



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

Magno Pinheiro De Farias

**Ficção científica e ensino de Química: Uma abordagem dos
conceitos de radioatividade a partir do filme *Godzilla Minus
One***

BRASÍLIA – DF

2025



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

**Ficção científica e ensino de Química: Uma abordagem dos
conceitos de radioatividade a partir do filme *Godzilla Minus
One***

Trabalho de Conclusão de Curso em
Ensino de Química apresentado ao
Instituto de Química da Universidade de
Brasília, como requisito parcial para a
obtenção do título de Licenciado em
Química.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Evelyn Jeniffer
de Lima Toledo

BRASÍLIA – DF

2025

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, pelo amor e apoio. Aos meus amigos, pela amizade e pelas boas conversas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, a qual sua disposição e luta ao decorrer de sua vida me possibilitaram, a ingressar na Universidade de Brasília, para me aproximar daquilo que sempre me fascinei desde os tempos do ensino fundamental, a natureza e a ciência.

Agradeço a meu pai, minha namorada e familiares, que depositaram uma motivação sem tamanho, e um orgulho pela minha pessoa a qual jamais serei digno possuir ou capaz de retribuir.

Agradeço aos meus queridos amigos e colegas, a qual me prestigiaram com sua companhia, que me incentivaram e acolheram com suas palavras, e apesar de meus receios e fracassos, ainda sim acreditaram e me deram suporte até aqui, especialmente aos amigos a qual, infelizmente, não estão, mas entre nós, sou grato por cada palavra e gentileza.

Agradeço aos professores, que curiosamente, viram em mim uma possibilidade a qual desconheço, e que nisso me ofereceram inúmeras oportunidades de desenvolvimento intelectual e pessoal.

Agradeço a Prof^a Dra Evelyn Jeniffer de Lima Toledo pela orientação e paciência ao longo da orientação.

EPIGRAFE

"A ciência começa a estar em condições de descrever a criatividade da natureza, e o tempo, hoje, é também o tempo que não fala mais de solidão, mas sim da aliança do homem com a natureza que ele descreve." — Ilya Prigogine, As Leis do Caos.

Resumo

A presença do tema “radiação e “radioatividade” continua marcante em diversos campos das ciências, impactando significativamente o avanço e a manutenção da sociedade. Por mais que muitas vezes associada apenas a riscos e catástrofes, principalmente em meio a mídia, o fenômeno da radiação tem diversas possibilidades benéficas, como na medicina, geração de energia e até agricultura. Dito isto, este trabalho busca uma visualização qualitativa frente a exploração da temática radiação e seus conceitos básicos no filme *Godzilla Minus One* (2023). Este trabalho visa a identificação e contraste de elementos presentes na narrativa ficcional com os conhecimentos científicos sobre a radioatividade. Na análise qualitativa realizada, sete trechos relevantes do filme que apresentam referências à temática da radioatividade foram selecionados, a qual destacaram a presença do efeito Cherenkov, a radiação residual e explosões nucleares. A análise concluiu que, mesmo em uma obra designada para a ficção científica, o filme apresenta interações com conceitos científicos reais, revelando potencial significativo para o desenvolvimento de diferentes abordagens pedagógicas para o ensino de ciências quanto a temática da radioatividade a partir da ficção.

Palavras-Chave: Radiação, Radioatividade, Ficção Científica, Efeito Cherenkov

Abstract

The presence of the themes "radiation" and "radioactivity" remains prominent in various fields of science, significantly impacting the advancement and maintenance of society. Although often associated only with risks and catastrophes, particularly in the media, the phenomenon of radiation has several beneficial possibilities, such as in medicine, energy generation, and even agriculture. That said, this paper seeks a qualitative visualization of the exploration of the theme of radiation and its basic concepts in the *Godzilla Minus One* (2023). This work aims to identify and contrast elements present in the fictional narrative with scientific knowledge about radioactivity. In the qualitative analysis conducted, seven relevant excerpts from the film that reference radioactivity were selected, highlighting the presence of the Cherenkov effect, residual radiation, and nuclear explosions. The analysis concluded that, even in a work designated as science fiction, the film presents interactions with real scientific concepts, revealing significant potential for the development of different pedagogical approaches to teaching science on the topic of radioactivity through fiction..

Keywords: Radiation, Radioactivity, Science Fiction, Cherenkov Effect

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1 Os modelos atômicos e a radiação	10
3. APLICAÇÕES DA RADIAÇÃO.....	18
3.1 Radiadores Industriais	Erro! Indicador não definido.
3.2 Radiação na agricultura	18
3.3 Radiação na medicina.....	18
4. RADIOATIVIDADE: DESAFIOS E RELEVÂNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS...	20
5. FILMES DE FICÇÃO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE CIÊNCIAS	22
6. METODOLOGIA	27
7. FILME SELECIONADO: GODZILLA ORIGEM E SIGNIFICADO.....	27
8. RESULTADOS E DISCURSSÃO	27
8.1 Descrição dos Trechos.....	31
8.2.Efeito Cherenkov.....	38
8.3 Radiação Residual.....	39
8.4 Explosão Nuclear	40
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS.....	43

INTRODUÇÃO

Os esforços e idealizações científicas que sustentam e expandem o conhecimento da sociedade atual não surgiram por acaso. Os conhecimentos sobre radiação e radioatividade, assim como as constatações, experimentações e modelos que utilizamos hoje, resultam de um percurso histórico que moldou nossa compreensão desses fenômenos.

Sabendo o quanto a influência da ciência teve peso significativo na sociedade e conseqüentemente foi um marco para o avanço tecnológico da humanidade, este trabalho tratará de uma das áreas científicas iniciadas séculos atrás, sendo de grande influência para mudar a forma como vemos e tratamos a estrutura atômica e as singularidades das partículas.

A radioatividade possui uma influência significativa ao longo da história, como sua presença ainda constante na medicina desde a descoberta dos raios X. Ela desempenhou um papel decisivo nos estudos científicos e nas ações militares que impactaram o mundo durante a Segunda guerra mundial (1939-1945) com as bombas atômicas, "Little Boy" e "Fat Man" nas cidades de Hiroshima e Nagasaki, nos dias 6 e 9 de outubro do ano de 1945.

Seria incongruente destacar mudanças significativas ao longo da história sem direcionar uma perspectiva para o futuro. Nesse contexto, diferentes abordagens que enfatizem essa temática altamente relevante se mostram essenciais, pois podem contribuir para uma compreensão mais aprofundada e crítica da influência da radiação no cotidiano, desde suas possíveis aplicações, funcionalidades até seus perigos.

Uma dessas possíveis abordagens, é o uso de elementos da ficção científica como recurso didático. Filmes do gênero ficção científica, acabam possuindo interação, de forma explícita ou implícita, com a temática radioatividade. Mesmo sendo representações ficcionais, podem ser exploradas para estabelecer um parâmetro pedagógico e promover discursões com base em conhecimentos reais.

Com base em tal possibilidade didática, este trabalho realiza uma análise qualitativa do filme *Godzilla Minus One* (2023). A análise busca preservar a narrativa ficcional da obra sem desconsiderá-la, criando uma interação com os conhecimentos científicos reais. O objetivo deste trabalho é, com o auxílio da obra, discutir a possibilidade de interação entre a ficção científica, o conhecimento científico e o aprendizado de conceitos inerentes à radioatividade.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os modelos atômicos e a radiação

Em meados do século V a.C. os filósofos gregos, em suas observações quanto a natureza, viram a necessidade de discutir o funcionamento do mundo ao seu redor. Assim, surgiram teorias sobre o comportamento da matéria ao redor deles e o que determinava suas características.

Os filósofos pré-socráticos, Leucipo (450 a.C.) e Demócrito (420 a.C.) se tornaram os conhecidos “atomistas”; tendo como o fundador da ideia do atomismo, Leucipo – discípulo da escola de Thales de Mileto – e Demócrito, seu discípulo. Ambos se basearam na metafísica de Zenão de Eléia ao propor a esfericidade do átomo. Segundo Zenão, o átomo seria a Unidade e Deus seria, também a Unidade. Logo, sendo Deus perfeito, só poderia ser esférico (MAY, 2010)

Ambos defendiam a existência de uma partícula indivisível, que constituiria toda a matéria ao nosso redor e daria a natureza suas mais variadas formas e propriedades, limitadas e regidas pela indivisibilidade do átomo (Caruso; Oguri, 1997).

O atomismo foi um precursor para a teoria atômica, mas muito mudou devido a diferentes experimentos reproduzidos posteriormente que exigiram observações e diferentes percepções quanto a natureza da partícula fundamental.

Os cientistas John Dalton (1766~1844), Joseph John Thomson (1856~1940), Ernest Rutherford (1871~1937) e Niels Bohr (1885~1962), em suas diferentes experimentações e indagações quanto a postura e comportamento do átomo, cada um dentro de seu próprio contexto temporal, moldaram diferentes modelos atômicos, sendo citados constantemente em disciplinas introdutórias de química geral, assim como em livros, apostilas e demais materiais na atualidade (Xavier *et al.*, 2007).

