

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ADRIANA PEREIRA REWAY

**ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA DA EDUCAÇÃO CTS A PARTIR DE
CONCEITOS E TÓPICOS DA FÍSICA MÉDICA**

CURITIBA

2021

ADRIANA PEREIRA REWAY

**ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA DA EDUCAÇÃO CTS A PARTIR DE
CONCEITOS E TÓPICOS DA FÍSICA MÉDICA**

**Physics teaching from the perspective of CTS education from medical physics
concepts and topics**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Licenciatura em Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, como requisito para obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Silmara Alessi Guebur Roehrig

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Anna Luiza Metidieri Cruz Maltez

CURITIBA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ADRIANA PEREIRA REWAY

**ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA DA EDUCAÇÃO CTS A
PARTIR DE CONCEITOS E TÓPICOS DA FÍSICA MÉDICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado como requisito para obtenção
do título de Licenciado em Física da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 09/dezembro/2021

SILMARA ALESSI GUEBUR ROEHRIG
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DANYEL SCHEIDEGGER SOBOLL
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LUCIANA ROCHA HIRSCH
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2021

"Grandes espíritos sempre encontraram violenta oposição de mentes mediócras. A mente medíocre é incapaz de compreender o homem que se recusa a se curvar cegamente aos preconceitos convencionais e escolhe expressar suas opiniões com coragem e honestidade".

(Albert Einstein)

RESUMO

Visando uma melhor compreensão dos conteúdos de física das radiações e física moderna, foi desenvolvido um objeto educacional para auxiliar e intermediar esse objetivo. O objeto educacional foi desenvolvido por meio de uma abordagem CTS de forma a integrar e contextualizar os tópicos de ciência, tecnologia e sociedade no contexto e cotidiano dos estudantes. O trabalho foi realizado com duas turmas de alunos do 3º ano do Ensino Médio de um colégio Estadual em Curitiba durante a realização da Residência Pedagógica. Em um primeiro momento, foi realizada uma investigação sobre as dificuldades e curiosidades dos alunos a respeito do uso das radiações e posteriormente foi desenvolvida uma vídeo aula abrangendo os principais tópicos mencionados. A vídeo aula foi elaborada utilizando o acidente radiológico de Goiânia como ponto de partida. Após a aplicação da vídeo aula, houve a proposta de responder a um questionário acerca dos temas abordados. Por meio da análise das respostas verifica-se a necessidade de abordar esse tema com mais profundidade e explorar mais adequadamente os tópicos do eletromagnetismo que servirão como base para o entendimento da física moderna, mais especificamente, física das radiações.

Palavras-chave: Ensino de física; Educação CTS; Física médica; Física das radiações;

ABSTRACT

Aiming at a better understanding of the contents of radiation physics and modern physics, an educational object was developed to assist and intermediate this objective. The educational object was developed through a STS approach in order to integrate and contextualize the topics of science, technology and society in the context and daily life of students. The work was carried out with two groups of students from the 3rd year of high school during the Pedagogical Residency. At first, an investigation was carried out on the students' difficulties and curiosities regarding the use of radiation, and later a video lesson was developed covering the main topics mentioned. The video lesson was created using the radiological accident in Goiânia as a starting point. After the application of the video class, there was a proposal to answer a questionnaire about the topics covered. The answers were analyzed and based on them, there is a need to address this topic in greater depth and explore more adequately the topics of electromagnetism that will serve as a basis for understanding modern physics, more specifically, radiation physics.

Keywords: Physics teaching; CTS Education; Medical Physics; Radiation physics;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Espectro eletromagnético	24
Figura 2 - Modos de interação da radiação EM com a matéria.....	25
Figura 3 - Modelo de extrapolação linear (curva a) para a correlação entre dose-efeito biológico, onde não são contabilizados possíveis efeitos de aumento da probabilidade de ocorrência na região de doses baixas (curva b) ou da existência de limiares ou de fatores de redução da incidência dos efeitos até então desconhecidos (curva c).....	27
Figura 4 - Paciente com radiodermite devido a radioterapia	28
Figura 5 - Representação esquemática do cabeçote de um equipamento de cobaltoterapia.....	30
Figura 6 - Produção de fótons em um tubo de Raios X.....	32
Figura 7 - Distribuição proporcional dos dez tipos de câncer mais incidentes estimados para 2020 por sexo, exceto pele não melanoma*.....	34
Figura 8 - Representação espacial das taxas ajustadas de incidência por 100 mil homens (à esquerda) e 100 mil mulheres (à direita), estimadas para o ano de 2020, segundo Unidade da Federação (todas as neoplasias malignas, exceto as de pele não melanoma).....	34
Figura 9 - Representação espacial das taxas ajustadas de incidência por neoplasia maligna da mama, por 100 mil mulheres, estimadas para o ano de 2021, para cada unidade da Federação.....	35
Figura 10 - Distribuição dos serviços de Radioterapia por estados brasileiros.....	35
Figura 11 - Vítimas do acidente Radiológico de Goiânia passando pela verificação de contaminação com contator Geiger.....	37
Figura 12 - O acidente radiológico de Goiânia em imagens.....	38
Figura 13 - Modelo metodológico CTS proposto por Aikenhead	40
Figura 14 - Porcentagem de alunos que responderam à questão 1.....	43
Figura 15 - Porcentagem de alunos que responderam à questão 2.....	44
Figura 16 - Porcentagem de alunos que responderam à questão 3.....	44
Figura 17 - Quantidade de acertos em cada uma das 5 alternativas da questão 4...46	

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS): UMA VISÃO GERAL	18
3.1 ESTUDOS EM CTS	20
3.2 EDUCAÇÃO CTS: SIGNIFICAÇÕES.....	20
3.3 EDUCAÇÃO CTS NO BRASIL.....	21
4 RADIAÇÕES IONIZANTES	23
4.1 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO IONIZANTE COM O TECIDO BIOLÓGICO	25
4.1.1 Mecanismo direto	26
4.1.2 Mecanismo indireto	28
4.1.3 Reações teciduais	28
4.1.4 Efeitos estocásticos.....	28
5 A TELECOBALTOTERAPIA E ACELERADORES LINEARES NO TRATAMENTO DO CÂNCER	30
6 A INCIDÊNCIA DE CÂNCER NO BRASIL E O QUADRO DA RADIOTERAPIA ATUAL	33
7 O ACIDENTE RADIOLÓGICO DE GOIÂNIA	36
8 MATERIAIS E MÉTODOS	39
9 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
10 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	50
ANEXOS	53

1 INTRODUÇÃO

O grande impacto da física na medicina se deu a partir da descoberta dos Raios X, por Wilhelm Conrad Röntgen, em 1885. Também tiveram grande importância para o desenvolvimento da Física Médica as descobertas de Pierre e Marie Curie e Henri Becquerel a respeito das emissões de partículas de materiais radioativos. A presença de físicos médicos em hospitais teve início quando os raios X começaram a ser utilizados dentro do serviço hospitalar. A partir de então a física médica tem fornecido base científica e tecnológica para o desenvolvimento dos diagnósticos e tratamentos (HADDAD, 2011).

Diversos conteúdos do ensino de física para o Ensino Médio (EM) podem ser abordados ou demonstrados com temas da física médica. Nos Parâmetros Curriculares Nacionais de Física para o Ensino Médio (PCN+), os conteúdos de física estão descritos na área de Ciência e Tecnologia, cujos temas estruturadores são: som, imagem e informação; equipamentos eletromagnéticos e telecomunicações; matéria e radiação. Dentro do último tópico é particularmente adequado tratar abordagens da física médica. Já na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) proposta pelo MEC, os conteúdos de física inserem-se na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, definidos pelas competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos alunos ao longo do EM. Nesse contexto, é possível unir os conteúdos da física do EM abordando a área de saúde e biológicas, para serem trabalhados em sala de aula (TERINI, 2020).

A física aplicada à medicina pode ser utilizada como facilitadora, por exemplo, no ensino de física das radiações devido a abrangência de fenômenos que envolvem e também pelos efeitos sobre a tecnologia moderna (PARISOTO *et al.*, 2017). Além disso, estudos em diversos países com diferentes realidades sócio culturais mostram que os estudantes consideram relevantes as questões associadas à saúde, incluindo diagnósticos e tratamentos de doenças (OLIVEIRA, 2018).

O físico médico é um profissional essencial em serviços médicos que trabalham com radiações, sendo parte fundamental da equipe multidisciplinar de um serviço de diagnóstico por imagem, radioterapia e medicina nuclear. No diagnóstico por imagem, seu papel principal visa garantir o controle de qualidade dos diversos equipamentos de diagnóstico por imagem, atuando nos setores de mamografia, radiografia, tomografia computadorizada, densitometria óssea, radiologia intervencionista dentre

outros. Esse profissional também pode atuar como responsável no delineamento e planejamento de tratamentos de radioterapia e garantia de qualidade. Além disso, o físico é o principal responsável por manter a segurança dos indivíduos ocupacionalmente expostos às radiações em locais onde há circulação de pessoas, sendo na maioria das vezes, o responsável pelo plano de proteção radiológica dos serviços de radiologia, radioterapia e medicina nuclear (TERINI, 2020).

Desse modo, com o alinhamento dos conteúdos de física que estão presentes nas bases curriculares do EM com a área de física médica, espera-se que os estudantes se sintam mais estimulados a conhecer novas abordagens e novas tecnologias. Utilizando a abordagem da educação com foco nas relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), neste trabalho foi desenvolvida uma mídia digital aplicada em turmas de 3º ano do EM, com foco nos conceitos físicos presentes no âmbito da física médica. O vídeo teve como ponto de partida o acidente radiológico de Goiânia e partir da discussão sobre os impactos sociais e ambientais causados por tal acidente, foi feito um estudo comparativo entre as tecnologias empregadas para tratamento de tumores, na radioterapia no Brasil. Foram abordados conceitos de produção de fótons, decaimento radioativo e principalmente a diferença entre telecobaltoterapia e aceleradores lineares. Ainda foram discutidas a situação da radioterapia no Brasil e a incidência de câncer na população. Dessa forma, os conceitos físicos foram interligados com a proposta de ensino CTS e com tópicos da física médica.

A escolha da física médica se deu devido a uma escolha profissional. Além da física médica ser minha área de estudo, a formação prévia em radiologia reforça os conhecimentos na área de radiações e proteção radiológica. Por meio desse objeto educacional, foram apresentados os tópicos da física médica que envolvem as tecnologias passadas e atuais, diferenças nas produções das radiações e o impacto ambiental e social que estão envolvidos nessa tecnologia.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi produzir e analisar os resultados e contribuições de um objeto educacional aplicado em turmas do 3º ano do ensino médio para o ensino de física através de uma abordagem CTS com base em conceitos e tópicos da física médica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Delinear os tópicos nos quais se enquadram o ensino da física com conceitos da física médica por meio da análise dos documentos que regem os parâmetros curriculares do ensino médio;
- Aplicar o objeto educacional em turmas do 3º ano do ensino médio;
- Contextualizar os conceitos de física com o cotidiano dos alunos, enfatizando os impactos das tecnologias na sociedade e no ambiente;
- Trabalhar a multidisciplinaridade com outras áreas do conhecimento, como a biologia, a química, a geografia e a história.

3 CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS): UMA VISÃO GERAL

De acordo com estudos realizados e publicados pela Organização dos Estados Ibero americanos (2003), “ciência, tecnologia e sociedade” (CTS) é uma forma de trabalho que abrange aspectos sociais da ciência e da tecnologia, bem como as mudanças que ocorrem na sociedade e no meio ambiente devido ao avanço científico e tecnológico. Segundo Bazzo et. al., mesmo que a ciência e a tecnologia tenham nos trazido mais conforto, deve-se ter cuidado ao confiar excessivamente nelas, pois trazem consigo muitas questões sociais, éticas e políticas (PALACIOS *et al.*, 2003; BAZZO, 1998).

