações da onda por unidade de tempo. A onda eletromagnética produzida se propaga com a mesma frequência de oscilação das cargas elétricas que a gerou. No SI, a unidade de frequência é denominada hertz (Hz). O período e a frequência são inversos um do outro.

$$T = \frac{1}{f} \text{ ou } f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

✚ **Comprimento** de Onda (λ): é a distância entre valores repetidos sucessivos num padrão de onda. Pode ser representada também pela distância entre picos (máximos), vales (mínimos).

✚ **Amplitude** (A): é a distância de uma crista ou um vale ao nível de equilíbrio, ou seja, é a “altura da onda”.

✚ **Velocidade** de propagação da onda (v): corresponde à velocidade com que o pulso da onda se propaga no meio. Como a onda se propaga com velocidade constante, podemos definir a velocidade da onda usando a equação do movimento uniforme da cinemática.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), teremos:

$$v = \lambda \cdot f \quad (3)$$

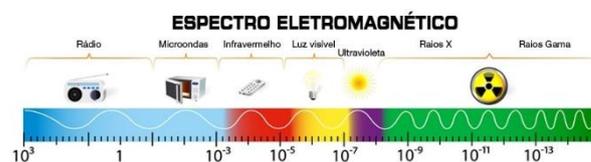
No século XIX, usando as propriedades dos campos elétrico e magnético, conhecidas na época, Maxwell calculou a velocidade de propagação dessas ondas, obtendo o valor de 3×10^8 m/s, que reconheceu como sendo o valor da velocidade da luz. Tomando como referência essa descoberta, ele propôs que a luz visível deveria ser uma onda eletromagnética. Alguns anos depois essa descoberta teórica de Maxwell foi comprovada experimentalmente por Heinrich

R. Hertz. Assim, para uma onda eletromagnética, temos a relação:

$$c = \lambda \cdot f \quad (4)$$

O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

As ondas eletromagnéticas podem ser classificadas e organizadas de acordo com seus diversos comprimentos de onda/frequências. Esta classificação é conhecida como o espectro eletromagnético. A tabela a seguir nos mostra este espectro, que é formado por todos os tipos de radiação eletromagnética que existem no nosso universo.



O espectro visível, que é a luz que nossos olhos podem detectar, representa apenas uma pequena parte dos diferentes tipos de radiação existentes. À esquerda do espectro visível, encontramos tipos de energia com frequências mais baixas (e, portanto, comprimentos de onda maiores) do que a luz visível. Esses tipos de energia incluem os raios infravermelhos, que são ondas de calor emitidas por corpos térmicos, micro-ondas e ondas de rádio. Esses tipos de radiação estão sempre presentes ao nosso redor e não são prejudiciais, pois suas frequências são muito baixas. Ondas com frequências mais baixas têm menos energia e, portanto, não representam um perigo para nossa saúde.

À direita do espectro visível, encontramos os raios ultravioleta (UV), raios X e raios gama. Esses tipos de radiação são prejudiciais para os seres vivos devido às suas frequências extremamente altas (e, conseqüentemente, altas energias). É por isso que usamos protetor solar na praia (para bloquear os raios UV do Sol) e é por isso que o radiologista coloca protetores de chumbo em nós durante exames de raio X, para evitar que os raios X atinjam

áreas do nosso corpo que não estão sendo examinadas. Os raios gama, com a maior frequência e energia, são os mais prejudiciais. Felizmente, nossa atmosfera absorve os raios gama vindos do espaço, nos protegendo dos possíveis danos.

Existem sete tipos diferentes de ondas eletromagnéticas, cada uma com suas próprias características. Elas são classificadas de acordo com suas faixas de frequência, comprimento e oscilação das ondas. Quanto menor o comprimento da onda, maior será sua frequência.

✚ **Ondas de rádio:** Essas ondas estão localizadas na extremidade do espectro eletromagnético e têm frequências baixas e comprimentos longos. Elas são produzidas pela aceleração de elétrons em uma antena de emissão e têm frequências de até 10^8 Hertz (Hz).

✚ **Micro-ondas:** Essas ondas têm frequências mais baixas do que as ondas de rádio, mas mais altas do que as micro-ondas (entre 10^8 e 10^{12} Hz). Elas são usadas principalmente nas áreas de telecomunicações.

✚ **Infravermelho:** Essas ondas estão próximas à luz visível, mas não podem ser vistas a olho nu. Elas são emitidas por átomos em corpos aquecidos e têm frequências entre 10^{11} e 10^{14} Hz.

✚ **Luz visível:** Essa é a luz que nossos olhos podem ver. Ela está localizada no centro do espectro eletromagnético e tem frequências entre $4,6 \times 10^{14}$ e $6,7 \times 10^{14}$ Hz. As frequências menores produzem luz vermelha, enquanto as mais altas produzem luz violeta.

✚ **Raios ultravioleta:** Esses raios têm comprimentos menores do que a luz visível e maiores do que os raios X. Eles têm frequências entre 10^{16} Hz e 10^{18} Hz e são emitidos por átomos excitados. O contato direto com esses raios pode prejudicar os olhos e causar câncer de pele.

✚ **Raios X:** Esses raios têm comprimentos menores do que os raios ultravioleta e maiores do que os raios gama. Eles foram descobertos pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen e são produzidos pelo choque de elétrons em alta velocidade em um material metálico. Sua frequência está entre 10^{18} e 10^{20} Hz.

✚ **Raios gama:** Esses raios estão localizados na extremidade do espectro eletromagnético. Eles têm a maior frequência (de 10^{20} a 10^{22} Hertz) e o menor comprimento. São formados pela desintegração do núcleo de elementos radioativos e são responsáveis pela produção de bombas atômicas.

RADIAÇÃO

A radiação é a emissão de energia por uma fonte, que pode ser transmitida através do vácuo, do ar ou de meios materiais. Existem dois tipos principais de radiação: a radiação corpuscular, que inclui partículas como partículas alfa e elétrons, e a radiação ondulatória, que inclui ondas eletromagnéticas como raios X e raios gama.

A radiação pode ser tanto natural quanto artificial. Por exemplo, o corpo humano está exposto à radiação natural todos os dias, desde o solo e seus gases subterrâneos até a radiação cósmica do Sol e do espaço sideral. Além disso, procedimentos médicos, televisores, telefones celulares e fornos de micro-ondas também emitem algum tipo de radiação.

No entanto, é importante notar que a radiação não é necessariamente perigosa. Isso depende de sua intensidade, tipo e tempo de exposição. Essas características são fundamentais para entender os riscos e potencialidades da radiação para o ser humano.

A radiação pode ser classificada como radiação de partículas ou radiação eletromagnética. A radiação de partículas ocorre quando um átomo instável (ou radioativo) se desintegra. Já a radiação eletromagnética não tem massa e viaja em ondas. Ela pode variar de energia muito baixa

para energia muito alta, e esse espaço é chamado de espectro eletromagnético.

A energia de uma onda eletromagnética é quantizada, ou seja, é emitida e propagada em pequenos pulsos de energia chamados fótons. Essas partículas não têm carga nem massa em repouso e se propagam com a velocidade da luz. Na interação da radiação eletromagnética com a matéria, a absorção e emissão de energia são determinadas pela energia de um fóton, dada pela equação:

$$E = h \cdot f \quad \text{ou} \quad E = h \frac{c}{\lambda} \quad (5)$$

Onde: h é a constante de Planck e vale $6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \cong 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV}$, e c é a velocidade da luz, igual a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Fazendo a equivalência, teremos: $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

RADIAÇÃO IONIZANTE E NÃO IONIZANTE

A radiação pode ser dividida em dois tipos: não ionizante e ionizante. Isso depende do comprimento e da frequência da onda eletromagnética. A radiação ionizante tem energia suficiente para remover um elétron de um átomo e produzir íons. Por ter maior energia, ela pode separar elétrons de outros átomos ou ionizá-los à medida que penetra na matéria. Já a radiação não ionizante apenas eleva a temperatura e causa agitação das moléculas, mas não altera a estrutura do material.

RAIOS X

Os raios X são ondas eletromagnéticas que têm a capacidade de atravessar corpos de baixa densidade e são absorvidos por materiais mais densos. Eles são um tipo de radiação eletromagnética com frequências superiores à radiação ultravioleta (maiores que 10^{18} Hz). Os raios X foram descobertos em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen durante o estudo da luminescência por raios catódicos em um tubo de Crookes.

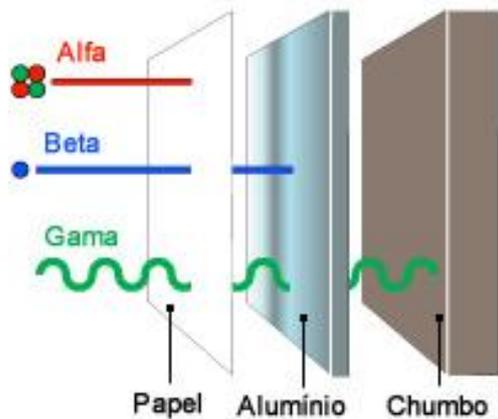
Ele recebeu o prêmio Nobel de Física em 1901 por sua descoberta.

Os raios X são produzidos por meio de um aparelho chamado Tubo de Coolidge. Esse tubo contém um cátodo em seu interior que é aquecido por uma corrente elétrica fornecida por um gerador. Quando aquecido, o cátodo emite grande quantidade de elétrons que são fortemente atraídos pelo ânodo. Quando eles se chocam com o ânodo, transferem energia para os elétrons dos átomos do ânodo. Os elétrons acelerados então emitem ondas eletromagnéticas.

Através de seus estudos sobre raios X, Roentgen descobriu que eles têm a capacidade de atravessar materiais de baixa densidade, como os músculos do corpo humano, e são absorvidos por materiais mais densos, como os ossos. Devido a essa descoberta, os raios X passaram a ser amplamente utilizados para a realização de radiografias. Hoje, os raios X têm um amplo campo de aplicação, sendo utilizados, por exemplo, no tratamento do câncer, na pesquisa sobre a estrutura cristalina dos sólidos, na indústria e em muitas outras áreas da ciência e tecnologia.

RAIOS GAMA

A radiação gama é um tipo de radiação nuclear ionizante, o que significa que pode interagir e danificar estruturas de átomos e moléculas. Também conhecida como raios gama, são ondas eletromagnéticas com carga e massa nulas. Os raios gama emitem calor continuamente e têm a capacidade de ionizar até mesmo o ar ao se propagar, tornando-o um condutor de corrente elétrica. A radiação gama é mais perigosa do que as partículas alfa e beta. Se emitidas por um longo período de tempo, podem levar à má formação nas células dos seres vivos. Eles têm alto poder de penetração e podem atravessar chapas de aço com até 15 cm de espessura.



A radiação alfa é facilmente bloqueada por uma folha de papel; a beta por uma chapa de alumínio; e a gama por uma chapa grossa de chumbo. Essa radiação pode afetar completamente as estruturas e moléculas presentes na composição dos seres vivos. Exemplos disso são as mutações genéticas e a quebra de moléculas. Nas mutações genéticas, a radiação entra em contato com os genes e modifica o DNA das células. Quando modificadas, as células perdem ou mudam suas funções. A radiação também pode levar à formação de novos tecidos ou até mesmo ao aparecimento de tumores malignos. Na quebra de moléculas, a radiação quebra a estrutura do DNA das moléculas, prejudicando totalmente os processos de multiplicação e divisão celular. Quando prejudicadas em suas fases de multiplicação e divisão celular, as células não conseguem mais repassar seu DNA.

Ao longo do tempo, a radiação pode causar danos letais aos seres vivos, como o câncer. Outro dano causado pela radiação é sua presença na cadeia alimentar dos seres vivos, afetando todos os níveis da mesma. A curto prazo, a radiação pode causar dores de cabeça, náuseas, diarreia, febre etc.

Apesar dos pontos negativos e malefícios causados pela radiação, quando usada em doses corretas e específicas ela pode ser benéfica no tratamento de doenças, realização de diagnósticos, indústrias entre outros. O processo de irradiação com raios gama tem crescido significativamente no mundo todo.

Devido à sua alta energia, eles podem causar danos ao núcleo das células e são usados para esterilizar equipamentos médicos, alimentos e diversos outros produtos.

Com relação aos produtos alimentícios, a irradiação com raios gama permite descontaminar alimentos através da eliminação de microrganismos patogênicos como *Salmonella Typhimurium*. Além disso, aumenta a vida útil do produto nas prateleiras.

IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

Existem três tipos de radiação ionizante que podem ser usadas na irradiação de alimentos: raios gama, raios X e feixe de elétrons. Os raios gama são produzidos por fontes radioativas, como Cobalto-60 e Césio-137. Os raios X são produzidos por máquinas de raios X, enquanto o feixe de elétrons é produzido por aceleradores lineares. Cada tipo de radiação tem suas vantagens e desvantagens, e a escolha do tipo de radiação a ser usado depende do tipo de alimento a ser irradiado e do objetivo da irradiação.

Os raios X com energias variáveis (formando um espectro contínuo) são produzidos artificialmente por equipamentos. A radiação gama, com energia específica (formando um espectro discreto), provém do decaimento espontâneo de radionuclídeos, como por exemplo, do Níquel-60 originado pelo decaimento do Cobalto-60 por emissão beta.

A irradiação de alimentos é uma técnica que submete os alimentos a uma dose controlada de radiação ionizante. O objetivo é aumentar a vida útil dos alimentos, inibindo ou retardando alguns processos fisiológicos (como o brotamento e o amadurecimento), além de inativar larvas e parasitas e reduzir a carga de fungos e bactérias.

A irradiação de alimentos é segura, pois não deixa resíduos no alimento nem libera material radioativo no meio ambiente. Todo o processo é monitorado para garantir a

qualidade do alimento e preservação de suas qualidades sensoriais e nutricionais.

É uma técnica útil para preservação e desinfestação de alimentos, mas ainda não é amplamente utilizada pela indústria brasileira. Isso pode ser devido à falta de investimentos em irradiadores para a irradiação de alimentos em escala comercial, falta de informação aos produtores, indústria e comércio, e falta de informação à população.

Essa técnica consiste na exposição do alimento a quantidades intermediárias de radiação (entre 1 e 10 kGy). A radiação promove a redução da carga microbiana de fungos e bactérias, melhorando a qualidade higiênico-sanitária do alimento e promovendo, por consequência, a extensão da vida útil em algumas semanas. Normalmente, é utilizada em produtos como peixes, carnes, amendoim e alimentos crus prontos para o consumo.