John Dalton, com base em experimentos e consequentes leis postuladas por outros cientistas de sua época, como Louis Proust (1754-1826) e Antoine Lavoisier (1743- 1794), a qual contribuíram fortemente para uma melhor visualização da matéria e das transformações químicas, formulou seu modelo atômico (Marchesi; Custodio, 2023). No entanto, é inegável que as bases do modelo de Dalton se encontram na obra *De Rerum Natura*, de Lucrécio. Nesta obra, a descrição de átomo se assemelha ao proposto por Dalton (MAY, 2010).

O modelo de Dalton agregava em si postulados quanto a sua constituição. Em suma, Dalton afirmava que a matéria seria constituída de pequenas partículas, o

átomo, e que estas partículas, assim como a matéria composta por elas não poderia ser criada ou destruída, e de que haveria uma certa ordem quanto a formação de substâncias simples e compostas de propriedades semelhantes ou diferentes com base em sua constituição.

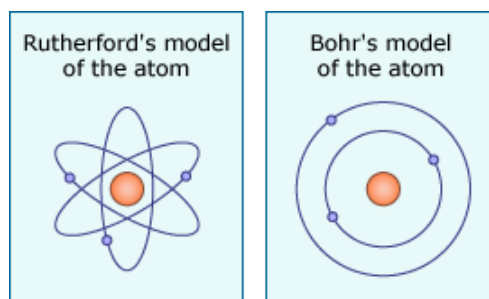
Um modelo atômico posterior foi formulado por Joseph John Thomson – entre os anos de 1897 e 1904 – a partir de experimentos baseados em descargas elétricas controladas sobre gases confinados (em tubos de Geissler) a baixas pressões. Nesses experimentos, descargas elétricas atravessavam tubos a vácuo com uma alta voltagem. A natureza desses raios aparentava incerta, era claro pela experimentação que havia uma determinada repulsão desses raios quando uma carga elétrica era exposta possibilitando que o cientista constataste a existência de corpúsculos negativos nos átomos (Thomson, 1897).

Assim, o modelo atômico de Thomson foi postulado como uma esfera positiva contendo corpúsculos negativos distribuídos, obedecendo a critérios geométricos (DIAS et al., 2024). Ainda em 1904, o físico Hantaro Nagaoka propôs um modelo no qual os elétrons deveriam orbitar um núcleo, positivamente carregado, no qual a órbita seria função da dimensão do átomo. Sendo assim, átomos pequenos, como hidrogênio, deveriam ter orbitas pequenas enquanto átomos grandes, como ouro, deveriam ter órbitas grandes. Foi baseado nesta informação que o físico Ernest Rutherford propôs um experimento de espalhamento, de partículas alfa, a fim de verificar qual das propostas era a mais acertada: de Thomson ou de Nagaoka. (Nagaoka, 1904)

Rutherford realizou um experimento que consistia em uma fina folha de ouro sendo alvo da emissão de partículas alfa. Ao redor da parte traseira da lâmina de ouro estava uma placa de metal que serviria para detectar as refrações das partículas (Rutherford, 1911).

Com este experimento, o cientista notou que ocorriam desvios consideráveis de partículas alfa em ângulos estridentes, enquanto demais partículas conseguiam transpassar a folha sem problemas. Com a análise deste experimento, surgia então o Modelo de Rutherford, uma zona central positiva - o núcleo - e uma zona difusa à sua volta, com a carga negativa “orbitando” ao redor do núcleo, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Comparação entre os modelos de Rutherford e Bohr



Fonte: University of California Museum of Paleontology, Understanding Science. Disponível em: < <https://undsci.berkeley.edu/teach-resources/rutherford-and-the-atom-4-of-4/> >. Acesso em: 18/04/25.

Nesse experimento, o cientista concluiu a existência de um vazio no átomo, que permitia a passagem de partículas alfa até a folha de ouro, enquanto outros choques eram evidenciados pelo aparato ao redor, visto que determinados choques levavam a uma angulação extremamente alta (Rutherford, 1911).

O desenvolvimento do modelo de Rutherford (Figura 1) foi um grande acréscimo para a comunidade científica, dado ramos da química e da física. Porém, o modelo possuía certas contradições, de fato havia a relevância da experimentação quanto aos aspectos das cargas e a distância em relação ao núcleo, porém, sabendo que cargas eletrostáticas de carga oposta se atraem, inevitavelmente, o elétron iria perder energia e desacelerar até atingir o núcleo (Lopes, Gomes, 2018).

Posteriormente a Rutherford, Niels Bohr (1885-1962) cunhou um novo modelo atômico, nesse o elétron ocuparia orbitas circulares quantizadas ao redor do núcleo. Assim, as emissões e absorções de radiação/energia, com valor específico, possibilitariam o elétron transitar de uma orbita para outra (Marchesi; Custodio, 2023).

Com os modelos vistos e evidenciados, sabemos que o átomo possui em sua composição partículas, hoje com a alcunha de "partículas subatômicas". Este termo não se refere apenas aos prótons, nêutrons e elétrons, mas também as demais partículas que podem ocorrer a fenômenos nucleares, como pósitrons, quarks, neutrinos e mésons.

Neste trabalho, este termo irá ser usado para embasar as três partículas fundamentais da composição atômica. A reação destas partículas propicia, em pequena e em grande escala, reações químicas, e mais a fundo, reações nucleares que levam a fenômenos energéticos com de grandes magnitudes (Atkins; Jones, 2007).

A história da radioatividade tem como o antecessor a história do Raio-X, descoberto por Wilhelm Conrad Röntgen (1845~1923). Röntgen realizando experimentos com tubo de Crookes, junto de uma tela coberta com platinocianeto de bário (Martins; Aires, 1998), produz chapas fotográficas como imagens nunca antes vistas. É dito que uma das primeiras imagens com uso de Raios X foi de sua esposa Anna Bertha Ludwig (1872~1919) com seu anel de matrimônio (Figura 2). Esse feito abalou a comunidade científica, o mundo e a medicina, garantindo a Röntgen o prêmio Nobel de física em 1901 (Chassot, 1995).

Figura 2. Raios X de Bertha Ludwig e seu anel de matrimônio



Fonte: Martins (1998, p. 380).

No experimento de Röntgen, ao ligar o aparato, um gerador de raios X emite radiação direcionada a uma pessoa. As radiações atravessam algumas partes do corpo, enquanto outras não. Os raios não absorvidos colidem com uma chapa que detecta a radiação resultante, o que permite observar claramente a estrutura óssea e algumas linhas rudimentares e quase transparentes refletindo a carne atravessada pelos raios (Chassot, 1995).

Com o frenesi gerado por esse, que ficou conhecido como, Raio X, vários cientistas tentaram obter resultados similares a partir de outros materiais, culminando na formulação de uma nova teoria científica: a radioatividade. Essa teoria tem como grande expoente a cientista Marie Curie (1867-1934), responsável por cunhar o termo 'Radiação'. Marie iniciou sua pesquisa seguindo a proposição de Antoine Henri Becquerel (1852-1908), que atribuíu as observações de emissões de radiação ao fenômeno da fosforescência.

Becquerel em suas pesquisas tendo os sais de urânio como objeto central constatou que havia uma determinada emissão energética ionizante causada pelos sais ao sofrerem certa excitação.

Cobri uma... chapa fotográfica... com duas folhas de papel negro grosso, tão grosso que a chapa não ficou manchada ao ser exposta ao sol durante um dia inteiro. Coloquei sobre o papel uma camada de substância fosforescente (um sal de urânio) e expus tudo ao sol por várias horas. Quando revelei a chapa fotográfica, percebi a silhueta da substância fosforescente em negro sobre o negativo... A mesma experiência pode ser feita com uma lâmina de vidro fina, colocada entre a substância fosforescente e o papel, o que exclui a possibilidade de ação química resultante de vapores que poderiam emanar da substância quando aquecida pelos raios solares. Portanto podemos concluir destas experiências que a substância fosforescente em questão emite radiações que penetram no papel que é opaco à luz. (Becquerel, 1896 *apud* Segré (1987, p. 29:))

Porém, mais tarde, ele percebeu que o material não necessitava em si de um estímulo. Ao notar que materiais com urânio em sua composição emitiam radiações invisíveis espontaneamente, buscou fazer experimentações com o urânio metálico.

Nestas experimentações, constatou que o urânio metálico apresentava o mesmo comportamento observado nos outros compostos com urânio como constituinte. Contudo, afirmou que não se tratava, necessariamente, uma propriedade intrínseca do urânio, mas sim um fenômeno ligado a fosforescência. Os fenômenos da radiação invisível dos raios de urânio ganharam a alcunha de “raios de Becquerel”. Em suma, Becquerel atribuía o fenômeno à radiação ultravioleta:

Uma hipótese que surge muito naturalmente ao espírito seria a suposição de que essas radiações, cujos efeitos possuem uma forte analogia com os efeitos produzidos pelas radiações estudadas por Lenard e Roentgen, poderiam ser radiações invisíveis emitidas por fosforescência, cuja duração de persistência fosse infinitamente maior do que a das radiações luminosas emitidas por essas substâncias. No entanto, as experiências presentes, sem serem contrárias a essa hipótese, não permitem formulá-la. As experiências que estou desenvolvendo agora poderão, espero, contribuir com algum esclarecimento sobre esse novo tipo de fenômeno (Becquerel, 1896 *apud* Martins, 1990, p.35).