Em 1996, um estudo foi desenvolvido por SAREWITZ, visando identificar os problemas na pesquisa e desenvolvimento (P & D) da ciência clássica e suas relações com a sociedade e a tecnologia. Em relação a essa obra, YANARICO (2011) diz o seguinte:

Daniel Sarewitz denomina ao modelo linear de Bush, mito social politicamente construído, fundamentado na autonomia ética e política da prática científica, com a suposição de que a pesquisa e desenvolvimento tecnocientífico e a esperança colocada na ciência como autoridade beneficiariam, necessariamente, a resolução dos problemas políticos e causas sociais. Os cinco mitos de modelo linear que Sarewitz sintetiza, reza assim:

1. O mito do benefício infinito: que mais ciência e mais tecnologia dará lugar a mais benefício público. Este é o mito sobre o que se fundamenta o modelo linear de Bush.
2. O Mito da investigação igualmente benéfica: que qualquer linha de pesquisa cientificamente razoável sobre os processos naturais é capaz de gerar benefício social como qualquer outra.
3. O mito da responsabilidade: que o peer review, a reprodutividade dos resultados e o controle de qualidade da pesquisa científica recolhem as principais responsabilidades políticas do sistema de investigação.
4. O mito da autoridade científica: que a informação científica proporciona uma base objetiva para a resolução dos problemas políticos.
5. O mito da fronteira sem fim: que o conhecimento gerado nas fronteiras da ciência é independente de suas consequências morais e práticas na sociedade.

Dessa forma, Sarewitz concluiu que para a visão clássica da ciência, ciência e tecnologia são independentes das culturas e suas relações com a sociedade não são consideradas (SAREWITZ, 1996).

De acordo com Santos (2012) as principais diferenças entre ensino clássico de ciência e ensino CTS pode ser elucidado no quadro 1. Ainda de acordo com o autor, também existem diferenças a respeito dos materiais curriculares que são organizados a partir de temas sociais.

Quadro 1: Diferença entre Ensino Clássico e Educação CTS

Ensino Clássico	Educação CTS
1. Organização conceitual da matéria a ser estudada.	1. Organização em temas tecnológicos e sociais.
2. Método científico (Investigação, observação, experimentação, coleta de dados e descoberta.).	2. Potencialidades e limitações da tecnologia.
3. Ciência como modo de explicar o universo, com esquemas conceituais interligados.	3. Exploração, uso e decisões são submetidos a julgamento de valor.
4. Busca da verdade científica.	4. Prevenção de consequências.
5. Ciência como processo, atividade universal, corpo de conhecimento.	5. Desenvolvimento tecnológico depende das decisões humanas.
6. Ênfase à teoria para articulá-la com a prática.	6. Ênfase à prática para chegar à teoria.
7. Lida com fenômenos isolados do ponto de vista disciplinar (análise de fatos, exata e imparcial).	7. Lida com problemas no seu contexto real (abordagem interdisciplinar).
8. Busca novos conhecimentos para compreensão do mundo natural (ânsia de conhecer).	8. Busca implicações sociais dos problemas tecnológicos; tecnologia para a ação social.

Fonte: SANTOS, 2012.

Os primeiros indícios na mudança do modo de visão da ciência se deram na Europa e Estados Unidos. Após o período da 2ª Guerra Mundial, nos anos 60 e 70, iniciou-se um momento de mudança do modelo científico e tecnológico da época, uma vez que haviam vestígios de resíduos contaminantes, acidentes nucleares em reatores civis de transportes militares, envenenamentos farmacêuticos, derramamentos de petróleo e etc. Nesse contexto, iniciaram-se as discussões em CTS a partir da necessidade de o cidadão conhecer seus direitos e deveres pensando criticamente a sociedade a sua volta, de forma a transformar para melhor o seu contexto social. Esses eventos desencadearam um estado social e político de alerta, levando a população a movimentos sociais e políticos anti sistema, nos quais a tecnologia moderna era o alvo da luta. Essas lutas resultaram em um enfoque bem consolidado atualmente, o qual se destaca por seu caráter interdisciplinar, pois envolve disciplinas como filosofia e história da ciência e da tecnologia, sociologia, teoria da educação e economia. Dessa forma, a abordagem CTS compreende mudanças ocasionadas pela ciência e tecnologia, bem como suas consequências sociais e ambientais, abrangendo aspectos éticos e culturais da mudança científica e tecnológica (PALACIOS *et al.*, 2003; PINHEIRO, 2005).

3.1 ESTUDOS EM CTS

Os estudos e pesquisas CTS seguem três direções principais, sendo elas: no campo da pesquisa, promovendo uma nova visão socialmente contextualizada da atividade científica; no campo da política pública, nos quais seus estudos têm defendido a regulação social da ciência e da tecnologia, promovendo a criação de diversos mecanismos democráticos que facilitem a abertura de processos de tomada de decisão e no campo da educação, promovendo uma nova imagem da ciência e da tecnologia na sociedade por meio de programas e materiais CTS no ensino secundário e universitário em numerosos países. O objetivo da educação em CTS é formar cidadãos com alfabetização política visando democratizar as tomadas de decisões e criar bases sólidas para argumentação. Além disso, o enfoque CTS pretende motivar os estudantes a buscar informações a respeito de ciência e tecnologia e como estar irão impactar o seu contexto social (PALACIOS *et al.*, 2003). A consciência política é descrita da seguinte forma por Pinheiro *et al.* (2007, p. 72):

É necessário que a sociedade, em geral, comece a questionar sobre os impactos da evolução e aplicação da ciência e tecnologia sobre seu entorno e consiga perceber que, muitas vezes, certas atitudes não atendem à maioria, mas, sim, aos interesses dominantes.

3.2 EDUCAÇÃO CTS: SIGNIFICAÇÕES

A educação CTS é baseada nas interrelações entre ciência, tecnologia e sociedade. Dessa forma, os conteúdos são estudados de forma integrada, com discussão acerca de seus aspectos históricos, éticos, políticos e socioeconômicos. Dentro desta abordagem de ensino, existem algumas significações que serão citadas a seguir (SANTOS, 2012).

A primeira é a classificação de Aikenhead, de 1994, centrada no ensino de ciências e relações CTS. Essa classificação se destaca pela polarização entre o ensino de ciências naturais e humanas e classifica os materiais CTS em 8 categorias.

A classificação de Luján López (1996) apresenta foco no ensino de Ciências e relações CTS e divide-se em três categorias:

- (1) Introdução de CTS no conteúdo das disciplinas de ciências, na qual os currículos incluem CTS sem modificar a abordagem tradicional;
- (2) ciência vista por meio de CTS;
- (3) programas CTS puro, onde as discussões CTS são o foco central e os conceitos científicos são complementares.

Com foco nas decisões de CT, a classificação de Auler e Delizoicov (2001) é classificada em reducionista e ampliada. A visão reducionista é marcada pelo determinismo tecnológico e a visão ampliada faz uma análise crítica ao atual modelo de desenvolvimento econômico.

A educação CTS na perspectiva Freireana representa uma visão crítica da educação CTS e visa desenvolver um novo modelo que vai contra a submissão do sistema tecnológico já estabelecido, procurando desenvolver um novo modelo de desenvolvimento. E a última significação é a educação CTSA. Esta classificação engloba tacitamente os objetivos da educação ambiental. Existem vários autores que têm adotado a denominação CTSA com o propósito de destacar o compromisso da educação CTS com a perspectiva socioambiental (SANTOS, 2012).

3.3 EDUCAÇÃO CTS NO BRASIL

O termo educação em CTS surgiu no Brasil na década de 1990, sendo marcado pela apresentação de diversos congressos e publicações em periódicos na área de ensino de ciências. Inclusive, a partir de 1998, os documentos oficiais do Ministério da Educação (MEC) apontam uma aproximação com a educação CTS (SANTOS, 2012; BRASIL, 1998). De acordo com Bazzo (2018), o processo da educação CTS no Brasil, em meados de 1994, foi sendo construído lentamente, e sobre o processo, ele afirma o seguinte:

Assim, vamos paulatinamente ratificando a construção de uma sociedade de privilégios – inclusive na base da pirâmide social –, apostando que com isso tornamos os iguais menos desiguais – desde que o topo da pirâmide continue com as rédeas nas mãos. É a mágica da lei e do decreto sendo arremessada para tentar encobrir o que a falta de políticas educacionais mais contundentes e renovadoras nos impinge. Repito que as variáveis se ampliam – assustadoramente – e cada vez com mais gravidade e seguimos embalados por concepções ultrapassadas a educar novas gerações. O sinal de alerta está ligado!

Ainda para Bazzo (2018), a educação precisava ser mais “malcomportada” de forma a inovar e para fortificar o processo civilizatório, dessa forma, nos anos 2000, o autor começou a discutir as relações da tecnologia com a sociedade em geral, conforme mostra o trecho a seguir:

“...no início do milênio, ao discutir CTS no livro “Ciência, tecnologia e sociedade e o contexto da Educação Tecnológica” comecei a tratar das indispensáveis relações da tecnologia com o processo civilizatório e de como essas relações podiam e deviam ser tratadas na vida das gerações presente e futura, principalmente no setor educativo”.

Para o autor, os professores ainda são muito presos aos currículos e falta pensar nos problemas em tempo real e em contexto com o cotidiano dos alunos. Segundo ele, falta chegar às escolas pesquisas que realmente mudem e impactem a vida de pessoas reais, em diferentes aspectos de aprendizado (BAZZO, 2018). Sobre esse fato, nas palavras do autor:

“É isso que venho perseguindo há muito tempo, usando ou não a sigla CTS. A equação que precisamos resolver hoje para trabalhar a educação tecnológica – e em todas as outras áreas também – reúne uma enormidade de variáveis. Há poucos anos apenas tínhamos a preocupação de mostrar aos estudantes a relação custo-benefício – pensando sempre no lucro, principalmente nas escolas de engenharia – de qualquer projeto. Com tal comportamento incorremos num erro que nos custará muito. O meio ambiente, a desigualdade social, o subdesenvolvimento em vários locais do mundo, precisam ser tratados com mais responsabilidade”.

4 RADIAÇÕES IONIZANTES

A radiação é uma forma de energia em trânsito que pode interagir e depositar sua energia no meio em que está se propagando. A radiação é considerada ionizante quando possui energia suficiente para ionizar moléculas ou átomos, ou seja, sua energia é suficiente para romper a energia de ligação dos átomos do material ou arrancar elétrons do mesmo, podendo ser proveniente de fontes emissoras artificiais ou naturais, e pode se apresentar como partículas (alfa, elétrons, beta, nêutrons, prótons, íons pesados e pósitrons) ou ondas eletromagnéticas (raios X e raios Gama). A radiação ionizante incidente sobre um meio pode ser diretamente ou indiretamente ionizante. A radiação diretamente ionizante decorre da interação das partículas carregadas com o meio, como partículas alfa, prótons e elétrons; a indiretamente ionizante é resultado da interação de partículas sem carga, como fótons e nêutrons (ATTIX, 1986; KHANS, 2014).

Quando a energia cinética da radiação não é suficiente para ejetar elétrons dos átomos do meio, ocorre a excitação desses elétrons, elevando-os a níveis mais altos de energia. Se esta energia for suficiente, há transferência individual de energia, podendo resultar em novas ionizações e produção de elétrons de alta velocidade. Estes elétrons podem ser obtidos por três processos principais: efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares. Os elétrons de alta velocidade produzidos pela interação da radiação indiretamente ionizante com o meio transferem sua energia para o meio por meio de novas ionizações e excitações dos átomos ao longo da sua trajetória, resultando em uma reação em cadeia (KHANS, 2014; YOSHIMURA 2009).