A irradiação de alimentos apresenta algumas vantagens e desvantagens. Algumas das vantagens incluem:

- ✚ Inibição de brotamentos e retardo na maturação: A irradiação aumenta a vida útil de frutas e vegetais frescos. Isso é feito pela inativação ou destruição de enzimas responsáveis pelo processo de maturação e das estruturas de emissão de brotos, o que facilita o processo de distribuição desses produtos;
- ✚ Eliminação de micro-organismos patogênicos: O processo também elimina bactérias potencialmente prejudiciais à saúde (como, por exemplo, a *Salmonella* sp. e a *Campylobacter* sp. – presentes principalmente em carnes), vírus, parasitas (como nematóides e protozoários) e fungos produtores de micotoxinas;
- ✚ Redução da carga microbiana geral: A irradiação elimina certos micro-organismos, sendo útil para substituir tratamentos químicos que poderiam deixar resíduos nos alimentos;

- ✚ Desinfestação: Destrói ovos e larvas de insetos (como o caruncho) presentes em grãos, cereais, frutas e especiarias, sem trazer prejuízo para os alimentos;
- ✚ Redução de recontaminações: A radiação ionizante tem alto poder de penetração, tornando possível tratar grande quantidade e variedades de alimentos sem nenhuma manipulação durante o processo;
- ✚ Esterilização a frio: A irradiação de alimentos não aumenta a temperatura do alimento e nem da embalagem, sendo assim, permite o tratamento de produtos resfriados, congelados ou em embalagens termossensíveis;
- ✚ Tempo de preparo: A irradiação provoca a diminuição do tempo de cozimento de alguns alimentos, principalmente os desidratados.



No entanto, a irradiação também apresenta algumas desvantagens. Primeiramente, a irradiação não pode ser utilizada em todos os tipos de alimentos. Em produtos com alto teor de gordura, por exemplo, ocorre o aparecimento de um sabor desagradável devido ao ranço.

Além disso, com a irradiação, ocorre a perda de alguns nutrientes, como as vitaminas. Entretanto, essa perda é similar à causada por outros métodos de conservação, como a pasteurização e o congelamento. De fato, todas as formas de processamento de alimentos diminuem a disponibilidade de alguns nutrientes.

Outra desvantagem é o custo dos equipamentos usados na irradiação, que são caros e demandam infraestrutura específica. Também existem problemas ambientais associados à radiação ionizante, pois é necessário fazer a destinação adequada dos equipamentos e dos rejeitos radioativos decorrentes do processo.

Por fim, geralmente a primeira reação do consumidor em relação ao processo de irradiação de alimentos é de desconfiança, principalmente devido à desinformação e aos preconceitos associados indevidamente à tecnologia nuclear.

Comparada a outros tratamentos, a tecnologia de irradiação no Brasil ainda é pouco usada e pouco divulgada. Contudo, seu uso é seguro e eficaz e apresenta-se como uma opção muito promissora para reduzir o desperdício e melhorar a saúde pública, pois aumenta a vida de prateleira dos produtos e ajuda no controle de surtos de doenças causadas por alimentos contaminados.

A irradiação de alimentos também favorece a expansão do comércio internacional ao viabilizar a exportação de mais produtos agropecuários, já que apresentam maior durabilidade durante o transporte. Dessa maneira, para que esta tecnologia possa ser aplicada em maior escala no nosso país, será necessário realizar campanhas de informação ao consumidor, enfatizando que o alimento tratado por irradiação não fica radioativo e que seu consumo é seguro. Além disso, em comparação ao alimento similar não irradiado, ele apresenta uma melhor qualidade sanitária e suas características organolépticas são preservadas. Devido à tecnologia, o alimento permanece adequado para o consumo por um período mais longo.

Nesse sentido, o uso da irradiação na indústria também pode e deve ser estimulado, já que apresenta mais vantagens do que desvantagens no processamento de alimentos.

REFERÊNCIAS

LEVY, D. et al. Irradiação de alimentos no Brasil: revisão histórica, situação atual e desafios futuros. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, p. 1-16, 2020.

OKUNO, E. Física das radiações. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

APÊNDICE 2 – ESPECTROSCÓPIO CASEIRO

Materiais:

- ✚ 1 cape
- ✚ 1 luva
- ✚ Aproximadamente 20cm de cano de pvc
- ✚ Lâmina de CD (sem a película)



Modo de fazer:

- ✚ Corte a lâmina de CD em um formato que caiba dentro da luva;
- ✚ Faça uma fresta no cape com o uso de uma serra;
- ✚ Prenda o cape em um dos lados e a luva com a lâmina do CD no outro;
- ✚ Agora, basta mirar a lanterna do celular na fresta e observar a separação das cores na lâmina no CD.





MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 11

Elenice dos Santos Curvelo

Laélia Campos

PRODUTO EDUCACIONAL

A FÍSICA PRESENTE NA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

São Cristóvão – SE
Outubro/2024
Elenice dos Santos Curvelo/Laélia Campos

A FÍSICA PRESENTE NA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: ENSINO DE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA USANDO A TEMÁTICA DE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 11 – UFS-SE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:
Laélia Pumilla Botelho Campos dos Santos

São Cristóvão – SE
Outubro/2024

AGRADECIMENTOS

Deus, que permitiu que eu pudesse realizar mais um objetivo de vida, pela saúde e determinação na superação dos obstáculos encontrados.

A minha família, em especial meu esposo José Santana Curvelo, meus filhos Ian e Ícaro, e minha mãe Judite, por todo apoio e contribuição no decorrer do processo.

Aos colegas de curso pela troca de experiências e momentos de descontração que aliviaram a carga.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a minha colega e amiga Hulda. Durante todo o processo deste curso, sua companhia foi inestimável. Agradeço por todas as conversas, risadas e momentos de desespero compartilhados. Sua presença tornou os desafios mais leves e os momentos de vitória ainda mais especiais. Sem você, esta jornada teria sido muito mais difícil e solitária. Obrigada pela parceria incrível.

Aos professores, em especial Tiago Nery e Jhon Fredy, pelos ensinamentos e sugestões, ajudando a me guiar neste trabalho, bem como os professores Edvaldo Alves e Sérgio Scarano Jr. por aproximarem a universidade da escola por meio de seus projetos Física na Escola e Carvana Luar do Sertão, respectivamente.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à professora e orientadora Laélia Campos por sua dedicação e apoio ao longo deste trabalho. Sua orientação acadêmica foi fundamental para o desenvolvimento deste projeto, e sua compreensão e incentivo emocional foram igualmente valiosos.

Durante nossas reuniões de orientação, pude aprender não apenas sobre o conteúdo específico do trabalho, mas também sobre como abordar desafios, manter a motivação e superar obstáculos. A professora Laélia sempre esteve disponível para esclarecer minhas dúvidas, fornecer feedback construtivo e compartilhar sua vasta experiência.

Além disso, quero destacar a empatia e o apoio emocional que recebi. Em momentos de incerteza ou pressão, a professora Laélia sempre soube oferecer palavras de encorajamento e confiança. Sua capacidade de entender não apenas as questões acadêmicas, mas também as pessoais, fez toda a diferença.

Portanto, é com imensa gratidão que dedico este trabalho à professora Laélia Campos, como forma de reconhecer sua influência positiva em minha jornada acadêmica e pessoal.

A Universidade Federal de Sergipe (UFS) e ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) por nos oportunizar um avanço considerável em nossa carreira através deste programa de ensino, fazendo com que melhoremos em nossa profissão por meio de uma autoavaliação crítica e nos instigando a desenvolver melhores e novas práticas de ensino.

A CAPES pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de estudos. Esse suporte foi fundamental para a realização deste trabalho, bem como para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento. Este trabalho é fruto de um esforço coletivo e de muitas mãos que se uniram para tornar este sonho uma realidade.

APRESENTAÇÃO

Caro(a) professora(a),

Este Produto Educacional é resultado de nossa dissertação, desenvolvida sob a orientação da Profa. Laélia Campos, no Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física (PPGPF) da Universidade Federal de Sergipe. O objetivo deste material é apresentar, de forma clara e prática, a sequência didática elaborada a partir da dissertação intitulada "Ensino de Tópicos de Física Moderna Usando a Temática de Irradiação de Alimentos", bem como os materiais disponibilizados para alunos e professores, que podem ser um grande apoio na aplicação desse conteúdo.

O Produto Educacional aborda conceitos de Radiações Eletromagnéticas voltados para o 2º ano do Ensino Médio, utilizando a metodologia ativa de Instrução por Pares (IpP). A sequência didática foi planejada para promover o aprendizado de Física Moderna por meio de discussões sobre a irradiação de alimentos, sugerindo uma aplicação de, no mínimo, 6 aulas de 50 minutos cada. A ideia é oferecer aos estudantes um entendimento sobre as aplicações pacíficas das radiações ionizantes, como na conservação de alimentos e na produção de raios X, incentivando a reflexão sobre o uso da radiação na sustentabilidade do agronegócio e na redução do desperdício de alimentos.

A escolha do tema surgiu da necessidade de tornar os conteúdos de Física Moderna mais acessíveis e atraentes. Muitas vezes, esses tópicos são deixados para o final do livro do terceiro ano, dificultando seu estudo devido à falta de tempo. Nosso objetivo é proporcionar uma abordagem mais integrada e relevante desde o início do currículo.

Elenice Santana Curvelo

Laélia Campos

Sumário

1.	Etapas da Sequência Didática.....	66
1.1.	Encontro 1	67
1.2.	Encontro 2	78
1.3.	Encontro 3	80
2.	Conceitos de Física na Temática Irradiação de Alimentos.....	82
2.1.1.	Ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético.....	83
2.1.2.	Radiação ionizante e não ionizante	87
2.2.	O Irradiador de Alimentos	89
3.	Metodologias Ativas no Ensino de Radiação	92
4.	Considerações Finais	97
	Referências Bibliográficas.....	99
	ANEXO 1 – JOGO: QUAL FAIXA?	100

1. Etapas da Sequência Didática

A sequência didática foi planejada para ser aplicada em 6 aulas de 50 minutos. Este material inclui a aplicação de uma avaliação investigativa, testes conceituais utilizando a metodologia de Instrução por Pares (IpP) e o jogo de cartas “Qual Faixa” (Anexo 1). Durante este período, foram abordados temas e conteúdos conceituais como ondas eletromagnéticas, frequência, comprimento de onda, tipos de radiação, radiação ionizante, produção e emissão de raios X, e raios gama, que estão sintetizados no quadro abaixo.

ENCONTROS	OBJETIVOS	Nº AULAS
ENCONTRO 1 Ondas eletromagnéticas Espectro eletromagnético	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apresentar a Sequência Didática, a temática Irradiação de alimentos e a metodologia Instrução por Pares; ✓ Aplicar uma Avaliação Investigativa. ✓ Retomar de forma sucinta o conceito de ondas e suas classificações; ✓ Fazer uma breve exposição sobre os modelos atômicos; ✓ Conceituar ondas eletromagnéticas e os principais tipos; ✓ Apresentar os elementos que compõem uma onda eletromagnética; ✓ Apresentar o Espectro eletromagnético, mostrando a classificação das ondas eletromagnéticas de acordo com seus comprimentos de onda e frequências; ✓ Mostrar um espectroscópio caseiro; ✓ Aplicar testes conceituais usando a metodologia IpP. 	2
ENCONTRO 2 Radiação Raios X Raios Gama	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Explorar o conceito de radiação; ✓ Diferenciar as radiações ionizantes das não ionizantes; ✓ Apresentar conceitos e aplicações de raios X; ✓ Mostrar o funcionamento de uma ampola de raios X; ✓ Apresentar conceitos e aplicações dos raios gama; ✓ Aplicar testes conceituais usando a metodologia IpP. 	2
ENCONTRO 3 Raios X e Raios Gama Irradiação de Alimentos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Expor as diferenças entre raios X e raios gama; ✓ Expor sobre a Irradiação de alimentos: vantagens e desvantagens; ✓ Aplicar o jogo “Qual a Faixa?” com a finalidade de recordar o que aprendeu. ✓ Aplicar testes conceituais usando a metodologia IpP. 	2

Fonte: Elaborada pela autora.

1.1. Encontro 1

Neste encontro, o professor deve apresentar aos alunos as etapas do trabalho que será desenvolvido, os objetivos, a avaliação e a metodologia que será utilizada para ensinar os conceitos de Física Moderna relacionados ao tema da irradiação de alimentos.

Os objetivos deste encontro são: apresentar a sequência didática (SD), identificar os conhecimentos prévios dos alunos, retomar o conceito de ondas e sua classificação, destacar o conceito de ondas eletromagnéticas, apresentar o espectro eletromagnético relacionando comprimento de onda, frequência e energia, e demonstrar um espectroscópio caseiro, explicando como ocorre a separação das cores na luz branca.

Para revisar alguns conceitos, aplicamos uma Avaliação Investigativa, que está apresentada a seguir. A identificação dos conhecimentos prévios dos alunos é fundamental para a implementação e o desenvolvimento da SD.

Avaliação Investigativa

Questão 1: *Alimentos irradiados são radioativos, por isso apresentam riscos aos consumidores.*

- () Verdadeiro
- () Falso

Questão 2: *A radiação presente nos exames de raios X odontológico podem gerar severas dores de cabeça.*

- () Verdadeiro
- () Falso

Questão 3: *Morar em áreas próximas a usinas nucleares não traz riscos à saúde, pois a emissão de radiação externa é muito baixa.*

- () Verdadeiro
- () Falso

Questão 4: *A exposição à radiação causa morte instantânea à pessoa.*

- () Verdadeiro
- () Falso

Questão 5: *A radiação pode ser natural ou artificial.*

- () Verdadeiro
- () Falso

Respostas: 1F, 2F, 3V, 4F, 5V

Após a resolução da Avaliação Investigativa, sugerimos uma explanação sobre o conceito de ondas e suas classificações, para que os alunos possam relembrar o tema. Em seguida, é recomendável apresentar de forma mais detalhada as ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético, utilizando um espectroscópio caseiro (Figura 1).

Figura 1. Espectroscópio caseiro.



Fonte: A autora

Roteiro para a construção do espectroscópio caseiro

Materiais:

- ✚ 1 cape
- ✚ 1 luva
- ✚ Aproximadamente 20cm de cano de pvc
- ✚ Lâmina de CD (sem a película)

Modo de fazer:

- ✚ Corte a lâmina de CD em um formato que caiba dentro da luva;
- ✚ Faça uma fresta no cape com o uso de uma serra;
- ✚ Prenda o cape em um dos lados e a luva com a lâmina do CD no outro;
- ✚ Agora, basta mirar a lanterna do celular na fresta e observar a separação das cores na lâmina no CD

Ainda neste encontro, os estudantes receberam da professora uma Apostila sobre Radiações abordando o conteúdo teórico, para que pudessem acompanhar a aula e fazer observações durante a explicação. Esse material foi produzido porque o tema é tratado de forma muito superficial no livro adotado pela escola. A Apostila será apresentada a seguir.

Ao final do encontro, aplicamos a metodologia de Instrução por Pares (IpP) com algumas questões conceituais sobre o assunto estudado em sala de aula. A seguir, mostraremos o Teste Conceitual 1.

Apostila sobre Radiações

ONDAS

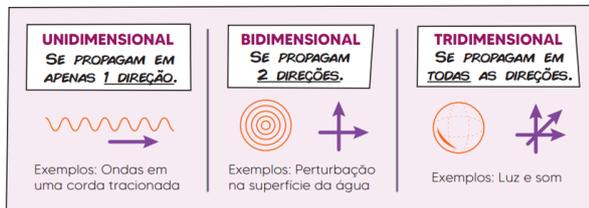
As **ondas** são perturbações que se propagam pelo espaço sem transporte de matéria, apenas de energia.