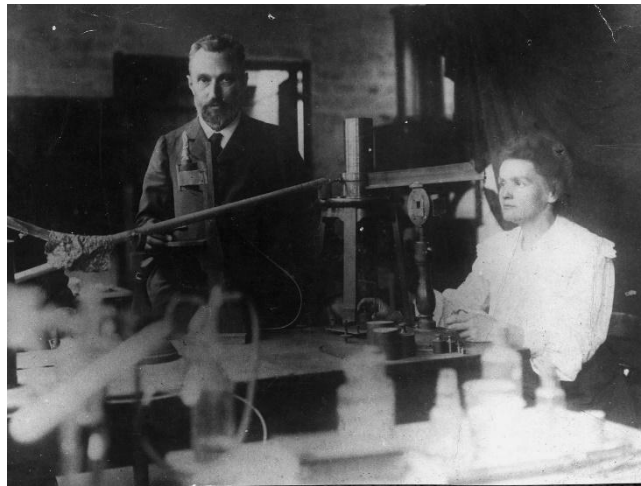
A atenção de Becquerel para suas previsões quanto a fosforescência acabara por ofuscar sua atenção para a fenomenologia da radiação do urânio. Suas conclusões movidas por suas experimentações causaram um alarde na comunidade científica da época devido a diferença de resultados frente a outros cientistas, junto de seu foco para a fosforescência de diferentes materiais e não o estudo aprofundado dos apelidados ‘raios de becquerel’.

Embora seja visto como um dos pioneiros da descoberta da radiação, Becquerel não teve um papel fundamental na compreensão dos fenômenos da radiação em si, visto que sua intenção, análises e hipóteses destoavam do que observava com a emissão de radiação natural oriunda dos compostos de urânio. Por poucos anos após suas afirmações e teorias, este campo de estudo ficou estagnado. Até que os compostos de urânio voltassem a ser estudados e experimentados com uma maior atenção quanto a seus fenômenos (Martins, 1990).

Posteriormente, Marie e Pierre Curie (Figura 3) utilizariam as pequenas observações de Becquerel quanto as emissões de urânio em suas experimentações. Dividindo com seu Marido, Pierre Curie (1859-1906), e Becquerel o prêmio Nobel de Física em 1903. Mais tarde, em 1911, Marie recebeu o prêmio Nobel de química, ao ter conseguido com êxito o isolamento de dois elementos, o Rádio e o Polônio.

Com os esforços e experimentações destes cientistas se dava então o pontapé inicial da Radioatividade como conhecemos e exploramos até hoje (Porto; Cleoman, 2001)

Figura 3: Pierre e Marie Curie no "hangar" da Escola de Física e Química Industrial em Paris, França.



Fonte: NOBEL PRIZE OUTREACH. *Marie Curie – Photo gallery*. 2025. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 14 fev. 2025.

Em meados de 1899, não muito tempo após as “descobertas” de Becquerel, Ernest Rutherford verificou em suas experimentações que as radiações emitidas pelos sais de urânio tinham diferentes propriedades de penetração (Cleoman; Porto, 2001). Essas radiações foram denominadas radiação alfa (α) e beta (β).

Em meados de 1900, ainda foi descoberta outra forma de radiação, desta vez pelo físico francês Paul Villard, esta espécie de radiação também vinha dos elementos originados do urânio, mas diferente das outras duas que se originavam de partículas através do espaço, esta nova forma da radiação, denominada gama (Γ) se manifestava no formato de onda eletromagnética (Xavier *et al.*, 2007).

Pode-se haver uma certa confusão quanto questões do tipo “Os raios X são semelhantes aos raios gama?”, de fato há uma determinada semelhança, contudo não necessariamente seriam a mesma coisa, ambos são formados por ondas eletromagnéticas, mas diferem dos raios gama por sua origem. Os raios X se originam da eletrosfera do átomo (Porto; Cleoman, 2001).

Alguns anos mais tarde, em meados de 1913, com a proposição de Rutherford quanto a existência do núcleo atômico, junto das constatações da radioatividade, verificou que as emissões alfa, beta e gama (α , β e γ), se deviam a um fenômeno recorrente aos processos do núcleo instáveis, fenômeno este que seria conhecido como decaimento radioativo.

O fenômeno ocorria de forma que átomos de elementos instáveis tenderiam a emitir essas radiações, α , β e γ , e eventualmente se transformariam em novos elementos (Xavier *et al.*, 2007).

Anos mais tarde, os físicos Frederick Soddy (1877-1956), Alexander Russell (1875-1955) e Kasimir Fajans (1887-1975), postulariam duas leis distintas para a explicação da emissão das partículas alfa e beta, essas leis evidenciavam como o núcleo atômico se comportava ao emitir estas partículas (Porto; Cleoman, 2001)

A radiação se mostra presente em nosso dia a dia, de maneiras muitas vezes imperceptíveis, como por exemplo, desde o forno de micro-ondas, usado corriqueiramente em inúmeras residências brasileiras, seguindo para proporções maiores como em Usinas Nucleares para extração de energia, como Angra dos Reis (RJ) (Porto; Cleoman, 2001).

Novas percepções, teorias e experimentações se sucederam para a complementação e estudo da radiação. Podemos explorar de forma conceitual, os processos nucleares fusão e fissão citados anteriormente. Graças as propriedades de dados elementos, como Urânio (U) e Rádio (Ra), de liberar energia em dadas formas de radiação para alcançar uma maior estabilidade eletrônica.

A exploração e estudo destes fenômenos foi possível replicar esses processos para diferentes objetivos. Em Usinas Nucleares, uma reação de fissão nuclear controlada, libera uma massiva quantidade de calor e energia, este calor é redirecionado, para que, através de processos termodinâmicos e de engenharia, passe a ser transformado em energia.

O processo de fissão se inicia quando um radioisótopo, um isótopo radioativo que tende a sofrer decaimento para se estabilizar, é bombardeado com um nêutron, gerando uma instabilidade nuclear ainda maior, na busca de um menor nível energético, este elemento "se divide" em núcleos menores, núcleos de isótopos de elementos distintos e mais leves, liberando energia e mais nêutrons no processo, gerando um ciclo repetitivo, denominado Reação em cadeia. (Halliday; Resnick; Walker, 2011).

Em contrapartida, a fusão nuclear, partindo da própria denominação, com o uso de uma grande quantidade de energia, é a fusão de dois núcleos para a formação de um núcleo maior com liberação de energia no fim da reação.

Temos o exemplo de nosso astro principal, a milhões de quilômetros da terra, o Sol. Essa estrela une imensas quantidades de núcleos de hidrogênio para a formação de núcleos de Hélio, liberando massivas quantidades de radiação ao longo do espaço, radiação essa que chega até a Terra propiciando reações químicas (Halliday; Resnick; Walker, 2011).

Tudo abordado aqui não passou de uma mera declaração simplista em resumo de pontos cruciais envolventes da temática radiação e sua descoberta e conhecimento básico. Da qual por inúmeros motivos, tanto para o entendimento e valor científico para pesquisadores, químicos, físicos e matemáticos, sua relevância precede sua idealização histórica.

APLICAÇÕES DA RADIAÇÃO

Como mencionado anteriormente, a radiação possui uma alta gama possibilidades em seu uso. Alguns casos dessas aplicações serão abordados a seguir para uma melhor ilustração da presença e relevância da radiação no ramo da agricultura, indústria e na medicina.

Irradiadores industriais: instalações que fazem um tratamento de esterilização biológica com alteração de determinadas propriedades físico-químicas (Okuno; Yoshimura, 2010). Radiadores industriais são dispositivos projetados para promover transferência de calor, suas aplicações mais comuns se dão em aquecedores, resfriadores, condensadores e secadores. Os irradiadores industriais, por outro lado, são dispositivos que funcionam através da emissão de energia ionizante, possuem ampla aplicação em setores como o alimentício, médico, farmacêutico e agrícola (Okuno; Yoshimura, 2010).

Radiação na agricultura: a radiação pode ser utilizada na agricultura atuando na melhoria de qualidade do alimento, e também como medida de proteção quanto a propagação de doenças (Okuno; Yoshimura, 2010). A radiação na agricultura representa um avanço benéfico na utilização da energia ionizante no setor agropecuário. A exposição controlada de sementes e alimentos à radiação permite a esterilização de diversos tipos de patógenos, contribui para a conservação dos produtos ao reduzir a deterioração causada por microrganismos, auxilia no controle de pragas e ainda possibilita a indução de mutações genéticas seletivas desejáveis em plantas (Okuno; Yoshimura, 2010).