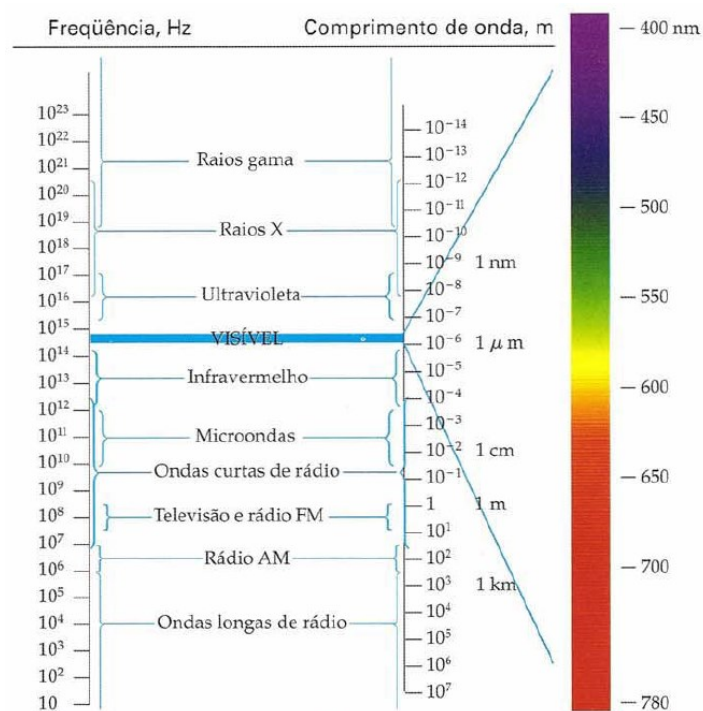
Como mostra a Figura 1, o espectro eletromagnético é dividido em radiações ionizantes e não ionizantes conforme a frequência ou comprimento de onda da radiação eletromagnética. As radiações não ionizantes são aquelas de maior comprimento de onda e menor frequência, ou seja, são grandezas inversamente proporcionais, como mostra a equação 1 (EISBERG, 1994):

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

onde ν é a frequência (Hz), c é a velocidade da luz (m/s) e λ é o comprimento de onda em metros (m).

A ideia de que quanto maior a energia, maior a penetração da radiação no meio é equivocada, pois a interação da radiação com a matéria vai variar conforme o meio em questão. Por exemplo, o vidro é um meio transparente para ondas de rádio, porém, razoavelmente opaco às radiações ultravioleta (UV) e infravermelha (IV). Já as microondas penetram com facilidade nos vidros, porém são fortemente absorvidas pela água. Dessa forma, conclui-se que a penetração ou transmissão da radiação em um meio não é sempre uma função direta com a frequência da radiação eletromagnética. A atenuação de uma onda eletromagnética em um meio obedece a uma lei exponencial, a Lei de Beer Lambert, por isso define-se a profundidade de penetração da radiação em um meio como a distância percorrida por ela até que sua intensidade seja reduzida a $1/e$ do seu valor inicial.

Figura 1 - Espectro eletromagnético



Fonte: TIPLER,

A energia dos fótons é dada pela Equação 2. Essa relação foi proposta por Einstein, com base nos conceitos de quantização propostos por Max Planck.

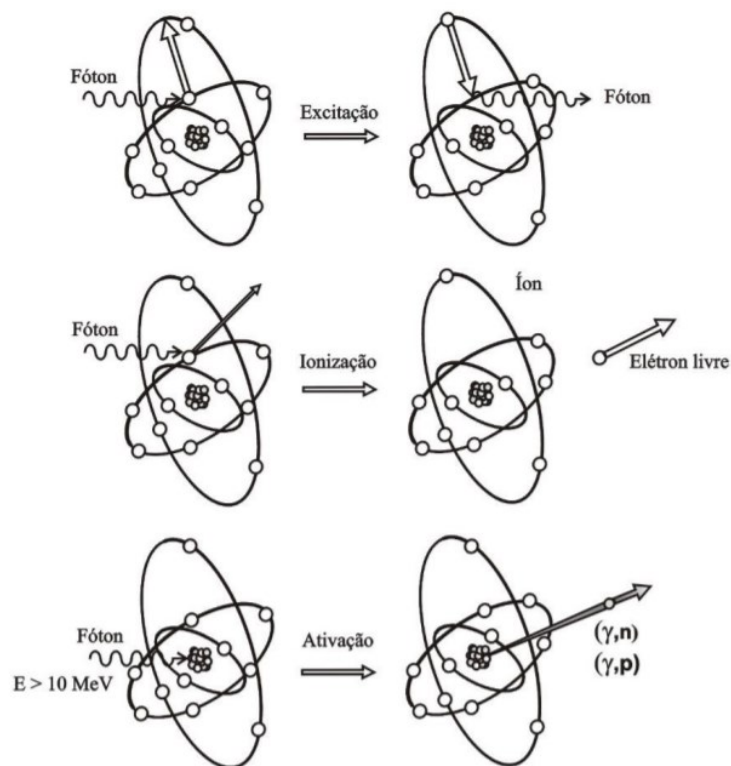
$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

onde: E é a energia do fóton e h é a constante de Planck.

4.1 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO IONIZANTE COM O TECIDO BIOLÓGICO

Durante a interação da radiação ionizante com o meio, pode ocorrer excitação atômica ou molecular, ionização ou ativação do núcleo (Figura 3). Na excitação atômica ou molecular ocorre o deslocamento de um elétron de seu orbital de equilíbrio para outro nível de maior energia e, quando este elétron retorna a sua posição de equilíbrio, o excesso de energia é liberado sob a forma de luz ou raios X característicos. Na ionização, o elétron é ejetado de seu orbital, resultando em elétrons livres, que podem interagir e formar íons ou radicais livres. Quando a energia da onda eletromagnética incidente é superior a energia de ligação dos nucleons pode ocorrer a ativação do núcleo e emissão de radiação (TAUHATA *et al.*, 2003).

Figura 2 - Modos de interação da radiação EM com a matéria.



Fonte: TAUHATA, 2014.

As radiações ionizantes podem possuir a capacidade de quebrar moléculas e retirar elétrons dos átomos do material exposto (KHAN e GIBBONS, 2014). Quando há interação da radiação ionizante com algum tecido biológico, podem ocorrer determinados efeitos que variam conforme o tipo de radiação e sua energia. Quando a radiação incidente possui energia suficiente para romper as ligações das moléculas

de ácido desoxirribonucleico (ADN) ou da água, por exemplo, pode ser que haja danos diretos ou indiretos no organismo, que, por sua vez, podem resultar em danos teciduais ou em efeitos estocásticos. Desta forma, tem-se a importância da proteção radiológica, pois por meio da monitoração dos indivíduos expostos, é possível delimitar e garantir a segurança dos seres vivos e do meio ambiente (OKUNO, 2013).

Neste trabalho, o foco será a interação de fótons com a matéria, em especial, com relação a sua interação com o tecido biológico. As radiações EM, como raios X e os raios Gama, podem percorrer longas distâncias sem interagir com os átomos do meio devido à ausência de carga e massa de repouso. As interações irão depender da energia da radiação e da probabilidade de interação em relação à seção de choque (σ) do material absorvedor, que é específica para cada material. Os efeitos gerados serão determinados por fatores que incluem variáveis associadas à fonte da radiação (tipo e energia), tecido irradiado e condições sob as quais a dose é administrada (fracionada ou dose única) (TURNER, 2005; TAUHATA, 2014).

As interações da radiação com os tecidos que levam às alterações biológicas são classificadas como diretas ou indiretas. As interações diretas são danos causados em macromoléculas biológicas, como as moléculas de ácido ADN, ácido ribonucleico (ARN) ou proteínas. As interações indiretas podem ser resultantes das interações da radiação com o meio, levando a formação de íons reativos que, por sua vez, podem interagir com outras moléculas, como por exemplo, as moléculas de água. Conforme estes fatores, as respostas à exposição podem aparecer instantaneamente, depois de semanas, anos ou décadas (BUSHBERG *et al.*, 2001). Os efeitos biológicos também podem ser classificados quanto a sua natureza, podendo ser danos teciduais ou efeitos estocásticos, visto que a deposição da energia da radiação ionizante é aleatória (ICRP 103 §§ 55, 2007).

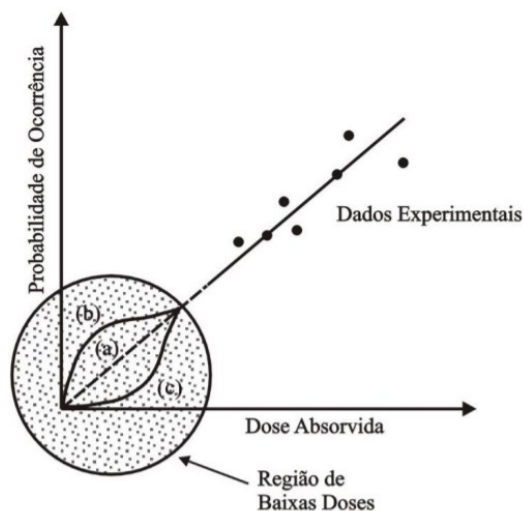
4.1.1 Mecanismo direto

Os danos no ADN resultam em aberrações cromossômicas que são decorrentes de quebras nas fitas de ADN que não são reparadas antes da divisão celular. Essas quebras nos cromossomos resultam em fragmentos que podem ser ligados incorretamente a outros cromossomos. Em casos de acidentes nucleares e radiológicos, em que a população exposta não faz uso de dosímetros, a dose de

radiação pode ser estimada pela dosimetria biológica, que pode ser feita estimando-se a frequência de aberrações cromossômicas por meio de uma técnica chamada de FISH (*Fluorescence In-Situ Hybridization*) (HALL, 2018).

Os efeitos biológicos induzidos pela radioatividade foram inicialmente observados nas primeiras exposições aos raios X ou radionuclídeos, sofridas pelos cientistas que os descobriram. Um maior número de dados era necessário para a adoção de modelos de exposição, uma vez que os danos causados dependiam claramente da quantidade, forma e período de exposição. Posteriormente, houveram mais evidências com as vítimas de Hiroshima e Nagasaki, porém, eram casos de exposição a elevadas doses, fazendo-se necessário, um modelo para doses que correlacionasse dose e efeito. Um dos modelos utilizados relaciona linearmente a dose absorvida com a probabilidade de ocorrência (Figura 3) se baseia numa extrapolação para doses muito baixas a partir do ajuste da curva obtida entre dose e efeitos biológicos observados em valores elevados (TAUHATA, 2014).

Figura 3 - Modelo de extrapolação linear (curva a) para a correlação entre dose-efeito biológico, onde não são contabilizados possíveis efeitos de aumento da probabilidade de ocorrência na região de doses baixas (curva b) ou da existência de limiares ou de fatores de redução da incidência dos efeitos até então desconhecidos (curva c).



Fonte: TAUHATA, 2014

4.1.2 Mecanismo indireto

Os danos biológicos causados pelo mecanismo indireto são derivados da radiólise da água que resulta em radicais livres H^* e OH^* . Esses radicais livres continuam reagindo com outras moléculas, podendo formar o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que pode atacar o ADN. Devido ao fato de o corpo humano ser composto por 70% de água, o mecanismo indireto é o maior responsável pelos efeitos biológicos (HALL, 2018).

4.1.3 Reações teciduais

As reações teciduais são decorrentes de elevado número de danos em órgãos ou tecidos que resultam em morte celular, de forma que o órgão ou tecido perca a sua função, ou fique com seu funcionamento prejudicado. A exposição à altas doses ocorre em acidentes radiológicos ou durante o tratamento de radioterapia. Nesse tipo de dano biológico a severidade do dano aumenta com o aumento da dose e existe um limiar de dose para que o dano apareça (ICPR, 2007). Um exemplo de reação tecidual é a radiodermite decorrente dos tratamentos de radioterapia (Figura 4).

Figura 4 - Paciente com radiodermite devido a radioterapia



Fonte: MADRUGA NETO E TRINDADE, 2013.