Classificação das ondas:

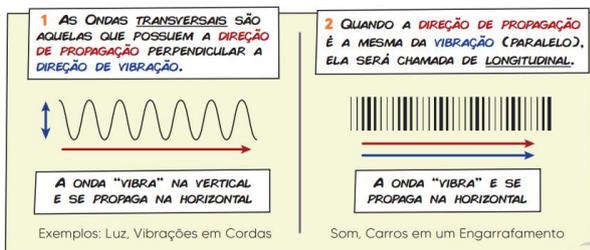
✚ **Quanto à natureza:** mecânicas e eletromagnéticas.



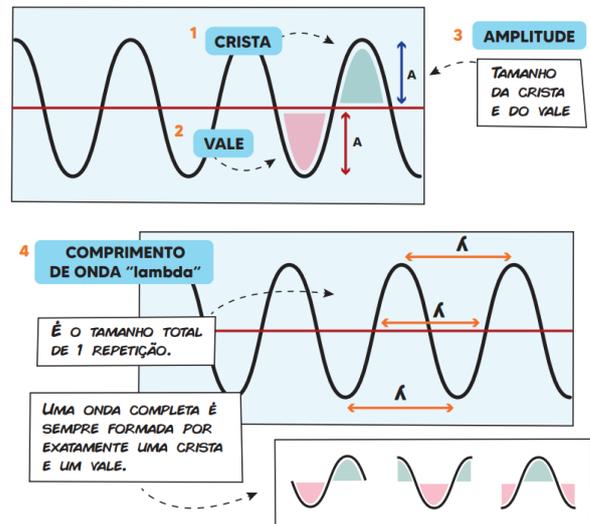
✚ **Quanto à direção de propagação:** uni, bi e tridimensional.



✚ **Quanto à direção de vibração:** transversal e longitudinal.

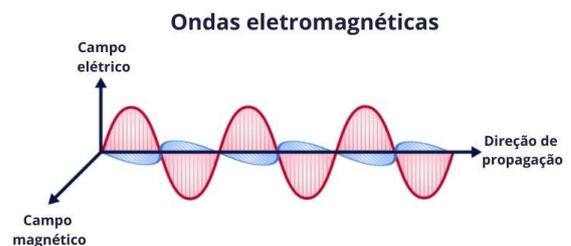


Elementos da onda:



ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Uma onda eletromagnética é o resultado da oscilação de uma carga elétrica, que faz com que o campo elétrico a ele associado também varie gerando um campo magnético, também oscilante, e vice-versa. Ou seja, As ondas eletromagnéticas são ondas formadas pela oscilação de um campo elétrico e magnético perpendiculares entre si.



Existem sete tipos de ondas eletromagnéticas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama. Juntas elas formam um espectro de onda eletromagnética que varia com a frequência e o comprimento de cada onda.

Assim como uma onda mecânica, as ondas eletromagnéticas são definidas pelas seguintes grandezas:

- + **Período** de oscilação da onda (T): representa o tempo necessário para uma onda realizar uma oscilação completa. No SI, a unidade de período é o segundo (s).
- + **Frequência** (f): corresponde ao número de oscilações da onda por unidade de tempo. A onda eletromagnética produzida se propaga com a mesma frequência de oscilação das cargas elétricas que a gerou. No SI, a unidade de frequência é denominada hertz (Hz). O período e a frequência são inversos um do outro.

$$T = \frac{1}{f} \text{ ou } f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

- + **Comprimento de Onda** (λ): é a distância entre valores repetidos sucessivos num padrão de onda. Pode ser representada também pela distância entre picos (máximos), vales (mínimos).
- + **Amplitude** (A): é a distância de uma crista ou um vale ao nível de equilíbrio, ou seja, é a “altura da onda”.
- + **Velocidade** de propagação da onda (v): corresponde à velocidade com que o pulso da onda se propaga no meio. Como a onda se propaga com velocidade constante, podemos definir a velocidade da onda usando a equação do movimento uniforme da cinemática.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), teremos:

$$v = \lambda \cdot f \quad (3)$$

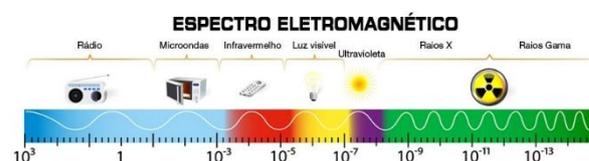
No século XIX, usando as propriedades dos campos elétrico e magnético, conhecidas na época, Maxwell calculou a velocidade de propagação dessas ondas, obtendo o valor de 3×10^8 m/s, que reconheceu como sendo o valor da velocidade da luz. Tomando como referência essa descoberta, ele propôs que a luz visível deveria ser uma onda eletromagnética. Alguns anos depois essa descoberta teórica de Maxwell foi

comprovada experimentalmente por Heinrich R. Hertz. Assim, para uma onda eletromagnética, temos a relação:

$$c = \lambda \cdot f \quad (4)$$

O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

As ondas eletromagnéticas podem ser classificadas e organizadas de acordo com seus diversos comprimentos de onda/frequências. Esta classificação é conhecida como o espectro eletromagnético. A tabela a seguir nos mostra este espectro, que é formado por todos os tipos de radiação eletromagnética que existem no nosso universo.



O espectro visível, que é a luz que nossos olhos podem detectar, representa apenas uma pequena parte dos diferentes tipos de radiação existentes. À esquerda do espectro visível, encontramos tipos de energia com frequências mais baixas (e, portanto, comprimentos de onda maiores) do que a luz visível. Esses tipos de energia incluem os raios infravermelhos, que são ondas de calor emitidas por corpos térmicos, micro-ondas e ondas de rádio. Esses tipos de radiação estão sempre presentes ao nosso redor e não são prejudiciais, pois suas frequências são muito baixas. Ondas com frequências mais baixas têm menos energia e, portanto, não representam um perigo para nossa saúde.

À direita do espectro visível, encontramos os raios ultravioleta (UV), raios X e raios gama. Esses tipos de radiação são prejudiciais para os seres vivos devido às suas frequências extremamente altas (e, conseqüentemente, altas energias). É por isso que usamos protetor solar na praia (para bloquear os raios UV do Sol) e é por isso que o radiologista coloca protetores de chumbo em nós durante exames de raio X, para evitar que os raios X atinjam áreas do nosso corpo que não estão sendo

examinadas. Os raios gama, com a maior frequência e energia, são os mais prejudiciais. Felizmente, nossa atmosfera absorve os raios gama vindos do espaço, nos protegendo dos possíveis danos.

Existem sete tipos diferentes de ondas eletromagnéticas, cada uma com suas próprias características. Elas são classificadas de acordo com suas faixas de frequência, comprimento e oscilação das ondas. Quanto menor o comprimento da onda, maior será sua frequência.

- ✚ **Ondas de rádio:** Essas ondas estão localizadas na extremidade do espectro eletromagnético e têm frequências baixas e comprimentos longos. Elas são produzidas pela aceleração de elétrons em uma antena de emissão e têm frequências de até 10^8 Hertz (Hz).
- ✚ **Micro-ondas:** Essas ondas têm frequências mais baixas do que as ondas de rádio, mas mais altas do que as micro-ondas (entre 10^8 e 10^{12} Hz). Elas são usadas principalmente nas áreas de telecomunicações.
- ✚ **Infravermelho:** Essas ondas estão próximas à luz visível, mas não podem ser vistas a olho nu. Elas são emitidas por átomos em corpos aquecidos e têm frequências entre 10^{11} e 10^{14} Hz.
- ✚ **Luz visível:** Essa é a luz que nossos olhos podem ver. Ela está localizada no centro do espectro eletromagnético e tem frequências entre $4,6 \times 10^{14}$ e $6,7 \times 10^{14}$ Hz. As frequências menores produzem luz vermelha, enquanto as mais altas produzem luz violeta.
- ✚ **Raios ultravioleta:** Esses raios têm comprimentos menores do que a luz visível e maiores do que os raios X. Eles têm frequências entre 10^{16} Hz e 10^{18} Hz e são emitidos por átomos excitados. O contato direto com esses raios pode prejudicar os olhos e causar câncer de pele.
- ✚ **Raios X:** Esses raios têm comprimentos menores do que os raios ultravioleta e maiores do que os raios gama. Eles foram descobertos pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen e são produzidos pelo choque de elétrons em alta velocidade em um material metálico. Sua frequência está entre 10^{18} e 10^{20} Hz.
- ✚ **Raios gama:** Esses raios estão localizados na extremidade do espectro eletromagnético. Eles têm a maior frequência (de 10^{20} a 10^{22} Hertz) e o menor comprimento. São formados pela

desintegração do núcleo de elementos radioativos e são responsáveis pela produção de bombas atômicas.

RADIAÇÃO

A radiação é a emissão de energia por uma fonte, que pode ser transmitida através do vácuo, do ar ou de meios materiais. Existem dois tipos principais de radiação: a radiação corpuscular, que inclui partículas como partículas alfa e elétrons, e a radiação ondulatória, que inclui ondas eletromagnéticas como raios X e raios gama.

A radiação pode ser tanto natural quanto artificial. Por exemplo, o corpo humano está exposto à radiação natural todos os dias, desde o solo e seus gases subterrâneos até a radiação cósmica do Sol e do espaço sideral. Além disso, procedimentos médicos, televisores, telefones celulares e fornos de micro-ondas também emitem algum tipo de radiação.

No entanto, é importante notar que a radiação não é necessariamente perigosa. Isso depende de sua intensidade, tipo e tempo de exposição. Essas características são fundamentais para entender os riscos e potencialidades da radiação para o ser humano.

A radiação pode ser classificada como radiação de partículas ou radiação eletromagnética. A radiação de partículas ocorre quando um átomo instável (ou radioativo) se desintegra. Já a radiação eletromagnética não tem massa e viaja em ondas. Ela pode variar de energia muito baixa para energia muito alta, e esse espaço é chamado de espectro eletromagnético.

A energia de uma onda eletromagnética é quantizada, ou seja, é emitida e propagada em pequenos pulsos de energia chamados fótons. Essas partículas não têm carga nem massa em repouso e se propagam com a velocidade da luz. Na interação da radiação eletromagnética com a matéria, a absorção e emissão de energia são determinadas pela energia de um fóton, dada pela equação:

$$E = h \cdot f \quad \text{ou} \quad E = h \frac{c}{\lambda} \quad (5)$$

Onde: h é a constante de Planck e vale $6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \cong 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV}$, e c é a velocidade da luz, igual a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Fazendo a equivalência, teremos: $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

RADIAÇÃO IONIZANTE E NÃO IONIZANTE

A radiação pode ser dividida em dois tipos: não ionizante e ionizante. Isso depende do comprimento e da frequência da onda eletromagnética. A radiação ionizante tem energia suficiente para remover um elétron de um átomo e produzir íons. Por ter maior energia, ela pode separar elétrons de outros átomos ou ionizá-los à medida que penetra na matéria. Já a radiação não ionizante apenas eleva a temperatura e causa agitação das moléculas, mas não altera a estrutura do material.

RAIOS X

Os raios X são ondas eletromagnéticas que têm a capacidade de atravessar corpos de baixa densidade e são absorvidos por materiais mais densos. Eles são um tipo de radiação eletromagnética com frequências superiores à radiação ultravioleta (maiores que 10^{18} Hz). Os raios X foram descobertos em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen durante o estudo da luminescência por raios catódicos em um tubo de Crookes. Ele recebeu o prêmio Nobel de Física em 1901 por sua descoberta.

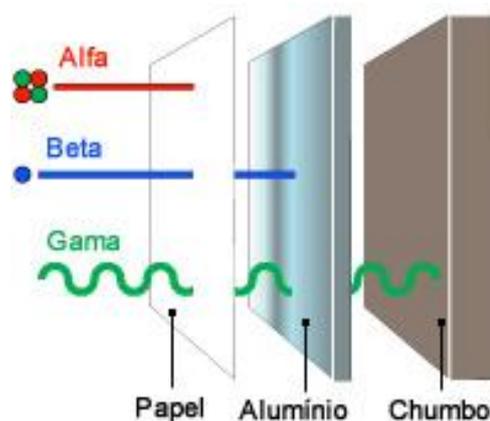
Os raios X são produzidos por meio de um aparelho chamado Tubo de Coolidge. Esse tubo contém um cátodo em seu interior que é aquecido por uma corrente elétrica fornecida por um gerador. Quando aquecido, o cátodo emite grande quantidade de elétrons que são fortemente atraídos pelo ânodo. Quando eles se chocam com o ânodo, transferem energia para os elétrons dos átomos do ânodo. Os elétrons acelerados então emitem ondas eletromagnéticas.

Através de seus estudos sobre raios X, Roentgen descobriu que eles têm a capacidade

de atravessar materiais de baixa densidade, como os músculos do corpo humano, e são absorvidos por materiais mais densos, como os ossos. Devido a essa descoberta, os raios X passaram a ser amplamente utilizados para a realização de radiografias. Hoje, os raios X têm um amplo campo de aplicação, sendo utilizados, por exemplo, no tratamento do câncer, na pesquisa sobre a estrutura cristalina dos sólidos, na indústria e em muitas outras áreas da ciência e tecnologia.

RAIOS GAMA

A radiação gama é um tipo de radiação nuclear ionizante, o que significa que pode interagir e danificar estruturas de átomos e moléculas. Também conhecida como raios gama, são ondas eletromagnéticas com carga e massa nulas. Os raios gama emitem calor continuamente e têm a capacidade de ionizar até mesmo o ar ao se propagar, tornando-o um condutor de corrente elétrica. A radiação gama é mais perigosa do que as partículas alfa e beta. Se emitidas por um longo período de tempo, podem levar à má formação nas células dos seres vivos. Eles têm alto poder de penetração e podem atravessar chapas de aço com até 15 cm de espessura.



A radiação alfa é facilmente bloqueada por uma folha de papel; a beta por uma chapa de alumínio; e a gama por uma chapa grossa de chumbo. Essa radiação pode afetar completamente as estruturas e moléculas presentes na composição dos seres vivos. Exemplos disso são as mutações genéticas e a quebra de moléculas. Nas mutações genéticas, a radiação entra em contato com os genes e

modifica o DNA das células. Quando modificadas, as células perdem ou mudam suas funções. A radiação também pode levar à formação de novos tecidos ou até mesmo ao aparecimento de tumores malignos. Na quebra de moléculas, a radiação quebra a estrutura do DNA das moléculas, prejudicando totalmente os processos de multiplicação e divisão celular. Quando prejudicadas em suas fases de multiplicação e divisão celular, as células não conseguem mais repassar seu DNA.

Ao longo do tempo, a radiação pode causar danos letais aos seres vivos, como o câncer. Outro dano causado pela radiação é sua presença na cadeia alimentar dos seres vivos, afetando todos os níveis da mesma. A curto prazo, a radiação pode causar dores de cabeça, náuseas, diarreia, febre etc.