Radiação na medicina: auxiliando em diversas medidas desde o descarte de lixo hospitalar destruindo bactérias e fungos e até mesmo na prevenção da contaminação de tecidos biológicos em enxertos, prevenindo a doença do enxerto contra hospedeiro (DEGH) (Okuno; Yoshimura, 2010).

Apesar do efeito colateral nocivo que envolve exposição não controlada da radioatividade com o corpo humano, e seus consequentes efeitos biológicos, existem uma boa quantidade de aplicações na medicina, atuando tanto na prevenção e detecção quanto no tratamento. Podemos destacar a importância da conhecida **radioterapia**, que partiria do uso da radiação na terapia de determinadas

enfermidades, tendo seu uso comumente mais associado a destruição de células cancerígenas para o tratamento de câncer (Okuno; Yoshimura, 2010).

A radioatividade e a própria radiação exibem propriedades que permitem seu uso em benefício para a humanidade em inúmeras situações distintas, tornando-se uma ferramenta com alta variabilidade. Porém, uma atenção maior deve ser dirigida a seu uso, visto que seu uso indevido ou como armas de destruição em massa podem oferecer um grande impacto na sociedade e no meio ambiente.

Apesar de acontecimentos passados que marcaram a história da radioatividade de forma negativa, o contínuo emprego da mesma em estudos e desenvolvimentos tecnológicos nos permitiram observar e catalogar melhor seus riscos, benefícios e contenção. Havendo o conhecimento dos acontecimentos passados, temos agora então a total necessidade e cautela em seu manuseio, versando seu uso a favor do meio ambiente e sociedade (Xavier *et al.*, 2007).

RADIOATIVIDADE: DESAFIOS E RELEVÂNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular BNCC (Brasil, 2018), o tema radioatividade se encontra incluso no conteúdo a ser abordado para o ensino médio. Mas afinal, por que discutir a temática da radioatividade teria importância?

A exploração do tema radiação se mostra necessária, visto as aplicações já existentes na sociedade, tanto na medicina nuclear, como a cintilografia e a radioterapia, quanto na química, em métodos analíticos de pesquisa, na preservação de alimentos e na indústria tendo inúmeras versatilidades possíveis para o desenvolvimento tecnológico (Xavier *et al.*, 2007).

Se tratando especificamente do tema radiação, temos uma certa representação ‘vilanesca’, criando uma dicotomia entre o que possa vir a envolver a radiação e a prosperidade. Muitas vezes, este tema é abordado com determinado receio e uma visão pré-existente de seu funcionamento e características, muitas vezes, em decorrência de divulgações que não carregam completamente o real ponto a favor da radioatividade (Lopes *et al.*, 2024).

Eventos marcantes envolvendo a radioatividade, como o desastre na usina nuclear de Chernobyl (1986), o acidente com o Césio-137 em Goiânia (1987), e episódios da Segunda Guerra Mundial, como o Projeto Manhattan e o lançamento das bombas atômicas sobre Hiroshima e Nagasaki em 1945, contribuíram para a construção de uma imagem negativa e temerosa da radioatividade na sociedade, apesar da sua clara contribuição para a sociedade (Xavier *et al.*, 2007)

A mídia por si só, possui um grande impacto na divulgação científica, tanto positivamente quanto negativamente. No caso de determinados conceitos científicos e suas possíveis ramificações, avisos, alertas e benefícios, a mídia exerce um grande impacto sobre suas informações fornecidas e como todo o conjunto da matéria é construído em torno daquele tema (Lopes *et al.*, 2024).

Ao nos depararmos com esta dualidade pertinente da radioatividade, devemos nos ater ao papel em que seu impacto informativo exerce, primariamente, antes de podermos afirmar uma conclusão certa. Podemos colocar que um grande intermediador responsável pela transmissão de informações científicas e tecnológicas ao público geral é o que podemos denominar de *Divulgação científica* (Bueno, 1985).

A disseminação errônea, equivocada, não aprofundada ou com cunho midiático construído de forma a malignizar os conceitos da radioatividade podem por acabar criando uma barreira para as possibilidades e eventuais benefícios existentes deste campo de estudo (Lopes *et al.*, 2024).

No estudo realizado tendo como objeto central a análise da difusão da radioatividade pela mídia e sua dualidade (Lopes *et al.*, 2024) os autores constatarem que a maior leva das matérias possuíam um tratamento equivocado e pernicioso quanto ao tema, gerando ao público uma visão não condizente com todas as probabilidades que poderiam tornar o tema relevante para a sociedade positivamente.

Temos, então a necessidade da abordagem da temática, não descartando seus eventuais malefícios ou superestimando seus benefícios, mas possibilitando uma melhor visualização do tema e sua relevância para o ambiente e sociedade.

FILMES DE FICÇÃO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Em seu trabalho *Dubeck et al. (1993, citado por Piassi, 2013, p. 153)* destacam:

[...] o uso de tais filmes podem ajudar os estudantes a aprender ciência de várias maneiras:

1. Os princípios científicos ilustrados ou violados em um filme serão melhor entendidos pelos estudantes do que se fossem apresentados apenas através das abordagens tradicionais. As fórmulas matemáticas e as descrições dos livros-texto frequentemente são confusas. É mais fácil, para os estudantes, entenderem princípios científicos abstratos quando eles são diretamente visualizados. Em suma, os filmes podem fazer o abstrato compreensível de uma forma atrativa.
2. Exibir um filme e discuti-lo aperfeiçoa o entendimento da ciência tanto como um processo racional quanto como um processo de descoberta. Isso auxilia os estudantes a aprenderem abordagens científicas de problemas e a identificar abordagens pseudocientíficas.
3. Os filmes, ao apresentarem a ciência em uma situação dramática e relacioná-la a questões socialmente significantes, tornam a ciência mais relevante aos estudantes.
4. Os filmes, muitas vezes, lidam com os temas científicos sob a perspectiva de muitas disciplinas. Consequentemente, o estudante não-cientista vivencia a ciência em um contexto interdisciplinar. Isso é valioso porque, no “mundo real”, as situações raramente são restritas a uma única disciplina (Dubeck et al., 1993, p. 47, apud Piassi, 2013, p. 153).)

O uso de filmes de ficção científica pode vir a se tornar um bom recurso didático, ainda mais visto a necessidade de uma maior interação e dinâmica exigida principalmente ao se tratar de disciplinas consideradas difíceis como a química, física e biologia.

Com a era da informação e a velocidade na propagação de diversos conteúdos e aplicativos, combater as dificuldades existentes no ensino de ciências, ainda mais ao se tratar no ensino de Química se mostra necessário, a busca por materiais alternativos para sua utilização como recurso didático no processo de ensino-aprendizagem se mostra extremamente fundamental (Santos; Aquino, 2011).

A utilização de filmes e outros recursos como séries, documentários, jogos e HQ's podem proporcionar uma melhor aprendizagem no ensino de ciências, trazendo novas possibilidades e dimensões a serem usadas em conjunto com esses os recursos visuais (Camelo *et al.*, 2024).

O uso dessas mídias a fim de trazer e proporcionar um maior dinamismo no ensino de ciências não se torna um fator isolado, sendo de fato uma temática relevante e com maior necessidade de investigação quanto sua aplicação e possíveis efeitos na

aprendizagem e no ensino. Nesse quesito, é possível encontrar diversos artigos que tratem sobre o uso de filmes para os mais diferentes tópicos do ensino de ciências.

Por exemplo, uma proposta de utilização didática do filme "Gattaca" foi realizada para discutir questões relacionadas ao conteúdo de genética e bioética em aulas de ciências, tendo como foco a abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Uma metodologia que visa promover uma compreensão crítica dos avanços científicos e suas implicações sociais, estimulando debates éticos e reflexões sobre o impacto da tecnologia na sociedade (Almeida *et al.*, 2018).

Em outro trabalho, foi analisado a possibilidade do uso de mídias como um recurso para abordar e contextualizar as mudanças climáticas, com ênfase na educação ambiental, o artigo discute como diferentes elementos de mídia podem ser úteis como materiais didáticos paralelos e ao mesmo tempo eficientes no ensino da educação ambiental principalmente no quesito das mudanças climáticas (Moreira; Bueno; Silva, 2022).

Os autores declaram como a busca por novos recursos deve ser incentivada, não apenas para o objetivo central do artigo, que seria a educação ambiental, como também para demais áreas do conhecimento científico, contribuindo positivamente no pensamento crítico e reflexivo no ambiente escolar e consequentemente, na sociedade (Moreira; Bueno; Silva, 2022).

Outro trabalho, seguindo a mesma temática ambiental, teve como objetivo investigar como as mídias audiovisuais poderiam contribuir para o ensino e aprendizagem em ciências quanto a temática do Aquecimento global. Os autores destacam como as mídias audiovisuais possuem um potencial relevante a fim de contribuir na alfabetização científica dos estudantes quanto a temáticas científicas, nesse caso o trabalho visa especificamente o aquecimento global (Sales; Pereira, 2022).

O filme Radioactive (2019) foi utilizado como recurso didático em aulas de química em um trabalho realizado para o 41º Encontro de Debates sobre o Ensino de Química (EDEQ), os autores afirmam terem obtido bons resultados. De acordo com Da Veiga e Uhmman (2022) o uso do filme contribuiu para uma melhor perspectiva e entendimento dos estudantes para a temática radioatividade.