4.1.4 Efeitos estocásticos

Os efeitos estocásticos são alterações que ocorrem em células normais, podendo ser efeitos cancerígenos (ocorre em células somáticas) e efeitos hereditários

(ocorre em células germinativas). Esses danos biológicos podem ocorrer independentemente da dose de radiação absorvida, ou seja, não há limiar mínimo de dose. São efeitos probabilísticos, de forma que a probabilidade aumenta com o aumento da exposição e são efeitos tardios, sendo que o período entre a exposição e a detecção de câncer radioinduzido pode levar de 8 a 10 anos, dependendo do tipo de câncer. Os tecidos mais sensíveis a indução de câncer são a tireoide infantil, mama feminina e medula óssea. Já os menos sensíveis são o tecido muscular e o tecido conectivo (OKUNO E YOSHIMURA, 2014).

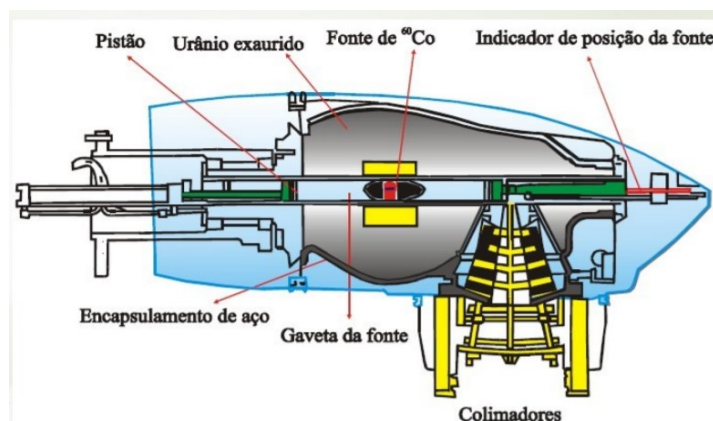
5 A TELECOBALTOTERAPIA E ACELERADORES LINEARES NO TRATAMENTO DO CÂNCER

Os elementos Cobalto-60 (^{60}Co) e Césio-137 (^{137}Cs) puderam ser produzidos artificialmente partir da invenção dos reatores nucleares. Esses elementos se tornaram de grande importância na medicina, quando começaram a ser utilizados como fontes radioativas em equipamentos de radioterapia, possibilitando o tratamento de tumores profundos. Antes do seu advento, os tratamentos radioterápicos eram feitos em equipamentos de raios X de ortovoltagem, ou seja, raios X com baixo poder de penetração e baixa energia, o que não permitia o tratamento de tumores profundos, apenas de lesões superficiais (INCA, 2010).

Os equipamentos de ^{60}Co e ^{137}Cs foram utilizados por muitos anos e o planejamento do tratamento nessa modalidade é conhecido atualmente como radioterapia convencional em duas dimensões (2D), no qual o tratamento é delineado sobre imagens de radiologia convencional. Com o avanço tecnológico, planejamentos mais atuais garantem uma maior exatidão e conformação com os volumes tumorais (KHAN; GIBBONS, 2014).

O equipamento de telecobaltoterapia é composto por uma estativa ou base fixa, uma parte móvel ou braço (gantry) com um cabeçote (Figura 5), no qual se localiza a fonte radioativa, uma mesa móvel e um console de comando. A fonte apresenta um formato de cilindro metálico de aproximadamente 2 cm de diâmetro por 2 cm de altura, com a cápsula radioativa confinada em seu interior (INCA, 2010).

Figura 5 - Representação esquemática do cabeçote de um equipamento de cobaltoterapia.



Fonte: INCA, 2010.

As fontes de ^{60}Co e ^{137}Cs que eram utilizadas nos aparelhos de cobaltoterapia são núcleos instáveis, que em busca de estabilidade decaem segundo a Lei do Decaimento Radioativo (Equação 3).

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

onde N é o número de núcleos não decaídos, N_0 é o número de núcleos radioativos existentes inicialmente, t é o tempo decorrido e λ é a constante de decaimento.

Em uma amostra que possui grande quantidade de átomos, a probabilidade de decaimento por átomo por segundo deve ser constante, independente do tempo. Esta probabilidade de decaimento por átomo por segundo é denominada de Constante de Decaimento (λ) e é característica de cada radionuclídeo (TAUHATA, 2014).

A taxa de mudanças dos átomos instáveis em função do tempo é denominada de Atividade (Equação 4).

$$A(t) = \frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad (4)$$

Assim, $N(t)$ é o número de átomos existentes numa amostra, no instante t , a atividade $A(t)$, será expressa pela Equação 5.

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (5)$$

A atividade de uma amostra depende do valor inicial da atividade no instante zero e é uma função exponencial decrescente do tempo (TAUHATA, 2014).

A necessidade de tratar tumores mais profundos fez com que fossem desenvolvidos os primeiros equipamentos com elementos radioativos que emitiam fótons mais energéticos.

O primeiro acelerador linear (Linac) para uso clínico foi instalado em Londres, no hospital *Hamersmith Hospital*, em 1952. Os primeiros Linacs só forneciam feixes de fótons, apenas anos mais tarde, foram construídos aceleradores lineares com feixes de fótons e elétrons. A produção de fótons nesses aparelhos se dá pela

interação dos elétrons com um alvo metálico (Figura 6), e, como são altamente energéticos (megavoltagem), necessitam de altas tensões para serem produzidos. Com a evolução tecnológica e avanços na área da computação, existem atualmente, softwares específicos utilizados em radioterapia que possibilitam o uso de imagens provenientes de tomografia e ressonância magnética, permitindo um delineamento em três dimensões (3D) do volume tumoral. Os métodos atuais permitem que seja feito um tratamento radioterápico mais preciso, com maior preservação de tecido sadio e menores doses de radiação absorvidas pelo paciente (INCA, 2010).

Figura 6 - Produção de fótons em um tubo de Raios X



FONTE: Brasil Escola, 2021.

Conforme mostra a Figura 6, os tubos de raios X consistem em um cátodo e um ânodo no interior de uma ampola de vidro. O cátodo consiste em um filamento helicoidal, normalmente de Tungstênio (W) - devido ao seu alto ponto de fusão (acima de 3.300°C). Quando o filamento é aquecido, os elétrons são liberados termoionicamente e acelerados em direção ao ânodo (alvo) por meio de uma diferença de potencial entre o filamento (-) e o ânodo (+). Quando estes elétrons acelerados colidem com o ânodo, parte da sua energia pode ser convertida em raios X (SCAFF, 2010).

6 A INCIDÊNCIA DE CÂNCER NO BRASIL E O QUADRO DA RADIOTERAPIA ATUAL

O Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA) publicou em documento, a estimativa de incidência câncer no Brasil para os anos de 2020 à 2022. Nesse estudo, verifica-se a estimativa de 65.840 casos novos de câncer de próstata para cada ano do triênio 2020-2022. Esse valor corresponde a um risco estimado de 62,95 casos novos a cada 100 mil homens (Figura 7). Sem considerar os tumores de pele não melanoma, o câncer de próstata ocupa a primeira posição no país em todas as Regiões brasileiras (Figura 8). O principal fator de risco para o câncer de próstata é a idade e sua incidência aumenta significativamente a partir dos 50 anos. A sua etiologia é relativamente pouco conhecida alguns outros fatores de riscos são: história familiar, fatores genéticos hereditários (por exemplo a síndrome de Lynch e mutações no BRCA1 e BRCA2), tabagismo, excesso de gordura corporal e exposições a aminas aromáticas, arsênio e produtos de petróleo (INCA, 2020).

Em relação às mulheres, o câncer de maior incidência, em todas as regiões brasileiras, é o câncer de mama, como mostrado na Figura 7. Para o Brasil, estimam-se 66.280 novos casos de câncer de mama, para cada ano do triênio 2020-2022. A alta incidência desse câncer independe da condição socioeconômica do país, porém nota-se um declínio na tendência das taxas de incidência em alguns países desenvolvidos, parte atribuída à diminuição do tratamento da reposição hormonal em mulheres pós menopausa. Assim como no caso do câncer de próstata, o maior fator de risco para o desenvolvimento do câncer de mama é a idade. No entanto, outros fatores incluem: fatores genéticos (mutações dos genes BRCA1 e BRC2) e fatores hereditários (câncer de ovário na família), menopausa tardia (fatores da história reprodutiva e hormonal), obesidade, sedentarismo e exposições frequentes a radiações ionizantes (fatores ambientais e comportamentais) (INCA, 2020).

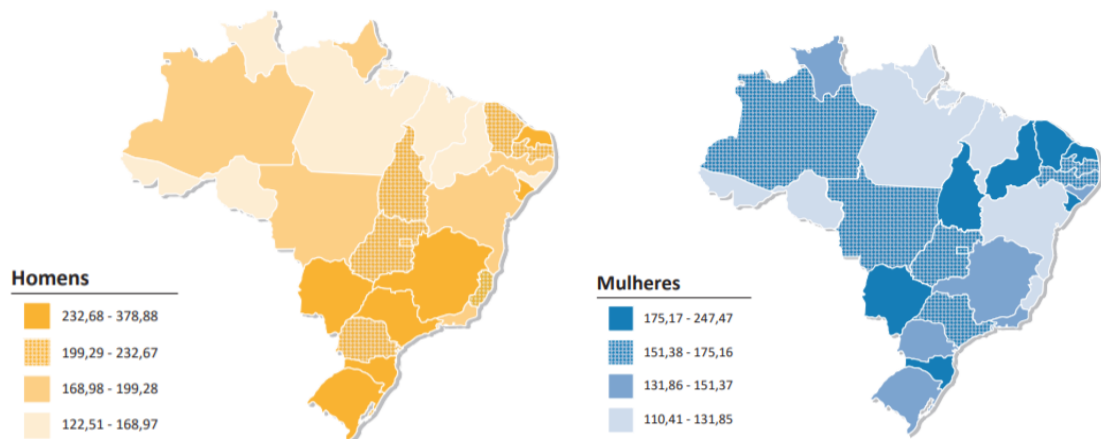
Figura 7 - Distribuição proporcional dos dez tipos de câncer mais incidentes estimados para 2020 por sexo, exceto pele não melanoma*.

Localização Primária	Casos	%			Localização Primária	Casos	%
Próstata	65.840	29,2%	Homens	Mulheres	Mama feminina	66.280	29,7%
Cólon e reto	20.520	9,1%			Cólon e reto	20.470	9,2%
Traqueia, brônquio e pulmão	17.760	7,9%			Colo do útero	16.590	7,4%
Estômago	13.360	5,9%			Traqueia, brônquio e pulmão	12.440	5,6%
Cavidade oral	11.180	5,0%			Glândula tireoide	11.950	5,4%
Esôfago	8.690	3,9%			Estômago	7.870	3,5%
Bexiga	7.590	3,4%			Ovário	6.650	3,0%
Linfoma não Hodgkin	6.580	2,9%			Corpo do útero	6.540	2,9%
Laringe	6.470	2,9%			Linfoma não Hodgkin	5.450	2,4%
Leucemias	5.920	2,6%			Sistema nervoso central	5.220	2,3%

*Números arredondados para múltiplos de 10.

Fonte: INCA, 2020.