Apesar dos pontos negativos e malefícios causados pela radiação, quando usada em doses corretas e específicas ela pode ser benéfica no tratamento de doenças, realização de diagnósticos, indústrias entre outros. O processo de irradiação com raios gama tem crescido significativamente no mundo todo. Devido à sua alta energia, eles podem causar danos ao núcleo das células e são usados para esterilizar equipamentos médicos, alimentos e diversos outros produtos.

Com relação aos produtos alimentícios, a irradiação com raios gama permite descontaminar alimentos através da eliminação de microrganismos patogênicos como *Salmonella Typhimurium*. Além disso, aumenta a vida útil do produto nas prateleiras.

IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

Existem três tipos de radiação ionizante que podem ser usadas na irradiação de alimentos: raios gama, raios X e feixe de elétrons. Os raios gama são produzidos por fontes radioativas, como Cobalto-60 e Césio-137. Os raios X são produzidos por máquinas de raios X, enquanto o feixe de elétrons é produzido por aceleradores lineares. Cada tipo de radiação tem suas vantagens e desvantagens, e a escolha do tipo de radiação a ser usado

depende do tipo de alimento a ser irradiado e do objetivo da irradiação.

Os raios X com energias variáveis (formando um espectro contínuo) são produzidos artificialmente por equipamentos. A radiação gama, com energia específica (formando um espectro discreto), provém do decaimento espontâneo de radionuclídeos, como por exemplo, do Níquel-60 originado pelo decaimento do Cobalto-60 por emissão beta.

A irradiação de alimentos é uma técnica que submete os alimentos a uma dose controlada de radiação ionizante. O objetivo é aumentar a vida útil dos alimentos, inibindo ou retardando alguns processos fisiológicos (como o brotamento e o amadurecimento), além de inativar larvas e parasitas e reduzir a carga de fungos e bactérias.

A irradiação de alimentos é segura, pois não deixa resíduos no alimento nem libera material radioativo no meio ambiente. Todo o processo é monitorado para garantir a qualidade do alimento e preservação de suas qualidades sensoriais e nutricionais.

É uma técnica útil para preservação e desinfestação de alimentos, mas ainda não é amplamente utilizada pela indústria brasileira. Isso pode ser devido à falta de investimentos em irradiadores para a irradiação de alimentos em escala comercial, falta de informação aos produtores, indústria e comércio, e falta de informação à população.

Essa técnica consiste na exposição do alimento a quantidades intermediárias de radiação (entre 1 e 10 kGy). A radiação promove a redução da carga microbiana de fungos e bactérias, melhorando a qualidade higiênico-sanitária do alimento e promovendo, por consequência, a extensão da vida útil em algumas semanas. Normalmente, é utilizada em produtos como peixes, carnes, amendoim e alimentos crus prontos para o consumo.

A irradiação de alimentos apresenta algumas vantagens e desvantagens. Algumas das vantagens incluem:

- ✚ Inibição de brotamentos e retardo na maturação: A irradiação aumenta a vida útil de frutas e vegetais frescos. Isso é feito pela inativação ou destruição de enzimas responsáveis pelo processo de maturação e das estruturas de emissão de brotos, o que facilita o processo de distribuição desses produtos;
- ✚ Eliminação de micro-organismos patogênicos: O processo também elimina bactérias potencialmente prejudiciais à saúde (como, por exemplo, a *Salmonella* sp. e a *Campylobacter* sp. – presentes principalmente em carnes), vírus, parasitas (como nematóides e protozoários) e fungos produtores de microtoxinas;
- ✚ Redução da carga microbiana geral: A irradiação elimina certos micro-organismos, sendo útil para substituir tratamentos químicos que poderiam deixar resíduos nos alimentos;
- ✚ Desinfestação: Destrói ovos e larvas de insetos (como o caruncho) presentes em grãos, cereais, frutas e especiarias, sem trazer prejuízo para os alimentos;
- ✚ Redução de recontaminações: A radiação ionizante tem alto poder de penetração, tornando possível tratar grande quantidade e variedades de alimentos sem nenhuma manipulação durante o processo;
- ✚ Esterilização a frio: A irradiação de alimentos não aumenta a temperatura do alimento e nem da embalagem, sendo assim, permite o tratamento de produtos resfriados, congelados ou em embalagens termossensíveis;
- ✚ Tempo de preparo: A irradiação provoca a diminuição do tempo de cozimento de alguns alimentos, principalmente os desidratados.



No entanto, a irradiação também apresenta algumas desvantagens. Primeiramente, a irradiação não pode ser utilizada em todos os tipos de alimentos. Em produtos com alto teor de gordura, por exemplo, ocorre o

aparecimento de um sabor desagradável devido ao ranço.

Além disso, com a irradiação, ocorre a perda de alguns nutrientes, como as vitaminas. Entretanto, essa perda é similar à causada por outros métodos de conservação, como a pasteurização e o congelamento. De fato, todas as formas de processamento de alimentos diminuem a disponibilidade de alguns nutrientes.

Outra desvantagem é o custo dos equipamentos usados na irradiação, que são caros e demandam infraestrutura específica. Também existem problemas ambientais associados à radiação ionizante, pois é necessário fazer a destinação adequada dos equipamentos e dos rejeitos radioativos decorrentes do processo.

Por fim, geralmente a primeira reação do consumidor em relação ao processo de irradiação de alimentos é de desconfiança, principalmente devido à desinformação e aos preconceitos associados indevidamente à tecnologia nuclear.

Comparada a outros tratamentos, a tecnologia de irradiação no Brasil ainda é pouco usada e pouco divulgada. Contudo, seu uso é seguro e eficaz e apresenta-se como uma opção muito promissora para reduzir o desperdício e melhorar a saúde pública, pois aumenta a vida de prateleira dos produtos e ajuda no controle de surtos de doenças causadas por alimentos contaminados.

A irradiação de alimentos também favorece a expansão do comércio internacional ao viabilizar a exportação de mais produtos agropecuários, já que apresentam maior durabilidade durante o transporte. Dessa maneira, para que esta tecnologia possa ser aplicada em maior escala no nosso país, será necessário realizar campanhas de informação ao consumidor, enfatizando que o alimento tratado por irradiação não fica radioativo e que seu consumo é seguro. Além disso, em comparação ao alimento similar não irradiado, ele apresenta uma melhor qualidade sanitária e suas características organolépticas são

preservadas. Devido à tecnologia, o alimento permanece adequado para o consumo por um período mais longo.

Nesse sentido, o uso da irradiação na indústria também pode e deve ser estimulado, já que apresenta mais vantagens do que desvantagens no processamento de alimentos.

Teste Conceitual 1 (Instrução por Pares)

Questão 1: *O que são ondas?*

- A. Perturbações que se deslocam no espaço, transportando energia e matéria.
- B. Perturbações que se deslocam no espaço, transportando apenas matéria.
- C. Perturbações que se deslocam no espaço, transportando exclusivamente energia de um ponto a outro, sem realizar transporte de matéria.
- D. Perturbações no espaço que se deslocam sem transportar matéria ou energia.

Resposta: C

A primeira questão deste estudo foi elaborada para introduzir a temática central, que é a irradiação de alimentos. Seu objetivo é abordar o conceito geral de ondas, para familiarizar os alunos com os princípios básicos que regem a propagação de energia através de meios físicos. Esse conhecimento é fundamental para entender como a irradiação funciona para preservar e proteger os alimentos.

Questão 2: *A luz visível tem um comprimento de onda entre 400-700 nanômetros (nm). Sabendo-se que uma luz tem um comprimento de onda de 500 nm, qual é a sua frequência? Use a equação da velocidade da luz ($c = \lambda v$), onde c é a velocidade da luz ($3,0 \times 10^8$ m/s), λ é o comprimento de onda e v é a frequência?*

- A. $1,5 \times 10^{15}$
- B. 6×10^{14}
- C. 8×10^{15}
- D. $1,7 \times 10^{15}$

Resposta: B

Esta questão foi preparada para avaliar o conhecimento dos alunos sobre o cálculo da frequência de ondas, um conceito fundamental na física. A frequência mede quantas oscilações completas ocorrem em um determinado intervalo de tempo, sendo crucial para entender as propriedades das ondas.

Questão 3: *Qual destas tem maior energia: luz vermelha com um comprimento de onda de aproximadamente 700 nm ou luz violeta com um comprimento de onda de aproximadamente 400 nm? Use a relação entre energia e comprimento de onda ($E = hv = hc/\lambda$), onde h é a constante de Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ J.s?*

- A. a luz violeta
- B. a luz vermelha
- C. ambas têm a mesma energia, pois estão dentro do espectro da luz visível

Resposta: A

Esta questão foi elaborada para avaliar a capacidade dos alunos de discernir e comparar as propriedades energéticas da luz vermelha e da luz violeta, considerando o comprimento de onda. A luz vermelha, com comprimento de onda mais longo, tem menor energia, enquanto a luz violeta, com comprimento de onda mais curto, tem maior energia. Esta relação inversa é fundamental na física quântica e essencial para entender a dualidade da luz como partícula e onda. Além disso, a questão visa aplicar os conceitos para comparar diferentes tipos de luz e obter uma visão valiosa sobre o nível de percepção dos alunos e sua capacidade de aplicar conceitos teóricos a exemplos práticos.

Questão 4: *Qual das seguintes alternativas é uma diferença entre ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas?*

- A. As ondas mecânicas podem se propagar no vácuo, enquanto as ondas eletromagnéticas não podem.
- B. As ondas eletromagnéticas podem se propagar no vácuo, enquanto as ondas mecânicas não podem.
- C. Ambas requerem um meio para se propagar.
- D. Ambas podem se propagar no vácuo.

Resposta: B

A questão em análise tem como objetivo avaliar a habilidade dos estudantes em discernir corretamente ondas mecânicas de ondas eletromagnéticas

Questão 5: Qual das seguintes alternativas é uma aplicação das ondas eletromagnéticas?

- A. Produção de som em alto-falante
- B. Detecção de objetos submersos (sonar)
- C. Transmissão de sinais de rádio e televisão
- D. Produção de ondas sísmicas.

Resposta: C

Esta questão visa avaliar se os estudantes têm conhecimento suficiente sobre a aplicação de algumas ondas eletromagnéticas em seu cotidiano.

1.2. Encontro 2

O Encontro 2 tem como objetivo conceituar radiação e diferenciar radiações ionizantes de não ionizantes. Além disso, busca apresentar os conceitos e as aplicações dos raios X e dos raios gama.

Para isso, utilizamos uma maquete de uma ampola de raios X (Figura 2) (SANTOS, 2023), com o intuito de explicar a formação dos raios X e suas aplicações em diferentes áreas, como a médica diagnóstica e a industrial, exemplificando com o caso do irradiador de alimentos.

Figura 2. Maquete da ampola de raios X e suas partes.



Fonte: Santos (2023).

Para verificar a aprendizagem dos alunos acerca dos conteúdos apresentados, aplicamos a metodologia Instrução por Pares, por meio de um Teste Conceitual.

Teste Conceitual 2 (Instrução por Pares)

Questão 1: O que é radiação?

- A. A transferência de energia através do espaço na forma de ondas ou partículas.
- B. A emissão de luz por uma lâmpada.
- C. O processo de aquecimento de um objeto ao sol.
- D. A propagação do som através do ar.

Resposta: A

Esta questão visa elucidar o conceito de "radiação" e tem como objetivo principal avaliar o nível de compreensão dos estudantes em relação à definição ampla desse fenômeno.

Questão 2: *Qual das seguintes afirmações sobre a radiação ionizante é verdadeira?*

- A. A radiação ionizante não pode causar danos aos tecidos vivos.
- B. A radiação ionizante pode remover elétrons dos átomos.
- C. A radiação ionizante não pode penetrar na matéria.
- D. A radiação ionizante não é usada em aplicações médicas.

Resposta: B

A questão proposta teve como objetivo avaliar principalmente a habilidade dos estudantes em identificar corretamente uma afirmação verdadeira sobre a radiação ionizante. Essa avaliação é fundamental para compreender o nível de entendimento dos alunos sobre este conceito específico no contexto mais amplo da física nuclear.

Questão 3: *Marque a alternativa que corresponde a uma fonte de radiação natural.*

- A. Raios-X
- B. Radônio
- C. Televisores
- D. Micro-ondas

Resposta: B

A questão proposta visa se estudante consegue distinguir a radiação natural da artificial.

Questão 4: *Qual das seguintes afirmações sobre a radiação não ionizante é verdadeira?*

- A. A radiação não ionizante tem energia suficiente para ionizar átomos.
- B. A radiação não ionizante inclui raios-X e raios gama.
- C. A radiação não ionizante é sempre prejudicial aos seres humanos.
- D. A radiação não ionizante inclui luz visível e ondas de rádio.

Resposta: D

A questão acima visa avaliar a habilidade dos estudantes em identificar corretamente uma afirmação verdadeira sobre radiação não ionizante.

Questão 5: *Das alternativas abaixo, qual se refere aos perigos da exposição à radiação ionizante?*

- A. Pode causar queimaduras na pele.
- B. Pode danificar o DNA das células, levando a mutações e possivelmente ao câncer.
- C. Pode causar cegueira.
- D. Todas as opções acima.

Resposta: B

Esta questão visa avaliar se os estudantes têm conhecimento suficiente sobre os perigos da exposição à radiação ionizante. Esta avaliação é importante para medir o entendimento dos alunos sobre este conceito específico, que abrange a física nuclear e a saúde ocupacional.

1.3. Encontro 3

O objetivo do Encontro 3 é apresentar as diferenças entre raios X e raios gama e explicar a irradiação de alimentos, destacando suas vantagens e desvantagens para uma vida sustentável com menos desperdício de alimentos.

Em seguida, sugerimos a aplicação do jogo “Qual Faixa?” com a finalidade de revisar o conteúdo aprendido. Este jogo de cartas pode ser encontrado no Anexo 1. As regras são as seguintes: um dos jogadores lança o dado e, com base na face que fica para cima (que define o tipo de carta a ser descartada), todos jogam suas cartas. Se alguém descartar a carta errada, deve pegar 3 cartas do monte. Caso não tenha uma carta adequada, o jogador deverá buscar no monte até encontrar uma. Vence quem descartar todas as cartas primeiro.

Por fim, a sequência didática é encerrada com a aplicação de testes conceituais utilizando a metodologia de Instrução por Pares (IpP).

Teste Conceitual 3 (Instrução por Pares)

Questão 1: *Como a radiação ionizante é usada na irradiação de alimentos?*

- A. A radiação ionizante é usada para matar bactérias e outros microrganismos nos alimentos.
- B. A radiação ionizante é usada para cozinhar os alimentos.
- C. A radiação ionizante é usada para alterar o sabor dos alimentos.
- D. A radiação ionizante é usada para tornar os alimentos radioativos.