Apesar do uso de filmes como recursos se tornar útil no contexto em sala de aula, contudo, torna-se comum, a princípio, que todo o potencial existente em uma obra fictícia seja levado em consideração apenas com base em sua precisão científica, fazendo com que filmes de ficção sejam descartados do ponto de vista didático (Piassi, 2009).

Os erros e equívocos científicos presentes nessas obras constituem um interesse particular ao integrar a ciência real e o irreal, combinando esses elementos para construir uma narrativa. Nesse caso, sejam os conhecimentos científicos corretos, errados ou equivocados, eles podem nos trazer informações a fim de auxiliar na compreensão conceitual real do ensino de ciências (Piassi, 2009).

Filmes de ficção, assim como demais recursos audiovisuais como séries, documentários, jogos e HQ's, podem vir a ser recursos viáveis no ensino de ciências mesmo quando apresentam conceitos errados, pois é possível extrair deles concepções e constatações que, por mais que sejam oriundas de um universo não real, podem se associar com concepções de fato reais para a ciência, unindo o conhecimento real com uma maneira criativa na modelagem do processo de ensino-aprendizagem.

METODOLOGIA

Este trabalho visa investigar conceitos relacionadas a temática da radioatividade em um filme de ficção científica a fim de propor uma forma de utilizá-los na sala de aula como um recurso para o ensino de Química. Foi selecionado o filme *Godzilla Minus One* (Quadro 1) por ter sido produzido pelo estúdio responsável pelo primeiro filme do *Godzilla* e ser de lançamento mais recente.

Quadro 1: Filme Selecionado para análise e sua respectiva sinopse

Filme	<i>GODZILLA MINUS ONE</i> . Direção de Takashi Yamazaki. Japão: Toho, 2023. 126 min. Filme.
Sinopse	Dois anos após o fim da Segunda Guerra Mundial (1939 - 1945), o Japão tenta se reerguer social e economicamente após a destruição causada pelas bombas nucleares lançadas pelos Estados Unidos. A situação de catástrofe aumenta ainda mais quando o exército avista um gigante lagarto radioativo que põe em risco as embarcações na orla japonesa. Agora, toda a força nacional se mobiliza para impedir que o monstro apelidado de "Godzilla" não chegue em Tóquio e arrase ainda mais o país já debilitado. Nessa missão, está Kōichi Shikishima (Kamiki), um ex-piloto kamikaze (combatentes japoneses que realizavam ataques suicidas) que coloca a defesa de seu país acima da própria vida em busca de redenção de sua honra.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A Figura 4 exibe o poster do filme *GODZILLA MINUS ONE*. Esse poster foi elaborado para sua reexibição em novembro de 2024 em comemoração aos 70 anos de sua existência.

Figura 4: Poster *GODZILLA MINUS ONE*



Fonte: <https://godzilla-movies.com/gallery/view/img/7791> Acesso em 18/04/2025

O filme será analisado com ênfase na temática da radioatividade e suas possíveis derivações. Para analisar o filme ele inicialmente será assistido de forma

completa a fim de localizarmos os trechos pertinentes a essa pesquisa. Com os trechos contendo palavras/frases/imagens que remetem a conceitos científicos inerentes a radioatividade/radiação selecionadas, ocorrerá a transcrição e análise dos trechos selecionados levando em consideração o contexto na qual cada trecho se encontra dentro do enredo do filme.

A análise se baseará nos seguintes tópicos: radioatividade; efeito Cherenkov; partículas; luminescência; efeitos da radioatividade no meio ambiente; efeitos biológicos da radiação e decaimento radioativo.

FILME SELECIONADO: GODZILLA ORIGEM E SIGNIFICADO

Ao fim da segunda guerra mundial em 1945, as cidades japonesas Hiroshima e Nagasaki foram bombardeadas com as bombas intituladas “little Boy” e “Fat Man” fazendo com que até o fim do ano de 1945, aproximadamente 145 mil pessoas morressem em Hiroshima e 75 mil em Nagasaki, um número que aumentou nos anos seguintes, assim como o nascimento de bebês com má formação devido a exposição residual da detonação de ambas as bombas (Xavier *et al.*, 2007).

Diante desse cenário catastrófico foi construído um monstro cinematográfico, o personagem *Gojira*, que mais tarde viria a ser conhecido como Godzilla. Seguindo a linha fictícia por trás da existência e nascimento do monstro, tudo ocorre devido os eventos ocorridos no fim da guerra, a ascensão e devastação dos bombardeios nucleares a situação econômica e política.

Gojira, combinação das palavras gorilla e kujira (“baleia”, em japonês), popularmente conhecido como **Godzilla**, possui muitos filmes, de diferentes estúdios e histórias, com seu primeiro filme em 1954 (Figura 5), dirigido pelo diretor Honda Ishida.

Figura 5: Poster do filme GODZILLA 1954



Fonte: <https://godzilla.com/blogs/movies>. Acesso em 18/04/2025

O Quadro 2 exhibe os filmes existentes dos diferentes universos do Godzilla feitos pelo estúdio TOHO, estúdio responsável pela criação e exibição do primeiro filme do Godzilla.

Quadro 2. Filmes do Godzilla do estúdio Toho.

Filmes	Ano de Lançamento
Godzilla	1954
Godzilla Raids Again	1955
King Kong vs Godzilla	1955
Mothra vs Godzilla	1964
Ghidorah, the Three- HHeaded Monster	1964
Invasion of Astro-Monster	1965
Ebirah, Horror of the Deep	1966
Son of Godzilla	1967
Destroy all Monsters	1968
All Monster Attack	1969
Godzilla vs Hedorah	1971
Godzilla vs Gigan	1972
Godzilla vs Megalon	1973
Godzilla vs Mechagodzilla	1974
Terror of Mechagodzilla	1975
The Return of Godzilla	1984
Godzilla vs Biollante	1989
Godzilla vs King Ghidorah	1991
Godzilla vs. Mothra	1992
Godzilla vs. Mechagodzilla II	1993
Godzilla vs. SpaceGodzilla	1993
Godzilla vs. Destoroyah	1995
Godzilla 2000: Millennium	1999
Godzilla vs. Megaguirus	2000
Godzilla, Mothra and King Ghidorah: GiantMonsters All-Out Attack	2001
Godzilla Against Mechagodzilla	2002
Godzilla: Tokyo SOS	2003
Godzilla Final Wars	2004
SHIN GODZILLA	2016
Godzilla Minus One	2023

Fonte: elaborado pelo autor

Apesar do Quadro 2 exibir uma grande leva existente dos filmes do Godzilla, os exemplares exibidos ainda se restringem aos filmes de autoria do estúdio TOHO, estúdio a qual originou a obra e o personagem fictício.

RESULTADOS E DISCURSSÃO

Conforme descrito na metodologia, inicialmente o filme Godzilla Minus One foi assistido integralmente a fim de localizarmos os trechos pertinentes a essa pesquisa. Ele tem 2 horas e 6 minutos de duração. Nelas foram localizados 8 trechos contendo palavras, frases ou imagens que remetiam a conceitos científicos inerentes a temática pesquisada. A descrição no caso de imagens e a transcrição no caso de palavras/frases podem ser visualizadas no Quadro 3.

Quadro 3: Relação dos trechos e dos conteúdos citados

Trechos	Tipo	Descrição
Trecho 1	imagem	Testes nucleares ocorridos durante uma operação nuclear, é possível perceber uma fera agonizando e se regenerando após a grande explosão.
Trecho 2	imagem+ diálogo	Exibição dos escombros e relato do exército americano após o encontro com uma criatura desconhecida que emite radiação . É exibido em tela a triangulação dos locais visitados e atacados, revelando o percurso gradual da criatura, enquanto ouvimos a fala: "Após interceptar um chamado da frota do Pacífico, o USS Redfish relatou uma perseguição contra uma criatura colossal nas águas do Pacífico. Após conseguir fotografar o alvo, o navio perdeu contato e foi destruído. Foram detectadas emissões radioativas nos destroços do navio e no local do trajeto da criatura."
Trecho 3	imagem	Após uma intensa perseguição marítima marcada por explosões e danos ao navio do protagonista, Godzilla é momentaneamente contido por um navio de guerra japonês. No entanto, ele ataca o novo alvo, escalando o navio de guerra e sofre o dano de poderosos bombardeios até cair no mar. Enquanto a tripulação observa, um brilho azul surge sob a água, seguido por um poderoso raio que atravessa e destrói o navio de guerra em uma explosão devastadora.
Trecho 4	Imagem + diálogo	Godzilla continua seu ataque à cidade de Ginza, causando destruição. A força militar japonesa tenta contê-lo com bombardeios de tanques, mas ele emerge ileso da nuvem de poeira, surpreendendo a população. As escamas de sua cauda começam a brilhar e vibrar, e, após uma massiva respiração, Godzilla dispara uma rajada de energia azul que destrói Tóquio e gera uma enorme explosão. O protagonista perde sua esposa nos destroços, enquanto ele grita em agonia. Após o ataque, o governo japonês isola as cidades devido à radiação residual, impedindo as operações de resgate. A