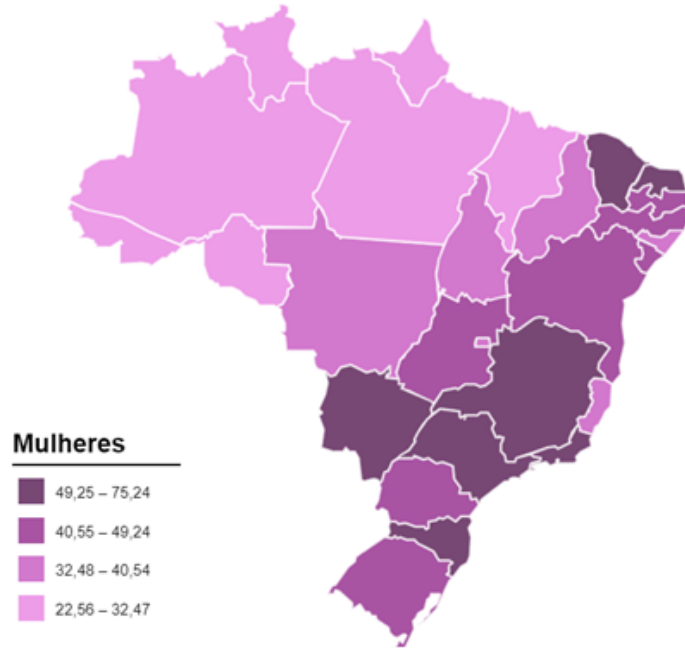
Figura 8 - Representação espacial das taxas ajustadas de incidência por 100 mil homens (à esquerda) e 100 mil mulheres (à direita), estimadas para o ano de 2020, segundo Unidade da Federação (todas as neoplasias malignas, exceto as de pele não melanoma).



Fonte: INCA, 2020.

O câncer de mama é uma doença rara em mulheres jovens e sua incidência começa a ser mais expressiva a partir dos 40 anos. Homens também desenvolvem câncer de mama, mas estima-se que a incidência nesse grupo represente apenas 1% de todos os casos da doença (INCA, 2019). Para o ano de 2021 foram estimados 66.280 casos novos, sendo que essas estimativas são importantes para avaliar a magnitude da doença no território e programar ações locais (Figura 9) (INCA, 2019).

Figura 9 - Representação espacial das taxas ajustadas de incidência por neoplasia maligna da mama, por 100 mil mulheres, estimadas para o ano de 2021, para cada unidade da Federação.



Fonte: INCA, 2019.

Conforme indica a Figura 10, publicada no Congresso Brasileiro de Radioterapia (SBRT), o número e a distribuição dos serviços de radioterapia não são suficientes para atender toda a demanda de tratamentos por estados brasileiros.

Figura 10 - Distribuição dos serviços de Radioterapia por estados brasileiros.

Radioterapia Megavoltagem

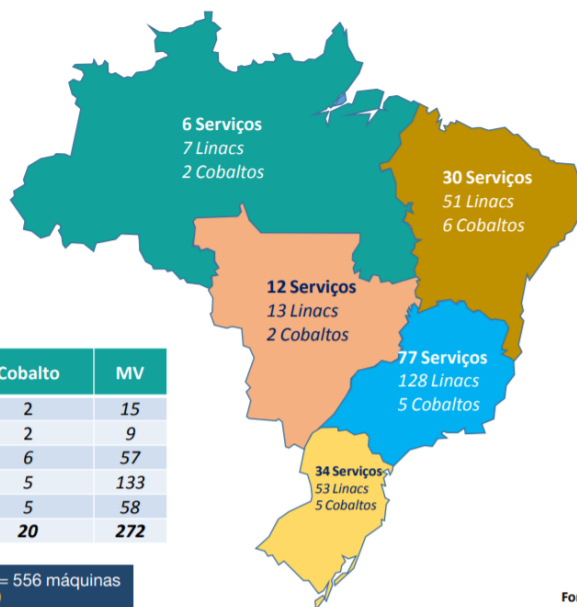


BRASIL
SUS



Região	Serviços	Linacs	Cobalto	MV
Centro-oeste	12	13	2	15
Norte	6	7	2	9
Nordeste	30	51	6	57
Sudeste	77	128	5	133
Sul	34	53	5	58
Total	159	252	20	272

Necessidade (1/300k hab - 80% SUS) = 556 máquinas
(carência de 52 a 55%)



Fonte: Ministério da Saude 2018
Dados de censo ainda não publicados

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018.

7 O ACIDENTE RADIOLÓGICO DE GOIÂNIA

A descrição do acidente Radiológico de Goiânia foi retirada do portal da Secretaria de Estado de Saúde do Estado de Goiás.

“O acidente ocorreu em Goiânia, no ano de 1987, quando os amigos Wagner e Roberto entraram em um prédio abandonado da Santa Casa de Misericórdia em Goiânia (GO). Eles encontraram um objeto e o levaram de lá cogitando vendê-lo como sucata, já que era pesado e, assim, possivelmente, feito de chumbo. Os dois não sabiam que o objeto em questão era uma cápsula que continha uma fonte radioativa em seu interior, que era utilizada em tratamentos de radioterapia. A fonte radioativa em questão, era um composto de ^{137}Cs , elemento radioativo, motivo pelo qual havia a importante presença de uma blindagem feita com chumbo.

Com muito esforço, os dois abriram a cápsula de chumbo onde encontraram um pó branco. Após cinco dias em poder da cápsula, Wagner e Roberto começaram a sentir sintomas tais como enjoo, diarreia, fraqueza, mas não os associaram ao tal pó branco que parecia inocente, semelhante ao sal de cozinha. Decidiram, então, vender a peça para Devair, dono de um ferro velho da cidade. Os empregados de Devair conseguiram desmontar completamente a cápsula de chumbo e guardaram-na em uma prateleira. Já à noite, Devair ficou fascinado pela luz intensa e azulada que provinha da peça. Não passou por sua cabeça, obviamente, que aquele brilho era o prenúncio do maior acidente radioativo em área urbana que o mundo iria presenciar.

O pó encontrado era o cloreto de cézio, um tipo de sal em que o isótopo de cézio utilizado era altamente radioativo. A sua propriedade de brilhar no escuro chamou a atenção de Devair, que o levou para casa e mostrou a sua família, parentes e amigos. Estes, por sua vez, ao tocarem no pó, involuntariamente espalharam cézio radioativo, um vilão invisível, silencioso, mas extremamente perigoso. Devido à alta solubilidade do cloreto de cézio em água, o composto radioativo disseminou-se rapidamente nas redondezas da casa de Devair. Com o tempo, as pessoas começaram a adoecer. Desconfiada, a esposa de Devair levou tal cápsula à Vigilância Sanitária da cidade. O médico que a recebeu suspeitou de uma possível atividade radioativa do material e chamou o físico Valter Mendes, que trouxe consigo um contador Geiger, um aparelho medidor de radioatividade. Com a indicação do elevado índice de radioatividade na cápsula, o físico alertou as autoridades, que se articularam rapidamente em uma operação para avaliar a magnitude da contaminação.

As vítimas foram encaminhadas ao estádio olímpico de Goiânia, enquanto um clima de pânico se espalhava pela cidade. Funcionários com roupas de proteção avaliavam se as pessoas estavam contaminadas com material radioativo. Mais de 112 mil pessoas passaram por esta verificação.

Figura 11 - Vítimas do acidente Radiológico de Goiânia passando pela verificação de contaminação com contator Geiger.



Fonte: Metrôpoles, 2020. Disponível em: <<https://www.metropoles.com/brasil/pms-lembram-operacao-cesio-apos-33-anos-do-acidente-radioativo>>

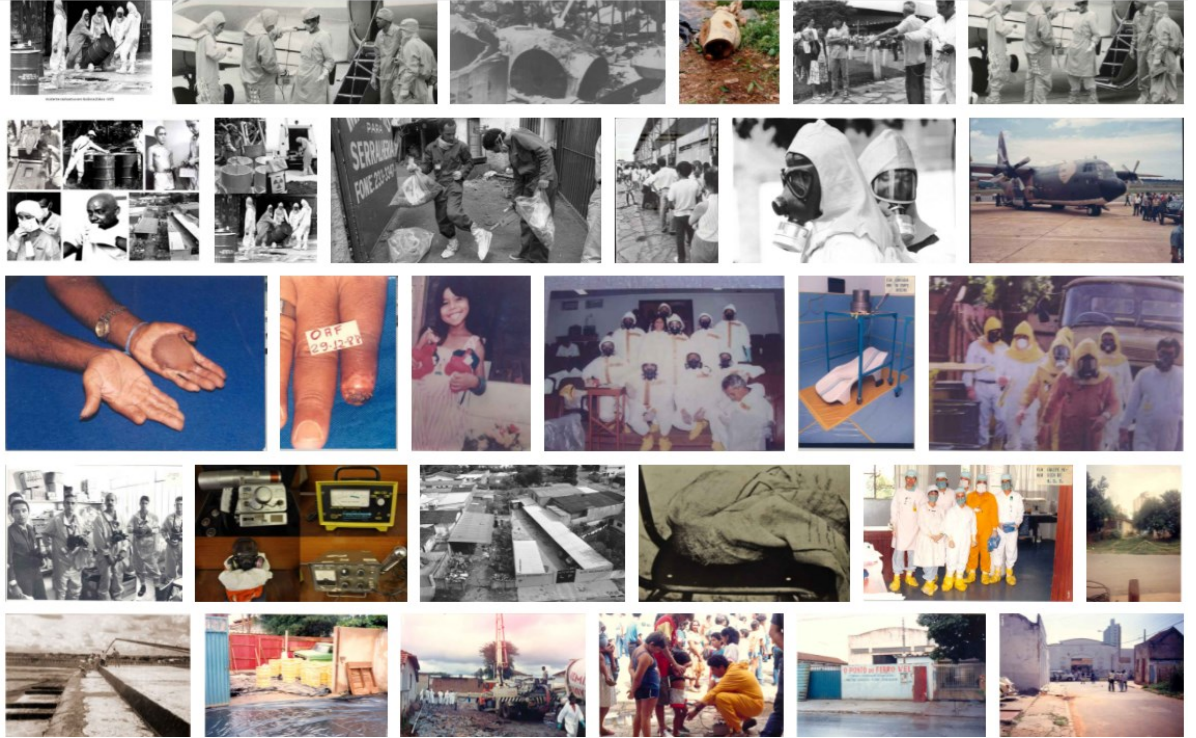
Nos dias seguintes, as áreas relacionadas com a moradia de Devair foram isoladas, objetos foram confiscados e animais sacrificados. Conforme o tempo passava, outras vítimas sentiam sintomas mais intensos e eram internadas em hospitais. Nas semanas e meses seguintes, instaurou-se no Brasil um ambiente de pânico, medo, preconceito e desinformação. Goianos não conseguiram desembarcar em outros estados. Produtos da cidade não eram vendidos em outros estados: tudo por causa do medo de estarem contaminados. Até os enterros das vítimas, que tiveram seus caixões blindados e cobertos com concreto, sofreram retaliação dos moradores das localidades próximas.

Os objetos pessoais, as ruínas das casas, relíquias de família, animais domésticos, tudo o que constituía o patrimônio das pessoas foi transformado em lixo radioativo e enterrado em um depósito de rejeitos radioativos no Parque Estadual Telma Ortegal – Abadia de Goiás (GO). É difícil mensurar o número de vítimas, pois, muitas vezes, elas desenvolvem problemas de saúde somente após algum tempo. Logo depois da contaminação, quatro pessoas morreram. A Associação de Vítimas

do ^{137}Cs estima que cerca de 1.600 pessoas tenham sido atingidas pela radiação e que mais de 100 já morreram em decorrência do acidente”.

A Figura 12 ilustra em algumas imagens alguns fatos marcantes do acidente.

Figura 12 - O acidente radiológico de Goiânia em imagens.



FONTE: Portal da Secretaria de Estado de Saúde do Estado de Goiás. Disponível em:

<<https://www.saude.go.gov.br/cesio137goiania>>

8 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento e aplicação do objeto educacional produzido neste trabalho foram realizados com alunos do 3º ano do ensino médio de um colégio estadual na cidade de Curitiba durante a realização da Residência Pedagógica.

Na primeira etapa foi realizada uma avaliação diagnóstica para verificar o interesse dos alunos sobre as radiações ionizantes, bem como o nível de entendimento dos mesmos sobre o assunto. Este primeiro momento foi realizado de forma remota, por meio da plataforma Google Classroom, pois, devido ao contexto da pandemia de COVID-19, as aulas estavam sendo realizadas de maneira remota.