Resposta: A

A questão proposta teve como objetivo avaliar o entendimento dos alunos sobre o uso da radiação ionizante na irradiação de alimentos, um tema de grande relevância que abrange conceitos fundamentais de física nuclear e suas aplicações práticas na preservação e segurança alimentar. Para responder adequadamente, os alunos precisam compreender os princípios da radiação ionizante e como ela pode ser empregada para impedir o crescimento de microrganismos nos alimentos, prolongando assim sua vida útil. Além disso, é crucial que os alunos estejam cientes das implicações de segurança e dos benefícios associados a este método de conservação alimentar.

Questão 2: *Qual das seguintes afirmações sobre a segurança da irradiação de alimentos é verdadeira?*

- A. A irradiação de alimentos torna os alimentos radioativos.
- B. A irradiação de alimentos é uma prática segura e aprovada pela Organização Mundial de Saúde.
- C. A irradiação de alimentos é prejudicial e deve ser evitada.
- D. A irradiação de alimentos remove todos os nutrientes dos alimentos.

Resposta: B

A questão formulada teve como propósito avaliar a profundidade do conhecimento dos alunos sobre a segurança relacionada à irradiação de alimentos. Este tema é de suma importância, pois aborda um aspecto central na preservação e segurança alimentar.

Questão 3: *Quais são as principais fontes de radiação utilizadas na irradiação de alimentos?*

- A. Raios X e raios gama
- B. Luz ultravioleta e luz infravermelha
- C. Micro-ondas e ondas de rádio
- D. Luz visível e luz ultravioleta

Resposta: A

A questão proposta foi formulada com o objetivo de avaliar a compreensão dos alunos sobre as diferentes fontes de radiação ionizante empregadas no processo de irradiação de alimentos.

Questão 4: *Qual a principal razão para irradiar carnes de boi e de aves?*

- A. Para melhorar a cor e a textura.
- B. Para aumentar a vida útil.
- C. Para matar bactérias e outros micro-organismos.
- D. Para torná-las mais macias.

Resposta: C

A questão proposta visa avaliar a compreensão dos alunos sobre a irradiação de carnes e aves, um tema crucial na preservação de alimentos e na garantia da segurança alimentar.

Questão 5: *A irradiação de alimentos é utilizada em quais tipos de produtos alimentícios?*

- A. Carnes e aves
- B. Frutas e vegetais
- C. Especiarias e grãos
- D. Todos os itens acima

Resposta: D

A pergunta proposta foi elaborada para avaliar o entendimento dos alunos sobre a diversidade de alimentos que podem ser submetidos ao processo de irradiação.

2. Conceitos de Física na Temática Irradiação de Alimentos

A irradiação de alimentos é uma técnica amplamente empregada para diversas finalidades, tais como desinfecção, prolongamento da vida útil e garantia da segurança alimentar. Trata-se de um método de conservação física, semelhante a outros métodos, como congelamento, refrigeração e pasteurização, no qual os alimentos são submetidos a uma exposição controlada a radiação ionizante.

O procedimento envolve a exposição de alimentos, que podem estar embalados ou a granel, a radiações ionizantes, como raios gama, raios X ou feixe de elétrons. Um exemplo comum de fonte de raios gama para o processamento de alimentos é o radioisótopo Cobalto-60 (^{60}Co).

De acordo com Levy e colaboradores (2020), uma grande vantagem da irradiação de alimentos é que a técnica ocorre em temperatura ambiente e pode ser realizada após o alimento já estar embalado, reduzindo bastante o risco de recontaminação durante as etapas de transporte, armazenamento e comercialização dos produtos alimentícios irradiados. Além disso, a irradiação não deixa resíduos no alimento, não torna o alimento radioativo e não deixa material radioativo no meio ambiente. A técnica é conduzida de forma a garantir a qualidade nutricional dos alimentos.

No Brasil, a técnica da irradiação de alimentos foi introduzida na década de 60 pelos Ministérios da Marinha de Guerra, do Exército e da Aeronáutica Militar, com o objetivo de proteger a saúde das pessoas em relação aos alimentos, desde a sua obtenção até o seu consumo, em todo o território nacional (Levy et al., 2020). Desde 1974, o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) possui equipamentos para irradiação de alimentos, tanto o ^{60}Co quanto aceleradores de elétrons. Atualmente, existe um irradiador multipropósito com diversos fins, incluindo a irradiação de alimentos (Figura 1).

Figura 3. Irradiador de cobalto-60 multipropósito, localizado no IPEN.



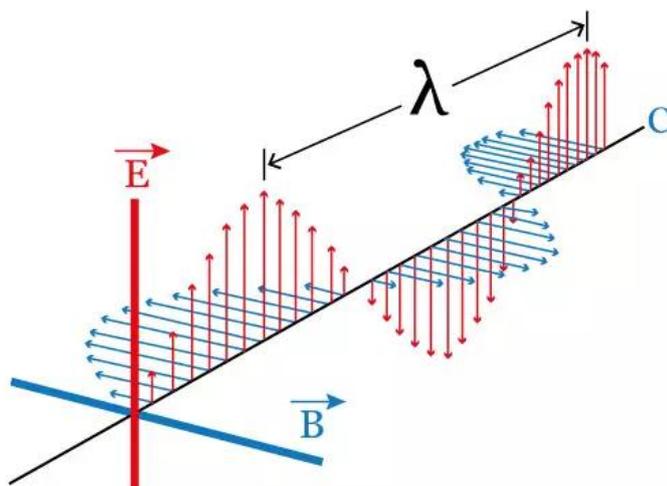
Fonte: <https://abrafrutas.org/2022/01/uma-nova-aliada-da-preservacao-de-alimentos/>.

Para uma melhor compreensão do processo de irradiar alimentos, é fundamental ter conhecimento na área da física de alguns conceitos tais como: ondas eletromagnéticas, espectro eletromagnético, diversos tipos de radiação, incluindo radiação não ionizante, radiação ionizante como os raios X, raios gama, e também compreender a natureza da radioatividade.

2.1.1. Ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético

Uma onda eletromagnética é o resultado da oscilação de uma carga elétrica, que faz com que o campo elétrico associado a ela também varie, gerando um campo magnético oscilante, e vice-versa. Ou seja, as ondas eletromagnéticas são formadas pela oscilação de campos elétrico e magnético perpendiculares entre si (Figura 2). Essas ondas podem ser classificadas levando em consideração seus comprimentos de onda e frequência, em um espectro eletromagnético.

Figura 4. Onda eletromagnética, com campo magnético (B) e elétrico (E).



Fonte: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/ondas-eletromagneticas>.

Existem vários tipos diferentes de ondas eletromagnéticas compondo o espectro, sendo representadas pelas faixas de frequência, comprimento e oscilação das ondas. Desta forma, quanto menor for o comprimento da onda, maior será a sua frequência. A seguir, temos as classificações dos tipos de ondas no espectro, de acordo com suas características (Halliday, Resnick & Walker, 2016).

Assim como uma onda mecânica, as ondas eletromagnéticas são definidas pelas seguintes grandezas:

Período de oscilação da onda (T): representa o tempo necessário para uma onda realizar uma oscilação completa. No SI, a unidade de período é o segundo (s).

Frequência (f): corresponde ao número de oscilações da onda por unidade de tempo. A onda eletromagnética produzida se propaga com a mesma frequência de oscilação das cargas elétricas que a gerou. No SI, a unidade de frequência é denominada hertz (Hz). O período e a frequência são inversos um do outro.

$$T = \frac{1}{f} \text{ ou } f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Comprimento de Onda (λ): é a distância entre valores repetidos sucessivos num padrão de onda. Pode ser representada também pela distância entre picos (máximos), vales (mínimos).

Amplitude (A): é a distância de uma crista ou um vale ao nível de equilíbrio, ou seja, é a “altura da onda”.

Velocidade de propagação da onda (v): corresponde à velocidade com que o pulso da onda se propaga no meio. Como a onda se propaga com velocidade constante, podemos definir a velocidade da onda usando a equação do movimento uniforme da cinemática.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), teremos:

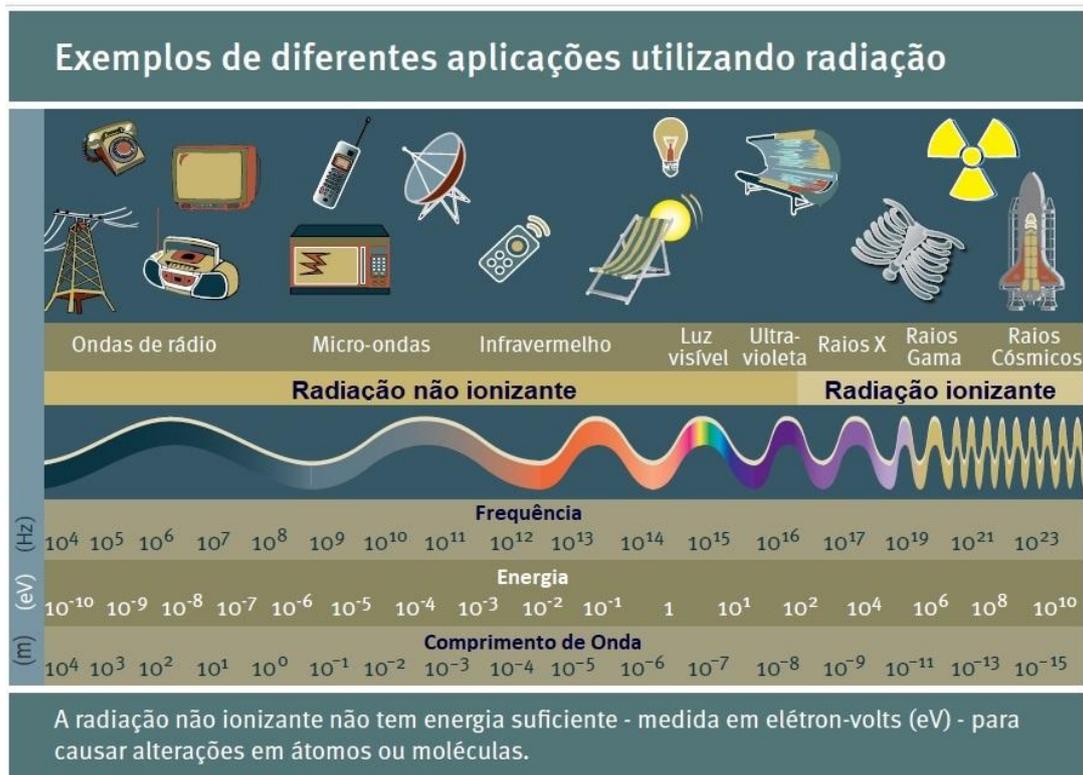
$$v = \lambda \cdot f \quad (3)$$

No século XIX, usando as propriedades dos campos elétrico e magnético conhecidas na época, Maxwell calculou a velocidade de propagação dessas ondas, obtendo o valor de 3×10^8 m/s, que ele reconheceu como sendo a velocidade da luz. Com base nessa descoberta, ele propôs que a luz visível deveria ser uma onda eletromagnética. Alguns anos depois, essa descoberta teórica de Maxwell foi comprovada experimentalmente por Heinrich R. Hertz. Assim, para uma onda eletromagnética, temos a relação:

$$c = \lambda \cdot f \quad (4)$$

O espectro eletromagnético é composto por todas as variedades de radiações existentes no universo (Figura 3). Nos extremos do espectro estão as ondas de rádio, que possuem a frequência mais baixa, e os raios gama (um dos objetos de nosso estudo). Entre essas estão: micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta e raios X (este último, também objeto de nosso estudo). Além disso, podemos citar os raios cósmicos, que são partículas altamente energéticas que podem se originar dentro e fora de nossa galáxia (Okuno, 2010).

Figura 5. Organização das ondas no espectro eletromagnético.



Fonte: Adaptado de <http://www.unscear.org/unscear/en/publications/booklet.html>.

- ✚ Ondas de rádio: Essas ondas estão localizadas na extremidade do espectro eletromagnético e têm frequências baixas e comprimentos longos. Elas são produzidas pela aceleração de elétrons em uma antena de emissão e têm frequências de até 10^8 hertz (Hz).
- ✚ Micro-ondas: Essas ondas têm frequências mais altas do que as ondas de rádio, mas mais baixas do que o infravermelho (entre 10^8 e 10^{12} Hz). Elas são usadas principalmente nas áreas de telecomunicações.
- ✚ Infravermelho: Essas ondas estão próximas à luz visível, mas não podem ser vistas a olho nu. Elas são emitidas por átomos em corpos aquecidos e têm frequências entre 10^{11} e 10^{14} Hz.
- ✚ Luz visível: Essa é a luz que nossos olhos podem ver. Está localizada no centro do espectro eletromagnético e tem frequências entre $4,6 \times 10^{14}$ e $6,7 \times 10^{14}$ Hz. As frequências menores produzem luz vermelha, enquanto as mais altas produzem luz violeta.
- ✚ Raios ultravioleta: Esses raios têm comprimentos menores do que a luz visível e maiores do que os raios X. Eles têm frequências entre 10^{16} e 10^{18} Hz e são emitidos por átomos excitados. O contato direto com esses raios pode prejudicar os olhos e causar câncer de pele.

- ✚ Raios X: Esses raios têm comprimentos menores do que os raios ultravioleta e maiores do que os raios gama. Eles foram descobertos pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen e são produzidos pelo choque de elétrons em alta velocidade em um material metálico. Sua frequência está entre 10^{18} e 10^{20} Hz.
- ✚ Raios gama: Esses raios estão localizados na extremidade do espectro eletromagnético. Eles têm a maior frequência (de 10^{20} e 10^{22} Hz) e o menor comprimento de onda. São formados pela desintegração do núcleo de elementos radioativos e são responsáveis pela produção de bombas atômicas.
- ✚ Raios cósmicos: Esses raios são partículas subatômicas altamente energéticas que se originam no espaço interestelar, fora do nosso sistema solar, e que constantemente bombardeiam a Terra e outros corpos celestes. Essas partículas carregadas podem ser prótons, nêutrons, elétrons, núcleos atômicos pesados e até mesmo partículas exóticas, como antiprótons e neutrinos.

De acordo com a Figura 3, o espectro eletromagnético pode ser dividido entre radiação não ionizante e ionizante, compreendendo os raios X, raios gama e raios cósmicos.

2.1.2. Radiação ionizante e não ionizante

A radiação é a emissão de energia por uma fonte, que pode ser transmitida através do vácuo, do ar ou de meios materiais. Existem dois tipos principais de radiação: radiação corpuscular, que inclui partículas como partículas alfa e elétrons, e radiação ondulatória, que abrange ondas eletromagnéticas, como raios X e raios gama. A radiação de partículas ocorre quando um átomo instável (ou radioativo) se desintegra. Por outro lado, a radiação eletromagnética não possui massa e se propaga em forma de ondas. Ela pode variar de energia muito baixa a muito alta, abrangendo o que é conhecido como o espectro eletromagnético.