		devastação resulta em milhares de mortos e feridos, e o centro de Ginza é isolado para recolher fragmentos da criatura, que são potencialmente perigosos, a seguinte fala é dita após o ataque: "A devastação causada pela criatura inclui cerca de 30 mil mortos e feridos e mais de 20 mil casas e prédios destruídos. As operações de resgate estão em andamento, mas o caminho pelo qual a criatura passou traz risco de radiação e isso impede os trabalhos emergenciais. A polícia isolou o centro de Ginza para recolher fragmentos da criatura, que são de composição desconhecida e potencialmente perigosos".
Trecho 5	imagem	No início do último confronto contra Godzilla, os japoneses elaboram um plano para destruir a criatura, usando uma armadilha de gás e a pressão marítima. Godzilla começa a atacar as defesas, e um navio de guerra é usado como isca para atraí-lo. Ao ver o navio, Godzilla carrega as placas em suas costas, liberando um brilho azulado e um som característico . Ele então dispara um feixe energético que destrói o navio, gerando uma grande explosão semelhante à devastação causada nas cidades.
Trecho 6	imagem	O plano atinge seu clímax quando a armadilha para despressurizar Godzilla é ativada. Os navios de guerra cercam a criatura e aplicam o gás, mas Godzilla começa carregar seu raio energético, exibindo novamente sua coloração azulada em suas escamas dorsais. No entanto, ele não consegue liberar a energia a tempo devido a armadilha feita pelo exército japonês, e é forçado a afundar nas profundezas em alto mar, devido aos dispositivos acoplados em seu corpo liberando uma enorme quantidade de gás.
Trecho 7	imagem	O plano de pressurização causa danos a Godzilla, mas ele não morre e retorna enfurecido à superfície. Enquanto se regenera, prepara seu ataque energético para destruir a frota japonesa. Antes de disparar, o protagonista impede Godzilla jogando um avião com explosivos em sua boca, destruindo-o. Godzilla é fragmentado e libera feixes de energia azul enquanto seu corpo se despedaça no mar, garantindo a vitória para o protagonista e seus companheiros e a derrota da criatura.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Não foram encontradas transcrições, roteiros ou scripts dos trechos selecionados de forma autoral pelo Studio TOHO ou associados, logo, as falas

principais remetentes aos critérios estipulados, no caso radioatividade e seus derivados, serão evidenciadas conforme a descrição audiovisual dos trechos.

Descrição dos Trechos

Os trechos serão descritos condizentes com a forma audiovisual em que foram exibidas. A descrição geral ocorrerá seguida pela transcrição de falas atinentes aos critérios estipulados de relação com a radiação, assim como o contexto da trechos e seu impacto para o filme.

Trecho 1 00:27:18 - 00:27:32

O trecho 1 não apresenta diálogos entre personagens, sendo apenas visual. Nesta curto trechos temos apenas uma descrição na tela que diz “*Julho 1946 - Atol de Bikini, Operação Crossroads*”. O trecho mostra os testes nucleares realizados no Atol de Bikini, mostrando a detonação do que parece ser uma bomba nuclear, seguido por um rugido de uma criatura, que se mostra presente ou próxima ao local, a qual acaba sendo ferida pela explosão. Após a explosão teste, uma grande nuvem em formato de ‘cogumelo’ aparece em alto mar envolta por ondas de impacto, a Figura 6 mostra o *frame* deste momento.

Figura 6: Teste Nuclear Trecho 1



Fonte: GODZILLA MINUS ONE. Japão: Toho Studios, 2023.

Esse trecho se conecta com a temática da radioatividade ao abordar os testes nucleares e a detonação de uma bomba atômica em alto mar, ilustrando também a icônica nuvem em forma de cogumelo gerada pela explosão, que simboliza os efeitos devastadores e poderosos da radiação energética liberada pela fissão nuclear.

Trecho 2 00:31:49 - 00:32:47

O trecho 2 exibe um Microfilme secreto pertencente aos EUA (Estados Unidos da América), a qual uma voz em uma espécie de rádio relata o ataque e destruição de diferentes navios militares por um inimigo desconhecido durante uma série de filmagens e simulações, o inimigo identificado como uma criatura colossai que após os ataques, cobriu os destroços dos navios com **radiação residual**.

A Figura 7 apresenta dois frames do trecho, a qual exibem um soldado segurando um aparato (Figura 7a) usado para fazer a **leitura da radiação** presente no rastro da criatura, enquanto a outra mostra o visor do aparato indicando o valor mensurado (Figura 7b).

Figura 7: Soldado utilizando aparato para ler radiação residual



Fonte: GODZILLA MINUS ONE. Japão: Toho Studios, 2023

A voz narra em como a criatura segue destruindo todos os navios de guerra pela frente, seguindo uma trajetória rumo a costa japonesa, a qual as autoridades militares japonesas haviam sido alertadas sobre a aproximação da criatura, assim como informadas que os EUA não poderiam auxiliar na luta contra a criatura devido incursões soviéticas.

As seguintes falas do trecho foram separadas com base na menção de termos científicos selecionados previamente e transcritas abaixo:

"Após interceptar um chamado da frota do Pacífico, o USS Redfish relatou uma perseguição contra uma criatura colossai nas águas do Pacífico. Após conseguir fotografar o alvo, o navio perdeu contato e foi destruído. Foram detectadas **emissões radioativas** nos destroços do navio e do local do trajeto da criatura." (GODZILLA MINUS ONE, 2023).

O trecho apresenta um envolvimento direto com a temática da radioatividade ao falar sobre a **existência de radiação nos destroços dos navios**. Essa presença é também exibida na Figura 7b que mostra um leitor de radiação indicando a quantidade detectada. Portanto, esse trecho pode ser resumido em termos de uma radiação residual e a sua detecção/mensuração.

Trecho 3 00:43:00 - 00:44:38

Após uma perseguição marcada por explosões de minas aquáticas em alto mar e a quase destruição do navio da qual o protagonista era tripulante, Godzilla, prestes a destruir o barco, é impedido por um navio de guerra japonês que o faz recuar momentaneamente, Godzilla, porém, se dirige em direção ao navio de guerra, escalando o mesmo e recebendo bombardeios diretos, fazendo com que o mesmo caía em alto mar.

Enquanto todos olhavam incrédulos com a situação a qual estavam presentes, a água abaixo do navio de guerra começa a exibir um **brilho azul fluorescente** (Figura 8), fazendo com que um dos tripulantes junto do protagonista questione “*O que é isso??*”, repentinamente um **raio azulado** atravessa o navio de guerra, destruindo o mesmo instantaneamente e gerando uma poderosa explosão em volta.

Figura 8: Brilho Azul vindo debaixo do navio de Guerra japonês.



Fonte: GODZILLA MINUS ONE. Japão: Toho Studios, 2023

Este trecho apresenta um efeito característico, presente em todos os filmes do Godzilla. Esse efeito tem uma forte relação com a temática radioatividade que é o

brilho azulado, sendo esta cena a que exhibe mais apropriadamente o fenômeno é denominado 'efeito Cherenkov'.

Trecho 4 00:58:55 - 01:02:52

Nesta sequência, temos a continuação do ataque de Godzilla a cidade de Ginza, e a destruição e caos causado. Porém, para o socorro dos cidadãos desesperados, a força militar japonesa mobiliza tanques de guerra que iniciam um bombardeio conjunto em direção a criatura.

Gerando uma nuvem de poeira que faz o protagonista e todos os cidadãos olharem incrédulos, questionando se seria este o fim da criatura, a mesma que surge desta nuvem de poeira, e não aparenta possuir danos consideráveis, a qual deixa a população desacreditada, até que os receios de desespero se transformam em silêncio e atenção para o que está ocorrendo com Godzilla.

Enquanto alguns cidadãos correm outros observam o que acontece, as escamas da ponta de sua cauda começam a vibrar e a exibir um **brilho azul fluorescente**, assim como em seu mais recente encontro com o protagonista, essas escamas começam a saltar de suas posições originais, se levantando de forma crescente até alcançar as mais predominantes em suas costas.

Godzilla então expira uma quantidade massiva de ar, segurando em seu corpo até que todas as escamas repentinamente voltem as suas posições originais de uma vez só, enquanto Godzilla dispara uma **rajada energética azulada** (Figura 9), que destrói a cidade de Tóquio.

O ataque acaba gerando uma explosão massiva e uma onda de impacto que alcança o protagonista e sua esposa, fazendo com que ela seja levada pelos destroços, enquanto o protagonista grita em agonia e raiva contra Godzilla que se encontra rugindo para um céu repleto de fogo, fumaça e foligem, com uma chuva negra que cai enquanto seu rugido e o choro do protagonista, ressoam na tela.

Figura 9: Godzilla utiliza seu ataque e destrói a cidade de Tóquio.