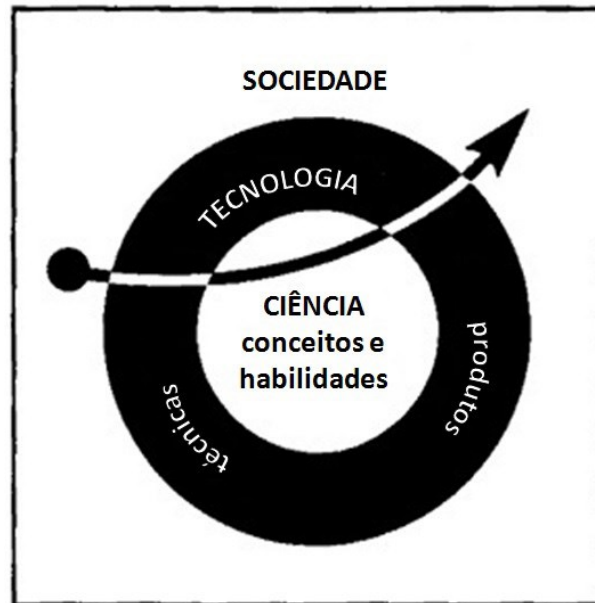
Os resultados mostraram boa adesão dos alunos em responder ao GoogleForms, o que demonstrou interesse e curiosidade pelo tema pela parte dos alunos. No momento em que esta etapa foi realizada, os estudantes estavam tendo conteúdos de eletromagnetismo, o que colaborou para a associação dos conteúdos. Essa etapa foi realizada nos meses de julho e julho, por meio dos formulários 1 e 2, e possibilitou a demonstração de interesse e curiosidade pelo assunto por parte dos alunos, porém, muitos conceitos não estavam claros para eles, apontando para a necessidade da elaboração de um objeto educacional para suprir essa necessidade.

Por meio das questões do questionário 1 (Anexo 1) buscou-se averiguar o contato dos alunos com as radiações ionizantes, por meio de exames que realizaram, ou se algum familiar próximo já realizou. Buscou-se sondar a respeito do interesse pelo assunto e propor a ideia de que as radiações estão presentes no cotidiano, seja por meio de exames de diagnóstico por imagem, ou aplicações na área de indústria e serviços, como na irradiação de alimentos.

Devido as respostas positivas quanto ao interesse pelo assunto, foi aplicado o questionário 2 (Anexo 2). Neste formulário foram elaboradas questões discursivas para averiguar as principais dúvidas sobre as radiações ionizantes e quais eram curiosidades sobre o assunto quando abordado nas obras de ficção científica. A principal questão do formulário 2 foi uma pergunta na qual os alunos deveriam discorrer sobre qual tema de maior curiosidade dentro das radiações ionizantes. Essa questão demonstrou, que a maior curiosidade dos alunos a respeito das radiações ionizantes no cotidiano, é com relação aos perigos acerca do seu uso, principalmente durante procedimentos médicos e acidentes radioativos.

Conforme a abordagem CTS, dentro da perspectiva de Aikenhead (1994), Figura 13, a proposta deste objeto educacional segue as 5 etapas propostas:

Figura 13 - Modelo metodológico CTS proposto por Aikenhead



Fonte: Adaptado de: SOLOMON, J; AIKENHEAD, G., 1994.

1. Introdução de uma questão social
2. Análise de uma tecnologia relacionada ao tema social
3. Definição do conteúdo científico em função do tema e da tecnologia
4. Estudo da tecnologia baseado no conteúdo
5. Ampliação do entendimento e discussão da questão social

Partindo dessa premissa, foi elaborada a vídeo aula sobre os impactos do acidente radiológico de Goiânia, tanto no âmbito social, quanto no âmbito ambiental. Procurou-se enfatizar as diferenças entre as tecnologias empregadas nos meados dos anos 50 e a atual para tratamentos de cânceres no Brasil.

Na problematização inicial, apresentaram-se questões e situações reais, que os alunos conhecem, como o caso dos acidentes radiológicos. O acidente de Goiânia foi escolhido justamente por ter ocorrido no Brasil, e ser um acidente de área urbana. Neste momento também buscou-se discutir o impacto social e ambiental do acidente. Dentre os aspectos sociais, a rejeição e o preconceito com os moradores locais, a

falta de assistência e o abandono. Já na questão ambiental, foram discutidos os impactos causados nos solos, águas, fauna e flora.

Para a compreensão dos temas e da problematização inicial foram abordadas as tecnologias empregadas nos equipamentos radioterápicos que utilizavam a fonte de ^{137}Cs , como no caso do aparelho radiológico que causou o acidente de Goiânia. Também foram abordados aspectos de decaimento radioativo, meia vida e blindagem da fonte. Em contrapartida, os alunos foram apresentados à tecnologia atual, dos aceleradores lineares, com enfoque na diferença da fonte emissora de radiação. Que nesse caso, é a produção de fótons por um tubo no qual é aplicada uma diferença de potencial, não sendo mais necessária a presença da fonte radioativa.

Visando uma discussão abrangente de abordagem CTS, foram abordados os tópicos relacionados aos problemas e dificuldades enfrentados pelos serviços de tratamentos de câncer no Brasil, como a falta de equipamentos, a má distribuição por região, a defasagem de profissionais qualificados e a falta de prevenção e detecção precoce da doença.

A aplicação da vídeo aula foi realizada durante o mês de novembro de 2021 de maneira presencial. Após a exposição do vídeo, foi solicitado aos alunos que respondessem a um terceiro questionário para análise das respostas.

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

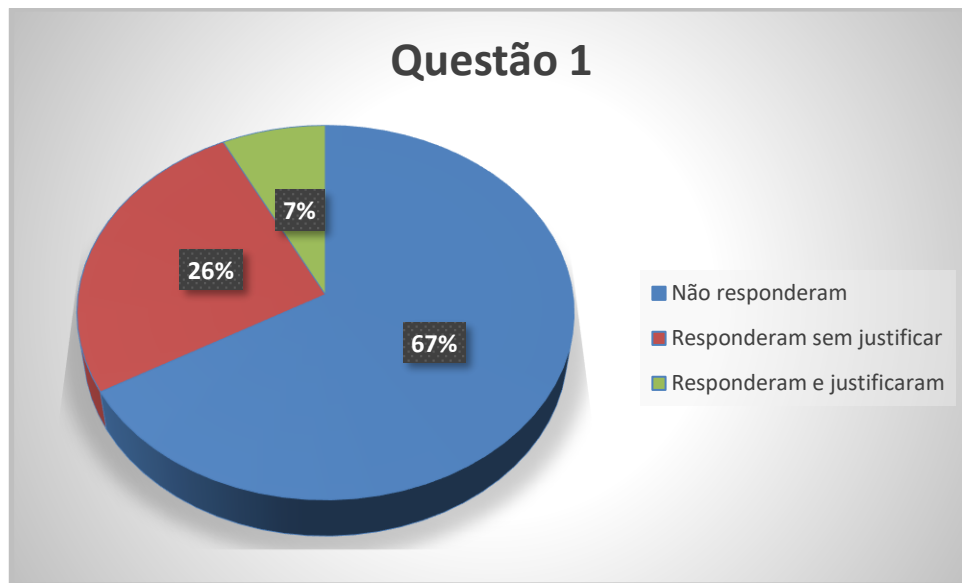
O questionário 3 (Anexo 3) foi aplicado com os alunos do 3º ano no ensino médio após a exposição do vídeo que foi exibido durante as aulas de física no módulo 3 da Residência Pedagógica. Ao todo, 27 alunos responderam ao questionário.

O questionário foi composto por 5 questões, sendo duas discursivas, uma de verdadeiro ou falso e duas objetivas.

A primeira questão: **“Você já tinha ouvido falar sobre o acidente radioativo de Goiânia? A radiação emitida no equipamento encontrado pelos trabalhadores e a radiação emitida em um acelerador linear são iguais? Justifique citando 3 características que comprovem sua resposta. E em relação a radiação emitida por uma lâmpada, são iguais? Justifique com base no espectro eletromagnético”**, teve como objetivo avaliar se as diferenças entre as tecnologias empregadas na cobaltoterapia e nos aceleradores lineares havia ficado clara, além de analisar a capacidade dos alunos relacionarem a radiação ionizante proveniente das ondas eletromagnéticas com a radiação visível, como foi comentado durante a exposição do espectro eletromagnético em aula anterior.

Dos 27 alunos que responderam à atividade, 18 deixaram essa primeira questão em branco (Figura 14). Nas atividades anteriores, que eram por questionário online, a adesão foi maior quando comparados ao questionário 3, que foi de escrita à mão. Uma possibilidade é que talvez por ser por meio digital, os alunos responderam mais prontamente. Outra possibilidade é que a volta as aulas presenciais não tenha sido bem aceita por todos, já que uma pequena parcela dos alunos retornou para às salas de aula. Das respostas obtidas, 7 responderam apenas que nunca tinham ouvido falar no acidente, porém não justificaram o restante da questão. Apenas 2 alunos justificaram a questão, considerando que a radiação do acidente não é a mesma radiação emitida por uma lâmpada. Dessa forma, nota-se a necessidade de um reforço maior no ensino do eletromagnetismo e da física moderna, principalmente a respeito das radiações eletromagnéticas, em termos de frequência e energia.

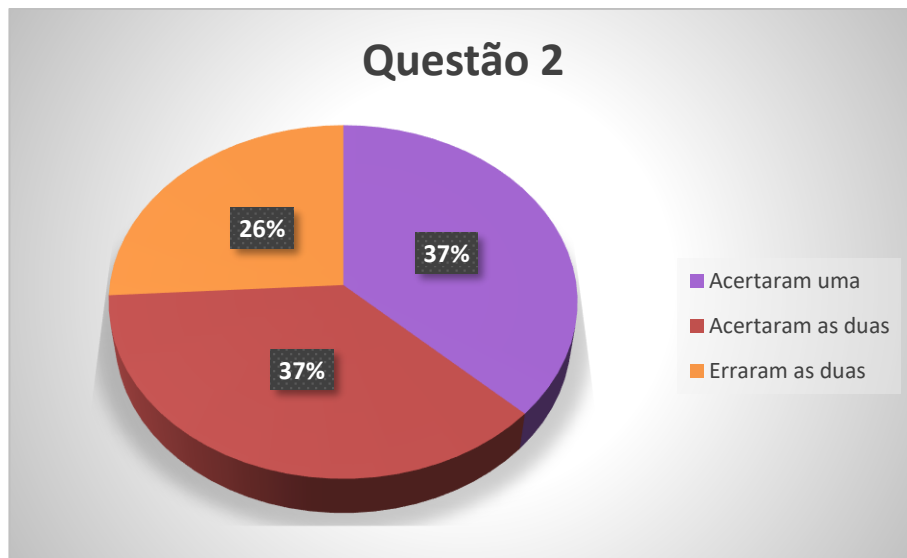
Figura 14 - Porcentagem de alunos que responderam à questão 1.



Fonte: autoria própria

A questão 2: “**Sobre a tecnologia dos aceleradores lineares e o quadro atual do tratamento do câncer no Brasil, marque as alternativas corretas**” foi composta por 5 opções, sendo apenas 2 verdadeiras. Essa questão teve como objetivo avaliar se a tecnologia envolvida nos aceleradores lineares foi entendida. A tecnologia em questão envolve a produção de fótons em tubo submetido a uma diferença de potencial. Dentre as alternativas, há a opção correta na qual a radiação ionizante proveniente dos aceleradores lineares só ocorre quando o aparelho é alimentado por uma fonte de alta tensão e também há a opção incorreta, na qual o enunciado diz que essa radiação é proveniente da fonte de ^{137}Cs . Aqui houve outro possível problema de leitura e interpretação de texto, pois muitos alunos marcaram as duas alternativas como correta, mesmo tendo sido reforçado que as duas tecnologias são diferentes. A outra alternativa correta é a de que os equipamentos aceleradores lineares emitem fótons de alta energia para tratar tumores. Essa alternativa teve quase totalidade de acertos (Figura 15).