A radiação pode ser de origem natural ou artificial. Por exemplo, o corpo humano está exposto diariamente à radiação natural, proveniente do solo, gases subterrâneos e da radiação cósmica emitida pelo Sol e pelo espaço sideral. Além disso, fontes artificiais, como procedimentos médicos, televisores, telefones celulares e fornos de micro-ondas, também emitem algum tipo de radiação (Young & Freedman, 2016).

É importante ressaltar, contudo, que a radiação não é necessariamente perigosa. Seu impacto depende de fatores como intensidade, tipo e tempo de exposição. Essas características são fundamentais para compreender os riscos e as potenciais aplicações da radiação para o ser humano.

A energia de uma onda eletromagnética é quantizada, ou seja, é emitida e propagada em pequenos pacotes de energia chamados fótons. Essas partículas não possuem carga elétrica nem massa em repouso e se deslocam à velocidade da luz. Durante a interação da radiação eletromagnética com a matéria, a absorção e emissão de energia são determinadas pela energia de cada fóton, que pode ser calculada por meio da equação:

$$E = h \cdot f \quad \text{ou} \quad E = h \frac{c}{\lambda} \quad (5)$$

Onde:

h é a constante de Planck e vale $6,63 \times 10^{-34}$ J.s $\cong 4,14 \times 10^{-15}$ eV, c é a velocidade da luz, igual a 3×10^8 m/s. Fazendo a equivalência, teremos: $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}$ J.

Radiação ionizante é qualquer tipo de radiação capaz de remover um elétron de um átomo ao interagir com ele, um processo descrito como ionização, conforme apontado por Bushong (2010). Dessa forma, qualquer forma de energia que tenha a capacidade de interagir com a matéria e causar ionização é classificada como radiação ionizante.

Entre os principais tipos de radiação ionizante, destacam-se os raios X e os raios gama. Os raios gama são ondas eletromagnéticas de alta frequência e grande capacidade de penetração, geradas por processos subatômicos durante o decaimento radiativo de núcleos atômicos. Por sua vez, os raios X, também caracterizados por alta penetração, são produzidos quando elétrons acelerados colidem com um alvo metálico, resultando na emissão de radiação. Existem diferenças significativas entre raios X e raios gama:

- ✚ Origem: Os raios X são gerados fora do núcleo atômico, a partir de choques de elétrons acelerados com alvos metálicos. Em contraste, os raios gama são emitidos durante o decaimento radioativo de núcleos atômicos instáveis.
- ✚ Energia: Geralmente, os raios gama possuem energias mais altas, frequentemente superiores a 100 keV, enquanto os raios X apresentam energias que variam de aproximadamente 100 eV a 100 keV.
- ✚ Penetração: Devido à sua maior energia, os raios gama têm maior capacidade de atravessar materiais sem serem absorvidos, quando comparados aos raios X.

- ✚ Utilização: Os raios X são amplamente utilizados na medicina para a obtenção de imagens diagnósticas, como radiografias e tomografias. Já os raios gama têm aplicações diversificadas, incluindo radioterapia, esterilização de equipamentos médicos e irradiação de alimentos.

Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios X em 1895, durante estudos sobre a luminescência causada por raios catódicos em um tubo de Crookes. Por essa descoberta, ele recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1901 (Lima, Afonso & Pimentel, 2009). Os raios X são gerados no Tubo de Coolidge, onde elétrons emitidos pelo cátodo são acelerados e colidem com o ânodo, produzindo ondas eletromagnéticas.

Os raios X possuem uma ampla gama de aplicações, incluindo radiografias médicas, tratamentos contra o câncer e pesquisas científicas. Por outro lado, os raios gama são emitidos por núcleos instáveis durante processos de decaimento radioativo. Eles têm a capacidade de ionizar moléculas e átomos ao se propagarem, apresentando alto poder de penetração. Contudo, seu uso inadequado pode representar riscos significativos à saúde.

Em resumo, os raios X e os raios gama são formas de radiação ionizante, com origens e propriedades distintas, que exigem cuidados específicos para garantir sua utilização segura.

2.2. O Irradiador de Alimentos

Segundo Santana (2014), as empresas de alimentos investem em sistemas de inspeção por raios X por diversos motivos. Para certas empresas, essa tecnologia é uma ferramenta indispensável para a gestão de riscos; para outras, é uma maneira de aprimorar a qualidade dos produtos. Há também aquelas que veem nesses sistemas uma estratégia de marketing para gerenciar sua reputação.

O sistema de inspeção por raios X tem a capacidade de identificar inconsistências em uma variedade de materiais. Seja em um pacote individual ou em um fluxo contínuo de produtos, ele consegue detectar a presença de ossos, pedras, vidro e metais como ferro, aço, aço inoxidável e alumínio. Além disso, o sistema é capaz de identificar diversos tipos de plásticos, incluindo nylon, PVC e Teflon.

A capacidade de detectar partículas minúsculas varia conforme o material e a sensibilidade do sistema de inspeção por raios X. Além de corpos estranhos, o sistema também pode identificar itens quebrados ou ausentes. Ao contrário dos detectores de

metais, o sistema de inspeção por raios X pode ser utilizado para detectar uma ampla gama de inconsistências em produtos embalados em latas ou envoltos em película metalizada.

É importante destacar que o sistema de inspeção por raios X não se limita à detecção de inconsistências. Ele também pode desempenhar diversas outras funções, como estimar o peso das peças e medir o teor de gordura da carne.

Como funciona a irradiação de alimentos por raios X? Um feixe de raios X é projetado através do produto sendo inspecionado. Do lado oposto do produto, um conjunto de fotodiodos capta a radiação que atravessa o produto. Esses fotodiodos geram um sinal de tensão ou corrente, que é correlacionado com a quantidade de raios X detectada. Esse sinal é então convertido em uma imagem (Figura 4).

Se o produto analisado contiver itens mais densos do que a sua composição geral, eles aparecerão como áreas escuras na imagem, indicando que menos radiação de raios X conseguiu atravessá-los. Por outro lado, vazios na composição do produto, que são menos densos que a composição geral, aparecerão como áreas mais claras, pois mais radiação conseguiu penetrar. Além disso, o sistema pode ser ajustado para rejeitar automaticamente os itens que apresentem defeitos.

De acordo com Santana (2014), a inspeção por raios X é capaz de identificar uma série de imperfeições, indo além da simples detecção de contaminação. Entre as inconsistências que podem ser detectadas estão:

- ✚ Presença de vazios ou bolhas de gás;
- ✚ Componentes fora do tamanho padrão ou ausentes no produto;
- ✚ Ausência total do produto;
- ✚ Rachaduras ou fissuras no produto ou na embalagem;
- ✚ Aglomerações em produtos em pó.

Além disso, o sistema é capaz de calcular o peso dos itens individuais, desde que estejam devidamente separados, permitindo a rejeição de embalagens que estejam abaixo do peso. Portanto, o sistema de inspeção por raios X possibilita a verificação de diversos parâmetros de qualidade, garantindo uma inspeção rápida e eficiente.

Figura 6. Equipamento de irradiação de alimentos por raios X.



Fonte: Food Safety Brazil Org, 2023.

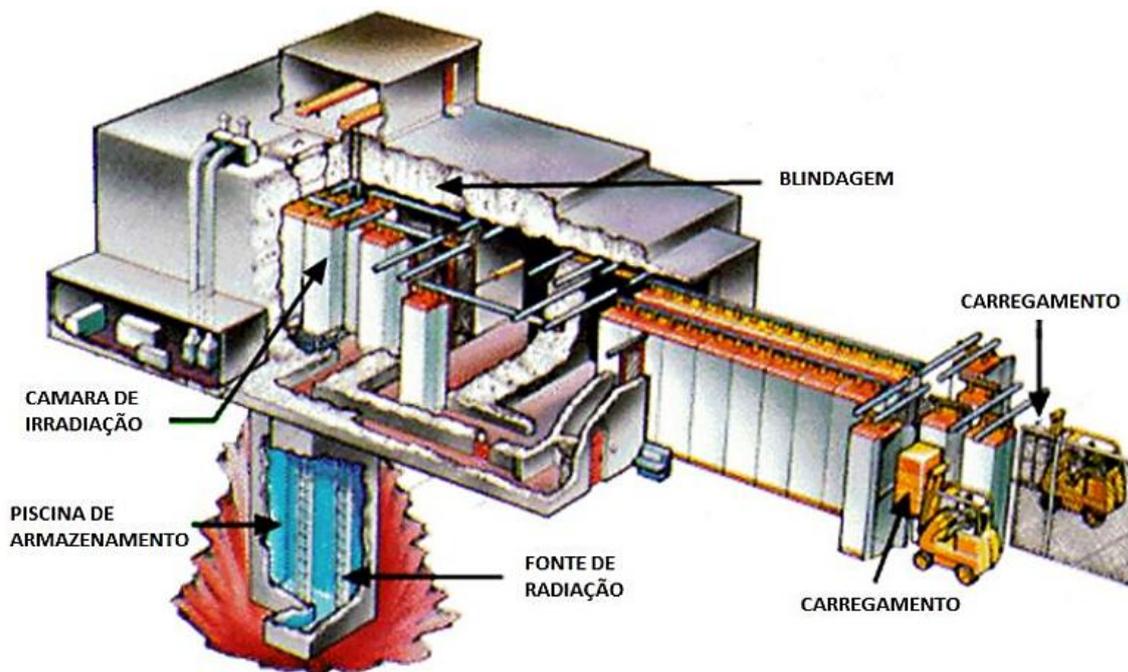
Para o irradiador com raios gama, os alimentos são colocados em um recipiente de metal hermeticamente fechado contendo elementos radioativos como cobalto-60 ou césio-137, que emitem raios gama. Os raios são direcionados para o alimento que está sendo irradiado, mas o próprio alimento nunca entra em contato direto com a fonte de cobalto ou césio (Figura 5).

O processo de irradiação de alimentos segue os seguintes passos:

1. Preparação do alimento: O alimento é limpo e embalado em recipientes resistentes à radiação antes do processo de irradiação.
2. Exposição à radiação: O alimento embalado é então exposto à fonte de raios gama, geralmente cobalto-60 ou césio-137. A radiação penetra no alimento, matando ou inativando os organismos prejudiciais presentes.
3. Tempo de exposição: O tempo de exposição varia conforme o tipo de alimento e o objetivo da irradiação. Por exemplo, a irradiação pode ser utilizada para retardar o amadurecimento, prevenir a brotação ou eliminar patógenos.
4. Pós-processamento: Após a irradiação, o alimento não retém radioatividade e pode ser manuseado sem riscos. É então armazenado e transportado nas mesmas condições que os alimentos não irradiados.

A irradiação de alimentos é uma técnica segura e eficaz, respaldada por diversas organizações internacionais de saúde e segurança alimentar.

Figura 7. Irradiador de alimentos com radiação gama.



Fonte: <https://www.ifsudestemg.edu.br/>

3. Metodologias Ativas no Ensino de Radiação

As metodologias ativas de aprendizagem são estratégias pedagógicas que buscam envolver os estudantes de forma ativa e participativa no processo de construção do conhecimento. Em contraste com as abordagens tradicionais, que se baseiam na transmissão passiva de informações pelo professor, as metodologias ativas incentivam a autonomia dos alunos e os colocam como protagonistas da própria aprendizagem (Stuart, 2019).

Dentre as características essenciais das metodologias ativas, destacamos aqui:

- ✚ **Envolvimento Ativo:** As metodologias ativas promovem a participação ativa dos estudantes por meio de atividades práticas, debates, resolução de problemas e colaboração em grupo.
- ✚ **Feedback Imediato:** Os alunos recebem feedback imediato durante o processo de aprendizagem, o que ajuda a consolidar o conhecimento.

- ✚ Professor como Mediador: O papel do professor muda de transmissor de informações para mediador, orientando os alunos e estimulando o pensamento crítico.
- ✚ Foco em Habilidades: Além de transmitir conteúdo, as metodologias ativas desenvolvem habilidades como pensamento crítico, comunicação e trabalho em equipe.

Dentre os vários tipos de metodologias ativas, podemos citar:

- ✚ Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP): Os alunos trabalham em grupos para resolver problemas do mundo real, aplicando conceitos aprendidos.
- ✚ Flipped Classroom (Sala de Aula Invertida): Os alunos estudam o conteúdo em casa e usam o tempo em sala de aula para discussões, atividades práticas e esclarecimento de dúvidas.
- ✚ Peer Instruction (Instrução entre Pares): Os alunos discutem conceitos com seus colegas e respondem a perguntas durante a aula.
- ✚ Design Thinking: Abordagem que incentiva a criatividade e a resolução de problemas por meio de etapas como empatia, definição, ideação, prototipagem e teste.

Essas metodologias têm o potencial de transformar a experiência educacional, tornando-a mais dinâmica, relevante e alinhada com as necessidades dos alunos e da sociedade.

De acordo com Araujo & Mazur (2013), o ensino de física eficaz vai além da simples exposição de conteúdos e requer métodos de ensino ativos que envolvam os estudantes como agentes corresponsáveis pelo processo de aprendizagem. Dois desses métodos são o Ensino sob Medida (EsM) e a Instrução por Pares (IpP), aplicados desde a década de 90 e reconhecidos por melhorar a aprendizagem conceitual e o desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais.

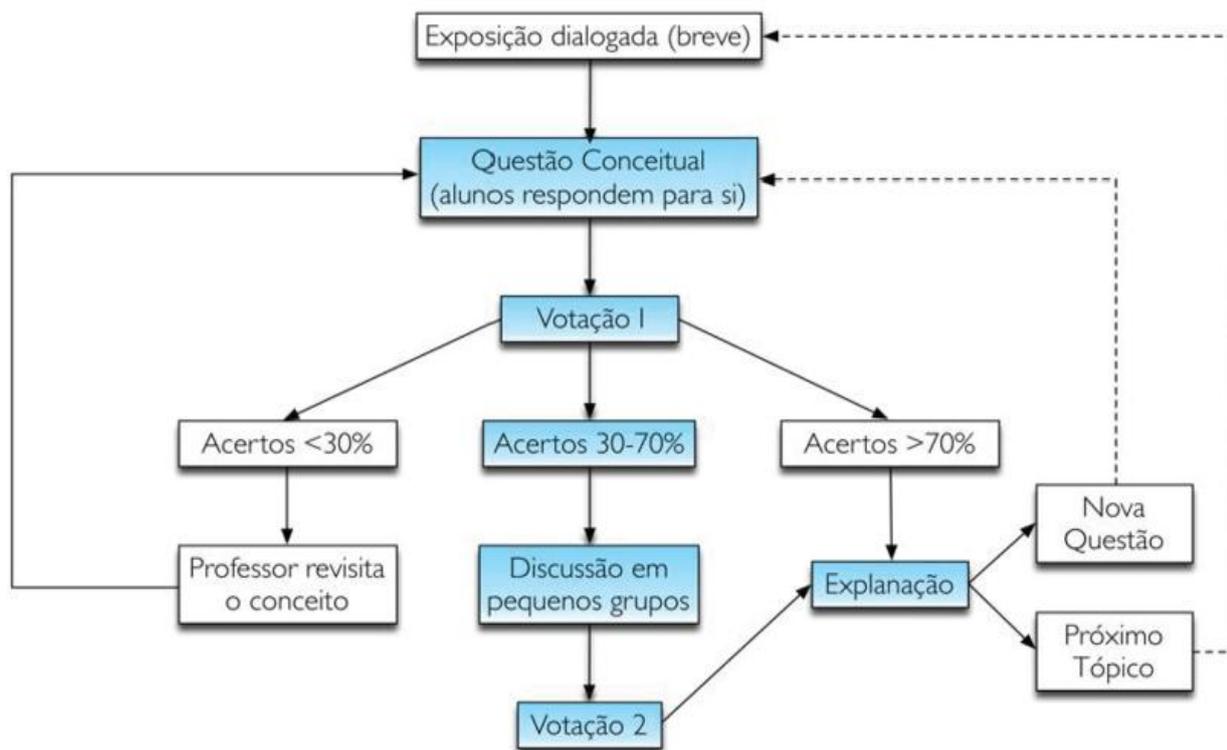
A Instrução por Pares envolve a colaboração entre os estudantes, incentivando-os a discutir ideias, trabalhar em grupo e ensinar uns aos outros. Esse método promove o diálogo entre os alunos, facilitando a troca de conhecimentos e experiências, o que pode aumentar a compreensão dos conceitos e o engajamento na aprendizagem (Mörschbacher & Padilha, 2017).