Fonte: GODZILLA MINUS ONE. Japão: Toho Studios, 2023

Após o ataque, o governo japonês isola as cidades, pois a passagem catastrófica de Godzilla acabou por contaminar o local com **radiação residual**, que impede os trabalhos de resgate e socorro às vítimas do ataque.

A seguinte transcrição de falas foi feita do fim do trecho selecionado, com base nos critérios estipulados anteriormente:

"A devastação causada pela criatura inclui cerca de 30 mil mortos e feridos e mais de 20 mil casas e prédios destruídos. As operações de resgate estão em andamento, mas o **caminho pelo qual a criatura passou traz risco de radiação** e isso impede os trabalhos emergenciais. A polícia isolou o centro de Ginza para recolher fragmentos da criatura, que são de composição desconhecida e potencialmente perigosos" (GODZILLA MINUS ONE, 2023, 01:02:29 - 01:02:50)

No trecho 4 podemos observar a radioatividade aparecendo na forma de "radiação residual" em locais por onde a criatura teve contato. Ademais, o efeito Cherenkov está novamente presente.

Trecho 5 01:43:35 - 01:44:10

Aqui temos o início do último confronto dos japoneses contra o Godzilla, um plano de destruição da criatura é arquitetado, pensando em criar uma mudança de pressão significativa na criatura utilizando gás e a própria pressão marítima.

Godzilla começa a se movimentar e a atacar as linhas de defesa, nesse tempo, um navio de guerra é mobilizado como isca para atrair a atenção da criatura, Godzilla

instintivamente ao ver o navio começa a carregar as placas em suas costas, o trecho exhibe novamente o **teor azulado** em suas placas dorsais (Figura 10), seguido de um som característico de 'pulso'. Godzilla então dispara um feixe energético que destrói o navio de guerra sem esforço algum, gerando uma grande explosão, como em seu ataque anterior as cidades.

Figura 10: Godzilla carrega suas placas para atacar a resistência japonesa.



Fonte: GODZILLA MINUS ONE. Japão: Toho Studios, 2023

Neste trecho, é observado novamente o possível efeito Cherenkov, conforme já havia sido observado no trecho 3 e 4

Trecho 6 01:47:34 - 01:48:06

O plano alcança seu clímax, é chegada a hora de utilizar a armadilha e fazer com que Godzilla sofra a despressurização repentina. Os navios de guerra o cercam e colocam nele as armadilhas de gás. Godzilla reage carregando seu **raio energético**, fazendo com que suas escamas dorsais adquiram novamente uma coloração azulada vibrante, porém, é impedido através das armadilhas de gás acopladas em seu corpo (Figura 11).

Figura 11: Godzilla carrega seu ataque e é impedido



Fonte: GODZILLA MINUS ONE. Japão: Toho Studios, 2023

Ao não conseguir descarregar a energia a tempo, Godzilla acaba sendo jogado para as profundezas do mar através dos dispositivos de gás, antes de conseguir emitir seu disparo atômico.

A possibilidade de abordagem do efeito Cherenkov novamente presente, o mesmo que totalmente se interliga a temática da radioatividade e a questões energéticas.

Trecho 7 01:52:46 - 01:54:12

O plano de pressurização funciona, mas não como o esperado, Godzilla sofre inúmeros danos, mas não é morto pela despressurização. Retornando para a superfície do mar enfurecido.

Ao mesmo tempo em que se regenera das suas feridas, ele carrega novamente seu ataque energético, exibindo novamente a **coloração azulada** em suas placas (Figura 12).

Figura 12: Godzilla escapa da armadilha e prepara seu ataque



Fonte: GODZILLA MINUS ONE. Japão: Toho Studios, 2023

Este ataque seria o fim da frota japonesa a qual foi atribuída a tarefa de liquidar Godzilla. Momentos antes da liberação da **rajada energética**, Godzilla é impedido pelo protagonista, a qual joga um avião com explosivos em sua boca, destruindo Godzilla.

Godzilla, ao ser derrotado, tem seu corpo fragmentado e libera **energia azulada** na forma de feixes randômicos enquanto seu corpo se 'quebra' em alto mar. A vitória foi alcançada.

Este trecho exhibe novamente questão quanto **liberação de energia**, assim como novamente a possível presença do **efeito Cherenkov**.

O Quadro 4 agrupa os trechos e seus acontecimentos, relacionando com a temática radioquímica vista em cada trecho.

Quadro 4: A radioatividade nos diferentes trechos

Trechos	Termos/conceitos
Trecho 1	Explosão Nuclear
Trecho 2	Radiação residual
Trecho 3	Efeito cherenkov
Trecho 4	Radiação residual; Efeito cherenkov
Trecho 5	Efeito cherenkov
Trecho 6	Efeito Cherenkov
Trecho 7	Efeito cherenkov

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Conforme é possível visualizar no Quadro 4, temos a presença de três termos que se destacam no filme *Godzilla Minus One* quanto a temática de radioatividade/radiação. Sendo eles: Efeito Cherenkov (5 vezes); radiação residual (2 vezes) e testes nucleares (1 vez). Portanto, foi o efeito Cherenkov o predominante.

O **Efeito Cherenkov** foi observado primeiramente por Pierre e Marie Curie em 1900 através de suas experimentações com o rádio. Porém, apenas anos mais tarde foi notada e interpretada experimentalmente por Pavel Cherenkov (1904~1990), o qual foi laureado com o prêmio Nobel de física em 1958 e em sua homenagem o efeito carrega seu nome.

A radiação, ou efeito Cherenkov abrange cálculos que interligam desde campos elétricos, gradientes e energia radiada, mas com o foco na emissão de coloração azulada emitida, consequência da passagem de partículas com velocidade superior à da luz em um meio dielétrico (material isolante que não conduz corrente elétrica, mas pode ser polarizado na presença de um campo elétrico) (TAKEDA, 2018).

A abordagem desse conceito no Ensino Médio pode levantar discussões sobre a natureza e o fluxo da energia, visto que o efeito Cherenkov envolve a emissão de luz devido uma grande quantidade de partículas carregadas em alta velocidade em dado componente. Possibilitando uma investigação qualitativa sobre o fenômeno luminescente em diferentes materiais, suas causas e potenciais efeitos.

Estando ciente da real conceituação e levando em consideração as cenas referentes, pode-se evidenciar que a coloração azulada presente ao longo do filme não remete precisamente ao efeito Cherenkov, uma vez que sua ocorrência requer a presença de um meio dielétrico. Assim, as únicas situações das cenas analisadas em que poderia se considerar a presença desse fenômeno são as descritas nas cenas 5 e 6, nas quais a criatura emite o brilho intenso enquanto está submersa em alto mar. Nesse contexto, a água atuaria como um meio dielétrico adequado para a ocorrência do efeito.

Torna-se importante destacar que por mais que o efeito Cherenkov não seja necessariamente presente ao longo do filme, a possibilidade de investigação quanto um fenômeno complexo por meio da ficção existente no filme abre portas para diferentes interpretações no ensino de ciências através da ficção científica.

A **radiação residual** ocorre como consequência do tempo de meia vida dos elementos químicos, fenômeno chamado de decaimento radioativo (Xavier et al., 2007).

O tempo de meia vida é variável a depender do radioisótopo a qual está sofrendo com o decaimento, podendo se estender desde horas até séculos (Okuno; Yoshimura, 2016).

O decaimento de um núcleo instável libera radiação por meio da emissão de partículas alfa (α), beta (β) e radiação gama (γ), até que o núcleo atinja uma forma mais estável (Xavier et al., 2007). Como o fenômeno que originou estes núcleos instáveis cessou, temos agora apenas o que seria o resquício radioativo do evento no formato da radiação residual, que decai exponencialmente com o tempo (Okuno; Yoshimura, 2016)

Grandes eventos ao longo da história podem ser correlacionados com a radiação residual. O acidente nuclear de Chernobyl em 1986, um dos maiores e mais conhecidos acidentes nucleares já documentados. A radiação liberada pode ser identificada a milhares de quilômetros de distância, assim como uma grande quantidade permaneceu em volta da usina, e do reator que explodiu (Xavier et al., 2007).

Até hoje, a usina Chernobyl e a cidade, Pripyat, continuam sofrendo os efeitos do decaimento radioativo e das longas meias-vidas dos radioisótopos liberados durante o acidente na usina, permanecendo inabitadas e isoladas. (Xavier et al., 2007).

O decaimento nuclear e meia vida pode ser abordados no ensino médio tanto no contexto da radioatividade, como por meio das suas diferentes aplicações, como na medicina, nas usinas nucleares, na datação isotópica, e até sua presença em contextos históricos e ambientais, como por exemplo a relação com o ocorrido em Chernobyl.

A Explosão Nuclear é um poderoso dispositivo militar de destruição em massa, da qual sua reação catastrófica se origina de reações nucleares (Xavier et al., 2007).

No contexto do funcionamento da bomba nuclear, assim como no funcionamento de uma usina nuclear, o principal processo responsável é a fissão nuclear. Em suma, a fissão nuclear ocorre quando um radioisótopo, em um considerável nível de instabilidade, é bombardeado por um nêutron.