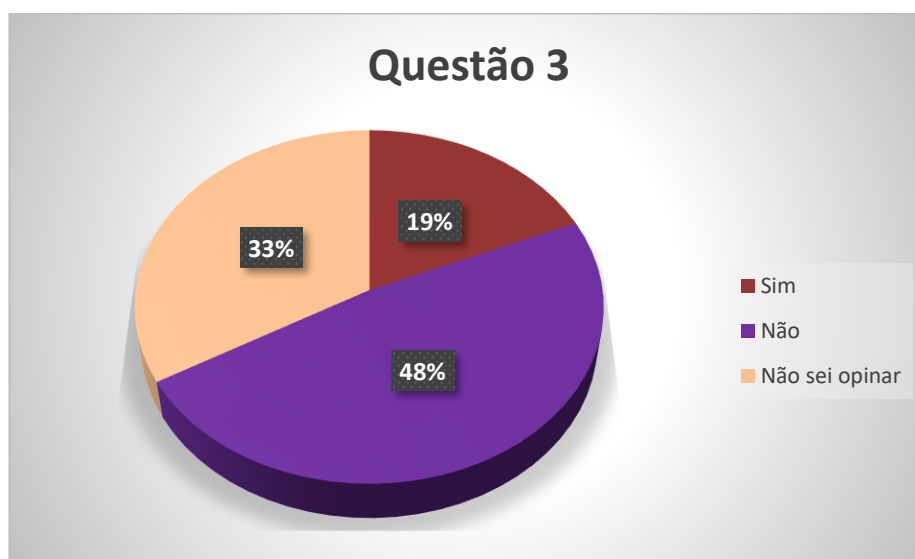
Figura 15 - Porcentagem de alunos que responderam à questão 2.



Fonte: autoria própria

Para avaliar a relação dos estudantes com o cotidiano, a questão 3 **“A partir do que foi dito sobre a tecnologia atual utilizada na radioterapia do Brasil hoje, você considera que seja seguro?”** mostrou que grande parte dos estudantes não se sentem seguros (Figura 16), mostrando que haveria a necessidade de maiores discussões a respeito da proteção radiológica no cotidiano, visto que é um tema de grande relevância para a saúde e sociedade.

Figura 16 - Porcentagem de alunos que responderam à questão 3.



Fonte: autoria própria

A questão 4 visou abordar os temas a respeito da telecobaltoterapia. Da mesma forma que a questão 2, o objetivo dessa pergunta foi averiguar se os conceitos envolvidos em ambas as tecnologias estudadas estavam bem estabelecidos. O enunciado da questão e as alternativas foram os seguintes:

“De acordo com a telecobaltoterapia, marque V para verdadeiro e F para falso.

a () A telecobaltoterapia é um tipo de radioterapia que foi muito comum nos anos 50 e 60.

b () O princípio da geração de radiação da cobaltoterapia se dá por meio de altas tensões aplicadas a um tubo de vidro.

c () O princípio da geração de radiação da cobaltoterapia se dá por meio do decaimento radioativo de uma fonte de Césio.

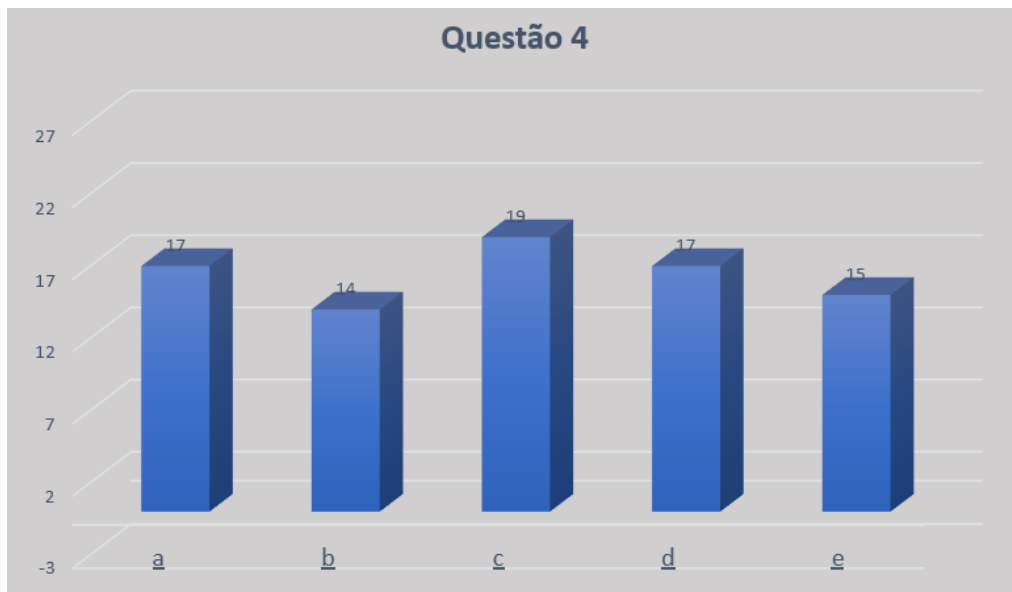
d () A cobaltoterapia pode ser tida como mais “perigosa” pois não tem como “desligar” a fonte radioativa.

e () A cobaltoterapia é utilizada para tratar tumores e necessita da troca da fonte radioativa devido ao decaimento da atividade da fonte a cada tempo de meia vida.”

Por meio das respostas, nota-se que também há possíveis problemas a respeito da interpretação de texto, pois alternativas antagônicas foram marcadas como verdadeiras simultaneamente (Figura 17). A probabilidade de ser uma falha na interpretação de texto ganha força porque estas questões foram bastante discutidas em sala de aula, principalmente reforçando o fato de que o equipamento utilizado na cobaltoterapia teve seu uso descontinuado principalmente para evitar acidentes radiológicos devido a necessidade da troca de fontes a cada meia vida. Nessa questão, a quantidade de acertos foi bastante elevada em comparação com a questão 2.

A Figura 17 foi subdividida em relação aos acertos de cada alternativa.

Figura 17 - Quantidade de acertos em cada uma das 5 alternativas da questão 4.



Fonte: autoria própria

Visando aumentar a discussão sobre os impactos causados por acidentes radioativos e nucleares, a questão 5 foi formulada. Essa questão incita os alunos a pensar sobre novas propostas e soluções para que acidentes desta magnitude não voltem a ocorrer. O enunciado ficou da seguinte maneira: **“Aponte o fato que considerou mais marcante sobre o caso do acidente radioativo de Goiânia e o que você acha que ainda pode ser feito para que não ocorra um acidente assim novamente”**. Aqui novamente ocorreu o mesmo problema da questão 1, sendo que dos 27 alunos, 11 responderam.

Dentre as respostas, os fatos marcantes para a maioria dos alunos que responderam à questão, foram os erros cometidos que levaram ao acidente. As causas mais citadas foram de que houve falha humana, falta de responsabilidade da clínica que dispensou a fonte em local inapropriado e necessidade de melhora no descarte radioativo. Como sugestão, as respostas indicaram melhora no descarte do lixo radioativo, melhorar o treinamento dos funcionários, realizar manutenção regularmente e acrescentar mais uma barreira de chumbo.

Houve ainda alunos que indicaram o acidente de Chernobyl, sendo feita uma discussão em sala a respeito do ocorrido tanto em Chernobyl quanto em Fukushima. Essa questão foi a que mais despertou o interesse dos alunos e a que mais gerou comentários. Muitos alunos ficaram tristes e impressionados com a quantidade de vítimas e relataram que nunca tinham ouvido falar no acidente.

Por meio da resolução do questionário 3, nota-se que há uma possível defasagem quanto a leitura e interpretação de texto por parte dos estudantes. Visto que as discussões em sala de aula apontaram para um entendimento claro sobre o assunto e nenhum aluno manifestou dúvida quanto ao conteúdo do vídeo ou quanto as questões propostas. As respostas erradas marcadas como verdadeiras mostram que há um conflito entre a fala e a escrita. Outra possibilidade é a falta de motivação dos estudantes durante a aula.

A participação dos estudantes em sala foi alta e demonstraram interesse no tema, em especial, devido às curiosidades que tinham a respeito do personagem *Hulk* e sobre a série *Chernobyl*.

Devido as respostas obtidas sobre a maioria dos estudantes não ter segurança quanto ao uso das radiações ionizantes, pode-se pensar em algumas possibilidades para tal fato que podem ser atribuídas a defasagem no ensino, principalmente pela falta do conteúdo de física moderna, ou pela dificuldade do ensino remoto. Ainda se tem a possibilidade de que a abordagem escolhida neste trabalho não tenha sido abrangente o suficiente. Conclui-se também que a capacidade de relacionar as diferentes fontes de radiação eletromagnética foi problemática.

A vídeo aula gerou ótimas discussões a respeito dos impactos ambientais, principalmente quando foi tratado do sacrifício de animais. Os alunos ficaram impactados com as cenas dos caixões lacrados em caixas de chumbo e houve uma discussão relacionando à pandemia da COVID-19.

Outro fato que despertou interesse e gerou uma explicação a parte foi a questão da meia vida do ^{137}Cs . Os alunos tiveram bastante dificuldades para entender o conceito, pois não lembravam do modelo atômico e dos conceitos envolvidos.

Em uma das turmas foi levantada a questão de um professor que teve manchas na pele que disseram ser causadas pela radiação emitida pela lâmpada da sala de aula. A partir disso, discutimos a respeito da radiação UV e sobre os possíveis danos que a radiação causa na estrutura do ADN e de macromoléculas. Também foi discutida a diferença entre câncer, tumores (malignos e benignos) e neoplasia.

10 CONCLUSÃO

A escolha do tema física médica, deu-se devido a necessidade de a população ter acesso às informações relevantes quanto a própria segurança e qualidade de vida, visto que as radiações ionizantes estão constantemente presentes no dia a dia, seja na realização de um exame de radiodiagnóstico, ou seja nos alimentos e medicamentos que consumimos e, frequentemente, são esterilizados via radiação Gama. Além de estarem presentes na geração de energia nuclear que é um tema bastante discutido atualmente. Os mitos envolvendo o uso das radiações ionizantes são também muito difundidos em séries e filmes de ficção científica e fantasia.

Os questionários 1 e 2 que foram aplicados de maneira remota, tiveram uma maior participação dos alunos, quando comparados ao questionário 3, que foi presencial. Tal fato pode ser devido à repentina volta as aulas e extinção da plataforma remota, pois muitos alunos não se sentiram a vontade em retornar ao modelo presencial e não compareceram à escola. Outro motivo da diminuição na participação, pode estar relacionado ao fato de que, por estar no final do ano letivo, muitos já tem nota suficiente e não se sentem motivados a participar de outras atividades.

Com relação as respostas obtidas no questionário 3, nota-se que ficaram falhas conceituais em relação às diferenças entre as tecnologias (cobaltoterapia e acelerador linear), bem como a relação das radiações ionizantes com a luz visível e o espectro eletromagnético. Outro fato relevante foi que a maioria dos alunos ainda não se sentem seguros quanto o uso das radiações ionizantes. Nessa questão, nota-se que há necessidade em alertar a população a respeito do uso das radiações ionizantes bem como difundir informações a respeito da proteção radiológica.

As dificuldades enfrentadas pelos alunos sobre os conceitos de eletromagnetismo podem ser devidas as adversidades que ocorreram nos anos de 2020 e 2021 devido à pandemia. Os alunos tiveram aulas remotas pela plataforma Google Meet até meados do mês de novembro. O retorno foi imposto e alguns alunos não se sentiram confortáveis a retornar, de forma que muitos pararam de ir à escola. Esse também é um fato que justifica que apenas 27 alunos tenham participado da atividade referente a aplicação do vídeo e do questionário 3.