Desenvolvido pelo físico Eric Mazur (2015), a IpP é uma estratégia educacional amplamente aplicada, especialmente nas ciências e engenharias. Seu princípio básico é promover a interação entre os alunos para que aprendam uns com os outros. A estratégia geralmente envolve os seguintes passos:

- ✚ Introdução ao tópico: O professor apresenta o conceito ou tópico a ser estudado.
- ✚ Pergunta conceitual: O professor formula uma pergunta relacionada ao tópico, que requer raciocínio e não apenas uma resposta direta.
- ✚ Votação individual: Cada aluno responde à pergunta individualmente, estimulando-os a pensar sobre o conceito antes da discussão em grupo.
- ✚ Análise dos resultados: Os resultados são analisados em termos percentuais. Se menos de 30% acertaram, o professor revisita o conteúdo; se mais de 70%, é feita uma breve explanação e segue-se para a próxima questão; entre 30% e 70%, ocorre a discussão em pares.
- ✚ Discussão em pares: Os alunos são divididos em duplas ou pequenos grupos para discutir suas respostas e argumentar seus pontos de vista.
- ✚ Votação novamente: Após a discussão, os alunos votam novamente na mesma pergunta.
- ✚ Discussão em sala de aula: O professor facilita uma discussão em sala de aula, onde os alunos compartilham suas respostas, raciocínios e justificativas.

Esse método não apenas engaja os alunos ativamente no processo de aprendizagem, mas também promove o desenvolvimento de habilidades como pensamento crítico, comunicação e colaboração. O diagrama a seguir auxilia na compreensão das etapas na aplicação da metodologia (Figura 6).

Figura 8. Diagrama sobre a aplicação do método Instrução por Pares (IpP).



Fonte: Araujo & Mazur (2013).

A Instrução por Pares (IpP) promove a participação ativa dos alunos e a construção conjunta do conhecimento. Segundo Valente et al. (2017), há benefícios significativos associados a essa metodologia:

- ✚ Melhora o engajamento dos alunos, tornando as aulas mais dinâmicas e interessantes.
- ✚ Reforça a compreensão dos tópicos por meio da discussão entre os colegas.
- ✚ Identifica conceitos mal compreendidos, oferecendo oportunidades para esclarecimentos.
- ✚ Desenvolve habilidades de comunicação e argumentação.
- ✚ Promove a aprendizagem colaborativa, incentivando a cooperação e o trabalho em equipe.

Para maximizar esses benefícios, é crucial que o professor crie um ambiente seguro e encorajador para os alunos expressarem suas ideias e dúvidas. Além disso, a formulação de perguntas conceituais desafiadoras é fundamental para estimular o pensamento crítico e facilitar discussões significativas (Araujo & Mazur, 2013).

A escolha adequada de questões conceituais pode aumentar a eficiência na promoção de debates enriquecedores entre os alunos, especialmente quando envolvem

raciocínios relacionados a concepções alternativas e dificuldades sobre o conteúdo estudado. Além disso, a atribuição de notas com base no desempenho nos testes conceituais durante as atividades de IpP motiva os alunos a se engajarem mais ativamente nas discussões e na compreensão dos conceitos abordados.

Em resumo, ao integrar questões e atribuir notas com base no desempenho nos testes conceituais em sala de aula, a Instrução por Pares pode se tornar uma estratégia mais eficaz na promoção do aprendizado ativo e na construção colaborativa do conhecimento.

4. Considerações Finais

A implementação comercial da tecnologia de irradiação de alimentos no Brasil tem apresentado um crescimento gradual e lento, em grande parte devido a concepções errôneas de uma ampla parcela dos consumidores brasileiros. Muitos têm uma visão preconcebida, originada da imagem negativa associada à energia nuclear. Assim, podemos afirmar que a educação desempenha um papel crucial na aceitação de novas tecnologias pelos consumidores, especialmente no caso dos alimentos irradiados.

Nesse sentido, a abordagem desses conceitos em sala de aula não só atende a uma das recomendações dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) sobre Física Moderna, que enfatiza a necessidade de discutir as diversas aplicações da energia nuclear, incluindo seu uso na agricultura e, por consequência, a irradiação de alimentos, como também funciona como uma porta de entrada para a compreensão de conceitos da Física que muitas vezes são alvo de preconceito. No entanto, o tema específico da irradiação de alimentos não é explicitamente mencionado, cabendo ao docente decidir como abordar essa área.

Portanto, a relevância da participação ativa do estudante destaca a importância de contextualizar os saberes científicos, permitindo que o aluno compreenda as finalidades do conhecimento. Consequentemente, acreditamos que uma abordagem pedagógica das ciências, orientada para a realidade cotidiana, é um meio eficaz de transformar o aluno em um agente ativo no processo educacional, bem como um multiplicador de informações científicas.

Com este trabalho, esperamos que os alunos compreendam que a utilização da radiação ionizante visa assegurar a segurança dos alimentos, sendo uma alternativa eficiente e segura ao uso de pesticidas agrícolas, além de se mostrar promissora para prolongar a vida útil dos alimentos e minimizar as perdas nas colheitas. Dessa forma, o estudante se tornará um agente multiplicador da importância da Física Moderna em nosso cotidiano, além de ajudar a desmistificar a ideia de que essa área da Física seja responsável apenas por grandes danos à humanidade.

Além disso, as metodologias ativas, que promovem o envolvimento ativo dos estudantes por meio de atividades práticas, debates, resolução de problemas e colaboração em grupo, desempenham um papel fundamental nesse processo educativo. Essas metodologias permitem que os alunos recebam feedback imediato durante o processo de aprendizagem, o que ajuda a consolidar o conhecimento de forma mais eficaz.

Pudemos confirmar na prática todos esses benefícios, observando que a aplicação dessas metodologias realmente melhora o engajamento dos alunos, tornando as aulas mais dinâmicas e interessantes. Ao promover discussões entre os colegas, a compreensão dos tópicos foi reforçada, e conceitos mal compreendidos foram prontamente identificados e esclarecidos. Além disso, essas práticas efetivamente desenvolveram habilidades de comunicação e argumentação, promovendo a aprendizagem colaborativa e incentivando a cooperação e o trabalho em equipe.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino aprendizagem de física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 30, n. 2, p. 362-384, 2013.

BUSHONG, S. C. Ciência radiológica para tecnólogos: física, biologia e proteção. [tradução Sandro Martins Dolghi et al.] Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica. 10 ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC-GEN, 2016.

LEVY, D. et al. Irradiação de alimentos no Brasil: revisão histórica, situação atual e desafios futuros. Brazilian Journal of Radiation Sciences, p. 1-16, 2020.

LIMA, R. D. S.; AFONSO, J. C.; PIMENTEL, L. C. F. Raios-X: fascinação, medo e ciência. Química Nova, v. 32, p. 263-270, 2009.

MAZUR, E. Peer instruction: a revolução da aprendizagem ativa. Trad. Anatólio Laschuk. Porto Alegre: Penso, 2015.

MÖRSCHBÄCHER, J. L.; PADILHA, T. A. F. Contribuições e desafios da metodologia instrução entre pares: um estudo de caso no ensino técnico, 2017. Disponível em: <<https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/20dee545-55dd-4e4f-bb41-19fbc768b488/content>>. Acesso em: 15 de março de 2024.

OKUNO, E. Física das radiações. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

SANTANA, A. Sistema de inspeção por raio X no controle de qualidade de alimentos. Food Safety Brazil, 2014. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/sistema-de-inspecao-por-raio-x-no-controle-de-qualidade-de-alimentos/>. Acesso em: 24 novembro de 2024.

SANTOS, A. A. Desenvolvimento de uma maquete da ampola de raios X para ensino e aprendizagem de seus componentes. Trabalho de Conclusão de Curso de Física Médica. Universidade Federal de Sergipe, 2023.

STUDART, N. Inovando a ensinagem de física com metodologias ativas. Revista do Professor de Física, v. 3, n.3, p. 1-24, 2019.

VALENTE, J. A., ALMEIDA, M. E. B., & GERALDINI, A. F. S. Metodologias ativas: das concepções às práticas em distintos níveis de ensino. Revista Diálogo Educacional, v. 17, n. 52, p. 455-478. DOI: 10.7213/1981-416x.17.052.ds07, 2017.

YOUNG, H. D., FREEDMAN, R. A. Física II – Termodinâmica e Ondas. 14 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

ANEXO 1 – JOGO: QUAL FAIXA?

Fonte: SANTOS, B. M. et al, Jogo de cartas sobre o espectro eletromagnético. UFAC, 2022.

Público alvo

Destina-se a alunos do ensino médio que estejam estudando o tema de radiações eletromagnéticas. E para professores de física/ciências em formação inicial ou continuada, como exemplo de jogos para o ensino de física/ciências.

Estrutura do jogo

Trata-se de um baralho de cartas sobre o espectro eletromagnético (Figura 1) e exemplos de suas aplicações no cotidiano, com a possibilidade de execução de vários jogos com o baralho construído.



Fonte: <https://static.mundoeducacao.uol.com.br/mundoeducacao/2020/05/espectro-eletromagnetico.jpg>

O baralho completo soma um total de 85 cartas e está apresentado no Apêndice A. São 7 naipes/categorias com 11 cartas cada, no qual cada naipe/categoria é composta por:

- 1 carta que nomeia a faixa de radiação (por ordem crescente com a frequência da onda e energia, temos: “Ondas de rádio”; “Micro-Ondas”; “Infravermelho”; “Luz visível – Cotidiano”; “Ultravioleta”; “Raios-X”; “Raios Gamas”) e

- 10 cartas com os respectivos exemplos, observações ou aplicações no cotidiano ou na atualidade de radiações de cada faixa do espectro eletromagnético (listadas anteriormente).

Complementa o baralho um naipe/categoria com 8 cartas:

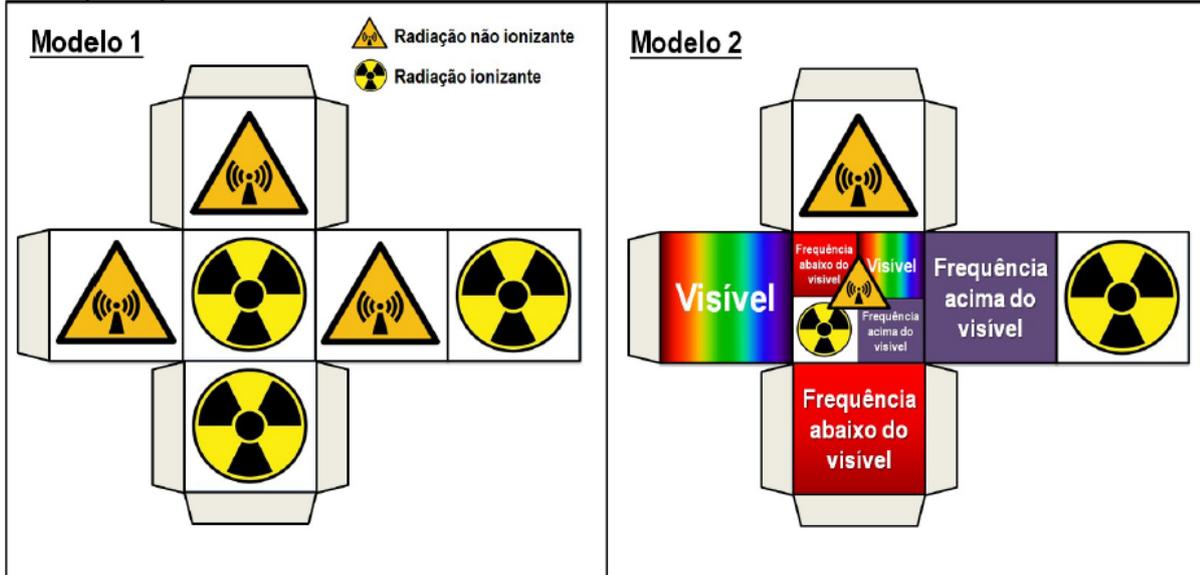
- 1 carta chamada “Luz visível – Espectro” e
- 7 cartas, uma para cada cor do espectro visível.

A Figura 2 mostra todas as categorias adotadas no baralho, mostrando um exemplo de duas cartas de cada faixa do espectro eletromagnético adotado no baralho: a carta que nomeia a faixa do espectro, a qual indica o naipe, e uma carta exemplo/aplicação da respectiva faixa. A maioria das cartas é algum exemplo ou aplicação da faixa do espectro eletromagnético no cotidiano ou na atualidade.

Figura 2: Exemplo de cartas do baralho.



Figura 3: Modelo 1 de dado para o jogo “Resta uma radiação” (esquerda) e Modelo 2 de dado para o jogo “Qual faixa?” (direita).



Durante a elaboração do jogo foi considerado alguns conceitos importantes que devem ser observados pelos usuários do baralho. A saber, observaram-se as grandezas: comprimento de onda (λ), frequência da onda (f), velocidade da luz no vácuo (c), energia da onda (E) e constante de Planck (h). Descrevem-se as relações entre estas grandezas da seguinte forma:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{ou} \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

Eq. 1

$$E = hf$$

Eq. 2

“Qual faixa?” também inspirado no jogo UNO, mas incluindo uma dinâmica diferente de um jogador em cada rodada ter a opção de escolher qual tipo de carta deverá ser lançada na mesa, tirado no dado de Modelo 2 (Figura 3 - direita);

Jogo 3 – Qual faixa?