Ao ser atingido, sua instabilidade no núcleo aumenta significativamente, fazendo com que se ‘fragmente’ em núcleos menores, mais leves e menos energéticos, nesse processo é liberado uma grande quantidade de energia e mais nêutrons, que continuam bombardeando novas fissões, concretizando uma reação em cadeia (Halliday; Resnick; Walker, 2011).

A exploração das reações nucleares, assim como sua possível utilização e seus impactos para a sociedade, constitui uma temática extremamente necessária no ensino médio, especialmente no que diz respeito à conscientização e ao desenvolvimento do pensamento crítico sobre as ações científicas e seus efeitos ao longo do tempo.

Tanto o contexto da bomba nuclear, assim como as reações nucleares podem vir a ser trabalhadas em conformidade com a temática da radioatividade, demonstrando a estrutura científica principal do majestoso evento macroscópico em decorrência do microscópico.

Assim, cada trecho, dentro de seu contexto fictício, exibe uma possibilidade didática de trabalhar os conteúdos selecionados relacionados com a temática da radioatividade, sendo eles: Efeito Cherenkov; partículas e decaimento radioativo.

Os trechos poderiam ser utilizados como geradores de discussões em sala, servindo como ponto de partida para atividades investigativas quanto a temática e debates mediados que podem englobar uma interdisciplinariedade, articulando toda a possibilidade existente no ensino de ciências.

A utilização do filme pode favorecer o letramento científico ao estimular o questionamento sobre os limites que beiram entre a ficção e o conhecimento real, contribuindo para a compreensão e o pensamento crítico sobre a ciência e seu cotidiano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por novos métodos interativos para o ensino de ciências tornou-se praticamente uma exigência, visto as constantes inovações culturais e tecnológicas que permeiam a sociedade em que vivemos. A partir disso, o presente trabalho realizou uma análise qualitativa dos potenciais conceitos científicos existentes em uma obra de ficção científica, que, em maior ou menor conformidade com o conhecimento científico real, pudessem vir a se tornar um recurso didático relevante a contribuir o ensino de química, com ênfase na temática da radioatividade.

Ao longo da análise, foram localizados sete trechos no filme *Godzilla Minus One* (2023). Foi observando uma clara predominância de representações interligadas com a possível ocorrência do efeito Cherenkov, além de citações diretas quanto a radiação residual e às explosões/testes nucleares. Esses trechos permitem estabelecer conexões com conceitos como emissão de luz por partículas carregadas, as possíveis consequências da contaminação por radiação e fundamentos básicos quanto a fissão nuclear e a própria radioatividade.

Assim, a partir dessa análise, pode-se concluir que o filme apresenta um potencial didático qualitativo, especialmente no que diz respeito a alguns dos conteúdos previamente selecionados, predominantemente para o 'Efeito Cherenkov' e a 'Radiação residual'.

Mesmo sendo uma obra fictícia, a narrativa carrega elementos que podem, de fato, ser explorados em sala de aula, abrindo portas para diferentes abordagens pedagógicas que podem contribuir significativamente para o ensino de química e ciências.

Assim, a investigação qualitativa realizada neste trabalho, cumpriu seu propósito ao discorrer quanto a possibilidade de interação entre a ficção científica, o conhecimento científico e o aprendizado de conceitos relacionados à radioatividade no filme selecionado, *Godzilla Minus One* (2023).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Tâmara Gomes de et al. Uso do filme *Gattaca* para ensinar e discutir genética. **Genética na Escola**, v. 13, n. 2, p. 124-131, 2018.
- ATKINS, Peter; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. *Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente*. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- BIVENS, Bryce. *Godzilla: culture through the camera's lens*. 2019. 66 p. Monografia (Graduação) – University Honors College, Middle Tennessee State University, Murfreesboro, 2019.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 9 out. 2024.
- BUENO, W. C. *Jornalismo científico: conceito e funções*. **Ciência e Cultura**, v. 37, n. 9, p. 1420-1427, 1985.
- CAMELO, Emanuely Martins et al. *Utilizando a ficção para desvendar os segredos da realidade química*. 2024. 2024.
- CARUSO, F.; OGURI, V. A eterna busca do indivisível: do átomo filosófico aos quarks e léptons. **Química Nova**, v. 20, p. 324-334, 1997.
- CHASSOT, A. Raios X e radioatividade. **Química Nova na Escola**, n. 2, p. 20, nov. 1995.
- DA VEIGA, Fabiana; UHMANN, Rosangela Inês Matos. Uso do Filme Comercial "Radioactive" como Estratégia Pedagógica no Estágio em Aulas de Química. **Anais dos Encontros de Debates sobre o Ensino de Química**, n. 41, 2022. ISSN 2318-8316.
- DIAS, Lucas Menhê; SOARES, Valéria Pereira; DE LIMA TOLEDO, Evelyn Jeniffer. O modelo atômico de Thomson em livros de Química: desafios e perspectivas. 2024.
- GÓMEZ, J. M. R. et al. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, p. e3312, 2018.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Física**. Vol. 4. Tradução de Paulo César Barbosa. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1984.
- JUNIOR, Danilo Pinto Moreira; BUENO, Cecília; DA SILVA, Cleyton Martins. A utilização de mídias como recurso didático para a abordagem e contextualização das mudanças climáticas na Educação Ambiental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 17, n. 2, p. 169-183, 2022.
- LANA, L. T. C.; ALMEIDA, T. M. G. Usina nuclear: obtenção de energia e resíduos gerados. **Engenharias On-line**, v. 2, n. 1, p. 21-30, 2016.
- LEGENDARY. Disponível em: <https://www.legendary.com>. Acesso em: 11 out. 2024.

LOPES, B. E. R.; GOMES, B. M. Dos filósofos gregos à Bohr: uma revisão histórica sobre a evolução dos modelos atômicos. **Revista Ifes Ciência**, v. 4, n. 2, p. 122-139, 2018.

LOPES, Renylson B. et al. Radioatividade: entre o bem e o mal. **Química Nova na Escola**, v. 46, n. 1, p. 133-21, 2024.

LOVATO, Fabricio Luís; SEPEL, Lenira Maria Nunes. Cinema e ciência em sala de aula: uma proposta metodológica para o ensino de ciências utilizando filmes e “pausas dialogadas”. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista-ENCITEC**, v. 13, n. 1, p. 152-169, 2023.

MACHADO, C. A. Filmes de ficção científica como mediadores de conceitos relativos ao meio ambiente. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 14, p. 283-294, 2008.

MARCHESI, M. Q.; CUSTÓDIO, R. Evolução histórica dos modelos atômicos. **Revista Chemkeys**, v. 5, p. e023003-e023003, 2023.

MARTINS, R. A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 1998.

MARTINS, R. V. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 1990.

MAY, Leopold. Atomism before Dalton. In: **Atoms in chemistry: From Dalton's predecessors to complex atoms and beyond**. American Chemical Society, 2010. p. 21-33.

MELZER, E. E. M.; AIRES, J. A. A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 11, n. 22, p. 62-77, 2015.

NAGAOKA, Hantaro. LV. Kinetics of a system of particles illustrating the line and the band spectrum and the phenomena of radioactivity. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 7, n. 41, p. 445-455, 1904.

OKUNO, E. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. **Física das radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

PIASSI, L. P. A ficção científica e o estranhamento cognitivo no ensino de ciências: estudos críticos e propostas de sala de aula. **Ciência & Educação**, v. 19, n. 1, p. 151-168, 2013.

PIASSI, L. P.; PIETROCOLA, M. Ficção científica e ensino de ciências: para além do método de encontrar erros em filmes. **Educação e Pesquisa**, v. 35, n. 3, p. 525-540, 2009.

PORTO, C. Radioatividade: teoria e exercícios: resolução comentada. 1. ed. Brasília: Editora UnB, 2001.

RUTHERFORD, Ernest. LXXIX. The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 21, n. 125, p. 669-688, 1911.

SANTOS, P. N.; AQUINO, K. A. S. Utilização do Cinema na Sala de Aula: Aplicação da Química dos Perfumes no Ensino de Funções Orgânicas Oxigenadas e Bioquímica. **Química Nova na Escola**, n. 3, v. 33, 2011.

SEGRÈ, E. Dos raios X aos quarks: físicos modernos e suas descobertas. Brasília: Editora da UnB, 1987.

SILVA, Kaio Moab de Oliveira et al. Dos atomistas ao átomo moderno: um resgate histórico da evolução dos modelos atômicos. 2021.

TAKEDA, Carolina Sayuri. Radiação de Cherenkov. 2018.

THOMSON, Joseph John. XL. Cathode rays. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 44, n. 269, p. 293-316, 1897.

TM & © TOHO CO., LTD. Disponível em: <https://www.tohostudio.jp/en/>. Acesso em: 11 out. 2024.

VELÁSQUEZ-TORIBIO, A. M. O modelo atômico de Bohr e o início da mecânica quântica. **Cadernos de Astronomia**, v. 3, n. 1, p. 65-65, 2022.

XAVIER, A. M. et al. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, v. 30, p. 83-91, 2007.