A aplicação do objeto educacional gerou bastante discussão em sala a respeito das causas do câncer, maneiras de preveni-lo e fatores de risco. Os alunos

demonstraram bastante interesse nas questões referentes à saúde e a produção da energia nuclear. Dessa forma, foi possível realizar discussões abrangentes e interdisciplinares, como por exemplo, o contexto regional do acidente de Goiânia e sua relação com acidentes de Chernobyl e Fukushima, a história do acidente e o impacto que gerou para os moradores da região e para o Brasil, os fatores biológicos e etiológicos do câncer e as pautas sociais e políticas que decorreram após o acidente.

Com a realização deste trabalho, nota-se que há necessidade em dar maior enfoque nos tópicos da física médica dentro de sala de aula. O ensino da física por esse viés desperta maior interesse dos alunos, visto que grande parte possui interesse em assuntos relacionados à saúde. Essa abordagem também favorece o senso crítico e difunde informações relevantes de segurança quanto à exposição às radiações bem como desmistifica o seu uso no cotidiano.

REFERÊNCIAS

AIKENHEAD, G. S. **The social contract of science: implications for teaching science.** In: SOLOMON, J. e AIKENHEAD, G. (Eds.), STS education - International perspectives on reform. New York: Teachers College Press, 1994.

ATTIX Frank H. **Introduction to Radiological Physics and Radiation**, 1986.

BAZZO, W. A.. **Ciência, tecnologia e sociedade: e o contexto da educação tecnológica.** Florianópolis: UFSC, 1998.

BAZZO, W. A., *et al.* Introdução aos estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Mari, Espanha : OEI - **Organização dos Estados Ibero-americanos**, 2003

BRASIL (país). Secretaria de Educação Básica. *Formação de professores do Ensino Médio, Etapa II - caderno III: Ciências da Natureza.* **Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica.** Curitiba: UFPR/Setor de Educação, 2014.

Brasil. Ministério da Educação, **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM)** - Física. Disponível pelo link <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>.

Brasil. Ministério da Educação, **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)** - Ensino Médio. Disponível no link: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_sit e.pdf.

Brasil Escola, disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-sao-os-raios-x.htm>> Acessado em 01/12/2021.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. Física. São Paulo: Cortez, 1990.

EISBERG,R.; RESNICK,R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos Partículas.** 9. ed. Rio de. Janeiro: Editora Campus,1994.

HADDAD, C. K. A importância da Física Médica no cenário de desenvolvimento do País.
Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v. 12, n. 1, p. 8-10, 2011.

HALL, Eric J; GIACCIA, Amato J. **Radiobiology of the Radiologist.** LWW; 8th ed., 2018.

ICRP: International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP. ICRP Publication 103, 2007. Disponível em: <[http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dliup.nsf/DDB47B674D289026C22580BF0045E3EF/\\$file/ICRP_103.pdf](http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dliup.nsf/DDB47B674D289026C22580BF0045E3EF/$file/ICRP_103.pdf)> Acesso em 17/12/2021

INCA 2020: Disponível em:
<<https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document//estimativa-2020-incidencia-de-cancer-no-brasil.pdf>> Acesso em 01/12/2021;

INCA, 2019. Disponível em:
<https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document//a_situacao_ca_mama_brasil_2019.pdf> Acesso em 01/12/2021;

KHAN'S. **The Physics of Radiation Therapy**. Lippincott Williams & Wilkins; 5th ed, 2014.

OKUNO E., E.M. YOSHIMURA. **Física das Radiações**. Oficina dos Textos, São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, Renan Pinheiro de. **Física médica aplicada ao ensino de física das radiações: um relato de experiência na criação e aplicação de uma sequência didática para o ensino médio utilizando TICs**. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MADRUGA NETO, AC; TRINDADE, AKF. UMA NOVA PERSPECTIVA NO TRATAMENTO DA RADIODERMATITE – RELATO DE CASO. Disponível em:
<<https://security.ufpb.br/ccm/contents/documentos/biblioteca-1/tccs/tccs-2013/tcc-antonio-coutinho-madruga-neto.pdf>> Acesso em 30/11/2021

PALACIOS, E.M.G *et al.* Introdução aos estudos CTS (Ciência, tecnologia e sociedade). **Cadernos ibero-americanos**. 2003.

PARISOTO *et al.* **Física na Escola** 15(1), 19 (2017).

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Educação CTS e cidadania: confluências e diferenças. **Revista de Educação em Ciências e Matemáticas** V.9 – nº 17 - jul. 2012/dez. 2012, p.49-62.

SAREWITZ, D. **Frontiers of illusion: science, technology and politics of progress**. Filadélfia, EUA: Temple University Press, 1996.

SCAFF, L. A. M. **Física na Radioterapia A Base Analógica de uma Era Digital**. São Paulo: Editora Projeto Saber; 2010.

TAUHATA, L., *et al.* **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 9ª revisão novembro/2013.

TERINI, Ricardo. Física médica no ensino médio. **A Física na Escola**, v. 18, n. 1, 2020.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene; **Física para Cientistas e Engenheiros** - Vol. 2 -. Eletricidade e Magnetismo, Ótica. 6ª Edição, Editora LTC 2009.

YANARICO, Agustín Apaza. Uma Tecnociência para o Bem-estar Social. **Revist@ do Observatório do Movimento pela Tecnologia Social da América Latina**. Volume 1 - número 1 – julho de 2011.

ANEXOS

ANEXO 1

Você já ouviu falar que os raios X são perigosos? O que vc acha a respeito?

52 respostas

Já ouvi falar, ainda mais por causa da radiação que vai estar entrando no seu corpo

Sim, Por isso temos QUE usar roupas especiais prã exames

Sim... Mas nao sei o motivo de ser perigoso entao nao tenho uma opiniao formada sobre isso

Sim, Eu acho que Raios X são necessarios, porem existe esse "risco" sobre a radiação dele.

ao mesmo tempo em que ajuda os médicos a diagnosticar doenças, a radiação pode ser perigosa

Já sim, bastante perigoso

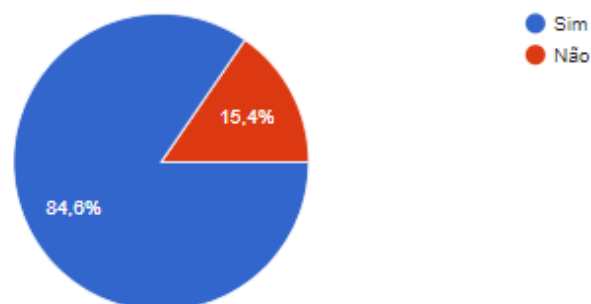
simm, eu sabia. Raio X pode ser perigoso por poder alterar DNA se for feito em grande quantidade

ja ouvi que o medico precisa se proteger por que se receber eles constantemente gera cancer.

Sim, acho que devemos nos internar sobre os assuntos

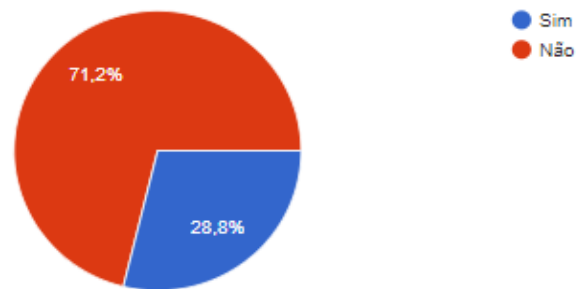
Você já fez algum exame radiológico? (Radiografia, tomografia, panorâmica)

52 respostas



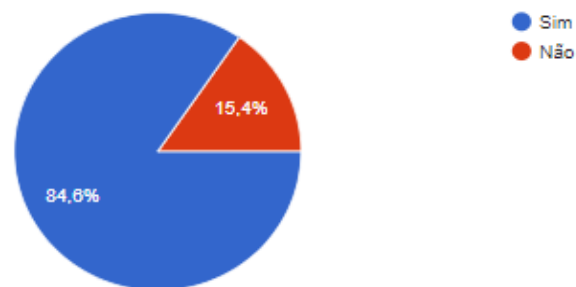
Você sabia que os alimentos são irradiados para melhor conservação?

52 respostas



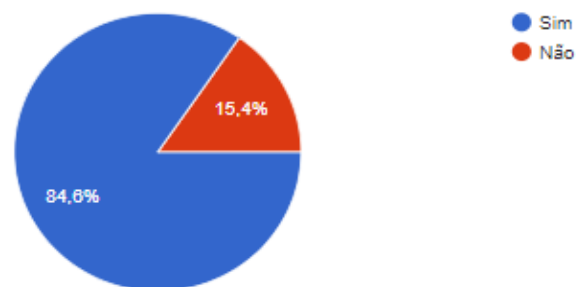
Você tem interesse em aprender mais sobre os efeitos das radiações no seu organismo/ saúde e onde as radiações estão presentes no seu dia a dia ?

52 respostas



Você tem interesse em aprender mais sobre energia nuclear e acidentes nucleares?

52 respostas



ANEXO 2

Deixe aqui alguma sugestão de tema ou assunto que você tenha curiosidade e interesse em aprender a respeito das radiações.



Sua resposta

Conte alguma possível experiência que teve em relação às radiações. Pode ser sobre algum exame que realizou, ou se algum parente seu já fez tratamento em radioterapia ou medicina nuclear.

Sua resposta

Descreva se já ouviu algo a respeito das radiações para que possamos esclarecer se é verdade ou mito e por quê.

Sua resposta

Descreva se já ouviu algo a respeito das radiações para que possamos esclarecer se é verdade ou mito e por quê.

ANEXO 3

01) Você já tinha ouvido falar sobre o acidente radioativo de Goiânia? A radiação emitida no equipamento encontrado pelos trabalhadores e a radiação emitida em um acelerador linear são iguais? Justifique citando 3 características que comprovem sua resposta. E em relação a radiação emitida por uma lâmpada, são iguais? Justifique com base no espectro eletromagnético.

02) Sobre a tecnologia dos aceleradores lineares e o quadro atual do tratamento do câncer no Brasil, marque as alternativas corretas.

O câncer que mais acomete homens no Brasil é o câncer de pulmão.

Atualmente existem no Brasil, quantidade suficiente de aparelhos de radioterapia, sendo que estão espalhados de maneira homogênea por todo território.

Os aceleradores lineares são equipamentos que emitem fótons de alta energia para tratar tumores.

Os aceleradores lineares tem como principio físico o decaimento radioativo de uma fonte de Césio 137.

Para que os aceleradores lineares emitam radiação, é necessário que estejam alimentados por uma alta tensão, ou seja, só funcionam quando conectados a uma tomada.

03) A partir do que foi dito sobre a tecnologia atual utilizada na radioterapia do Brasil hoje, você considera que seja seguro?

Sim

Não

Não sei opinar

04) De acordo com a telecobaltoterapia, marque V para verdadeiro e F para falso.

A telecobaltoterapia é um tipo de radioterapia que foi muito comum nos anos 50 e 60.

O princípio da geração de radiação da cobaltoterapia se dá por meio de altas tensões aplicadas a um tubo de vidro.

O princípio da geração de radiação da cobaltoterapia se dá por meio do decaimento radioativo de uma fonte de Césio.

A cobaltoterapia pode ser tida como mais “perigosa” pois não tem como “desligar” a fonte radioativa.

A cobaltoterapia é utilizada para tratar tumores e necessita da troca da fonte radioativa devido ao decaimento da atividade da fonte a cada tempo de meia vida.

05) Aponte o fato que considerou mais marcante sobre o caso do acidente radioativo de Goiânia e o que você acha que ainda pode ser feito para que não ocorra um acidente assim novamente.