O objetivo do jogo é eliminar primeiro as cartas à mão, segundo as classificações: “Ionizante”, “Não Ionizante”, “Visível”, “Frequência abaixo do visível”, “Frequência acima do visível”, ou segundo a escolha no dado de quem jogar o dado, dentre as cinco opções listadas acima. Para este jogo são utilizadas todas as cartas do espectro eletromagnético. Entre os objetivos do jogo, também descreve: impedir que outro competidor finalize o jogo. Este jogo pode ser disputado por dois ou até oito competidores.

Em sentido horário ou anti-horário da disposição dos jogadores na mesa, definido pelos participantes antes do início da partida, em cada rodada um novo competidor jogará o dado que determinará qual classificação de radiação deve ser jogada na mesa. E caso o dado caia na face que contém as 5 classificações listadas no dado, quem jogou o dado escolhe qual tipo de radiação vai querer: “Qual faixa?”. Antes de começar a partida, deve ser determinado quem será o primeiro a lançar o dado e o sentido em que irá ocorrer a troca dos competidores que lançarão o dado.

Ressalta-se que para o jogo, as cartas de: “Ondas de rádio”; “Micro-ondas”; “Infravermelho”; e “Luz visível” são consideradas não ionizantes; e que as cartas com as radiações: “Ultravioleta”; “Raios-X”; e “Raios Gama” são considerados ionizantes.

A seguir é descrita a dinâmica inicial do jogo.

1) Distribui-se 7 cartas para cada competidor, e as cartas que sobrarem formam o monte de compra.

2) Deve ser escolhido o sentido das jogadas, como vai alternar a pessoa que lança o dado em cada rodada, e quem será o primeiro a lançar o dado.

3) Em seguida é lançado o dado de Modelo 2 (Figura 3 - direita) e tirada a classificação da radiação da rodada, entre: “Ionizante”, “Não ionizante”, “Visível”, “Frequência abaixo do visível”, “Frequência acima do visível”, e “Todas as opções”. E se o dado cair na face que contém “Todas as opções” com as 5 classificações listadas, quem lançou o dado escolhe qual faixa de radiação vai querer.

4) Dentro da rodada, segundo a ordem determinada antes do início da partida (horária ou anti-horária), cada competidor deve lançar na mesa uma carta, se tiver na mão, do tipo de radiação solicitada.

5) Aqueles que colocarem cartas erradas na mesa, que não correspondem à radiação solicitada, devem recolher para si a carta lançada de forma errada e comprar três cartas do monte de descarte.

6) Aquele que não tiver a carta solicitada para jogar, deve comprar cartas do monte de descarte até puxar uma que possa ser lançada.

7) Finalizada a rodada, joga-se o dado novamente e repete-se esses procedimentos até que algum jogador fique sem cartas na mão.

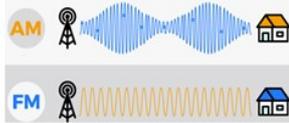
Para manter a continuidade do jogo, à medida que as cartas forem sendo descartadas na mesa, elas devem compor o monte de compra. Sugere-se que para aplicação do jogo em sala de aula, a turma seja dividida em grupos de 8. Para vencer o jogo, é importante o estudante estar atento às informações que aparecem: no dado, nas cartas que possuem a mão e nas que são lançadas na mesa. É importante verificar se todas as cartas lançadas na mesa representam a radiação solicitada, e caso alguém tenha lançado a carta errada, os jogadores devem fazer quem errou comprar 3 cartas.

Cartas do jogo

Ondas de Rádio

1

Frequência AM e FM



2

Antenas de telecomunicações



3

Rádio



4

Antena de TV digital



5

Radiocomunicadores



6

Microfone sem fio



7

Rede telefonia celular



8

Fisioterapia com ondas curtas



9

Telégrafo



10

Radioteles cópio



Micro-ondas

1

Forno micro-ondas



2

Internet Wi-Fi



3

Bluetooth



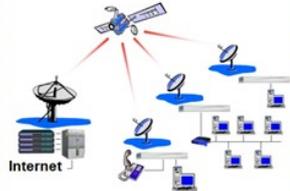
4

TV a cabo



5

Internet banda larga via satélite



6

Babá eletrônica



7

Radar de velocidade



8

Radar de nível



9

GPS portátil



10

Satélite



Infraver
melho

1

Termômetro



2

Controle remoto de TV



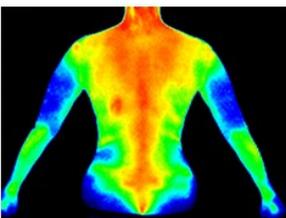
3

Porta com sensor de presença



4

Fotografia térmica



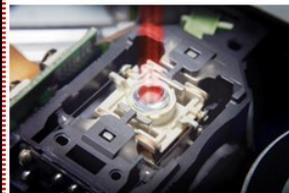
5

Câmera infravermelha



6

Lasers de leitores de CD e DVD



7

Leitor de preço de supermercado



8 Binóculo de visualização noturna



9 Míssil teleguiado



10 Terapia infravermelha



Luz Vermelha

Luz Laranja

Luz Amarela

Luz Verde

Luz Azul

Luz Anil

Luz Violeta

Luz Visível - Espectro

Luz Visível - Cotidiano

1 Lâmpada de filamento



2 Arco-iris



3 Iluminação de Palco



4 Semáforo



5 Laser



6 Luminosidade de telas



7 Farol de carro



8 Terapia com luz vermelha



9 Fototerapia capilar com luz verde



10 Luz Interna Pulsada



Ultravioleta

1 Sol UV-A e UV-B



2 Lâmpada fluorescente



3 Luz negra



4

Fototerapia



5

Câmara de
estetização UV



6

Lanterna UV



7

UV-C para
tratamento
de piscinas



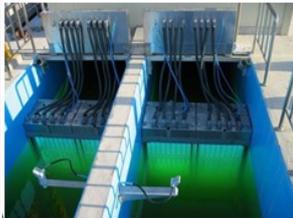
8

Rodo UV-C



9

Desinfecção de
água e efluente
com UV-C



10

Visão
ultravioleta
das abelhas



Raios-X

1

Exame de
Raios-X



2

Raios-X em
aeroporto



3

Tomografia
computadorizada



4

Mamografia



5

Raios-X de
corpo em
presídio



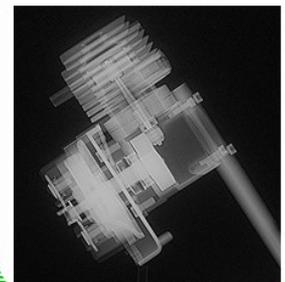
6

Radiografia
panorâmica



7

Radiologia
industrial



8

Raios-X de alimentos



9

Fluorescência de Raios-X



10

Difração de Raios-X



Raios Gama

1

Radioterapia com Gama



2

Cintilografia ou gamagrafia



3

Tomografia por emissão de pósitrons PET



4

Observações astronômicas



5

Esterilização de equipamentos cirúrgicos



6

Irradiação de alimentos com gama

Com raios gama



Sem raios gama

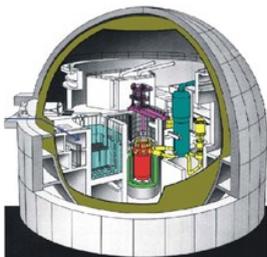
7

Gamagrafia industrial



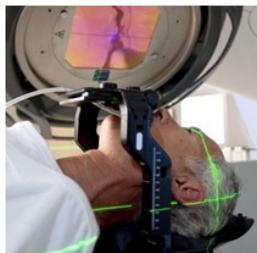
8

Núcleo do reator nuclear



9

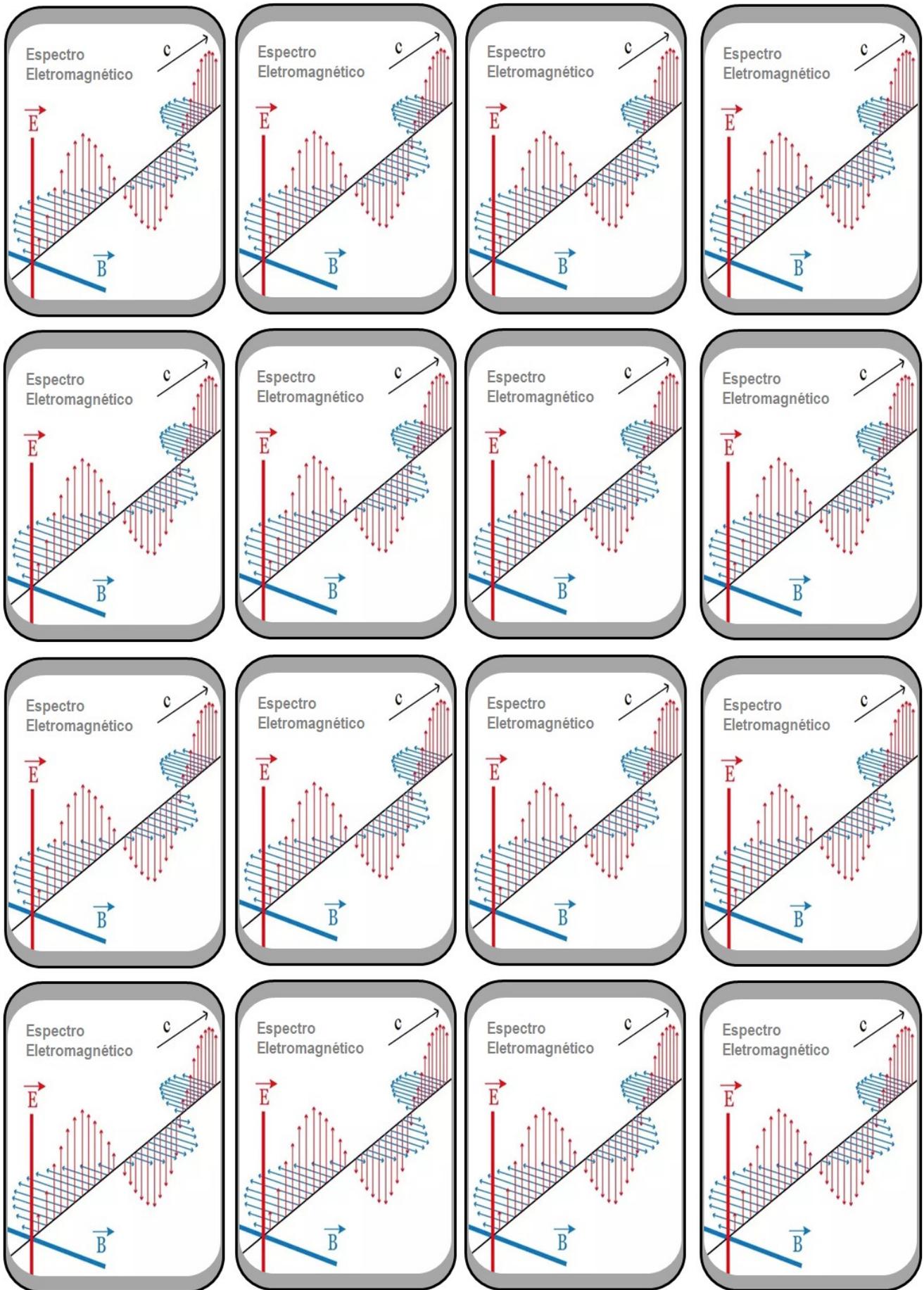
Radiocirurgia Gamma Knife

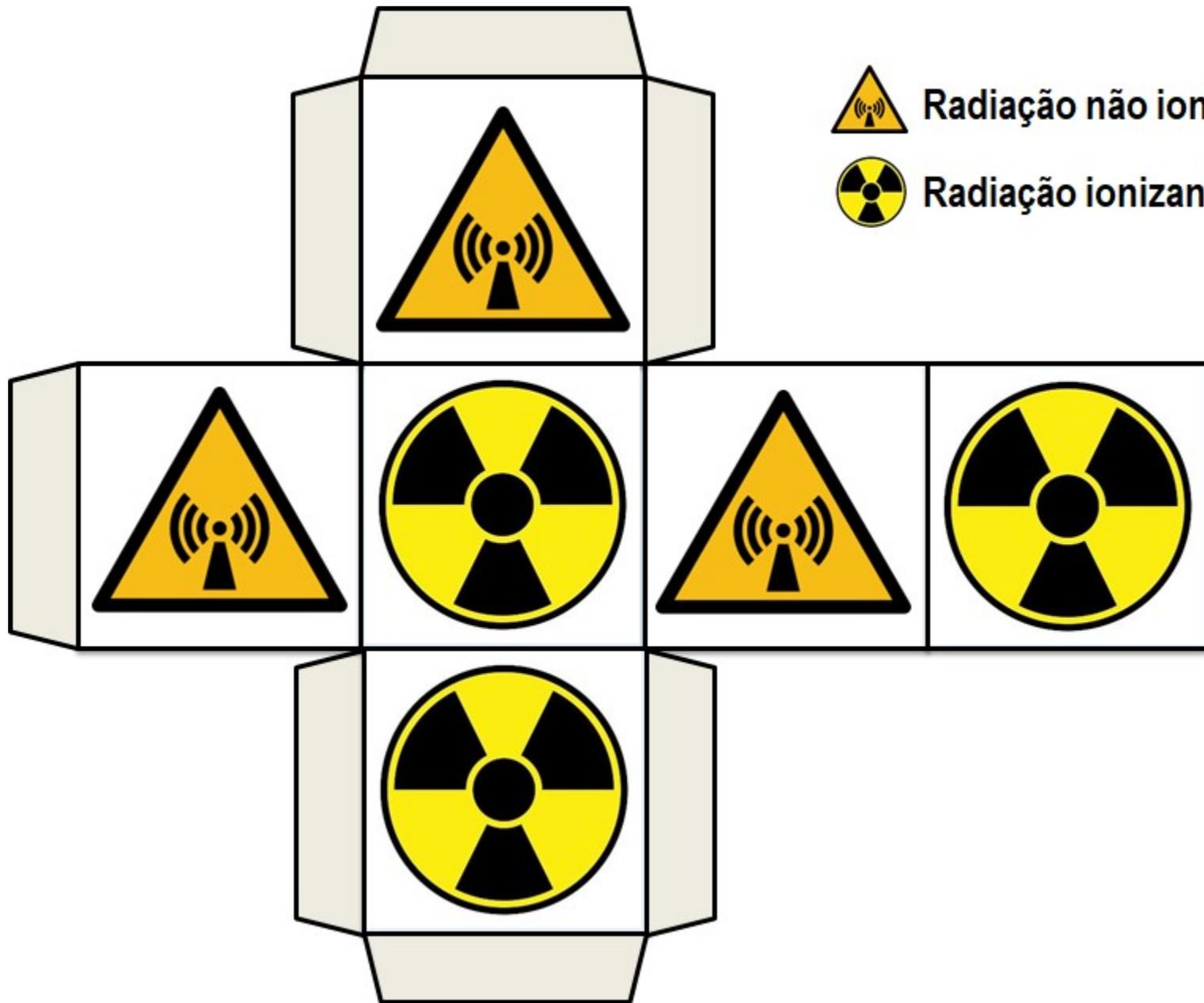


10

Detector de radiação







Radiação não ionizante



Radiação ionizante

