




# O uso pedagógico do filme “Radioactive” no estudo da física moderna

W. F. S. Oliveira <sup>\*,1</sup> F. W. A. Sobreira <sup>\*,1</sup> and M. L. Miguez <sup>\*,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará 62505-090, Itapipoca, Ceará, Brasil

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará 68629-020, Paragominas, Pará, Brasil

\*Contato: willer.frank9@gmail.com; fwellysson@gmail.com; malumiguez@gmail.com

(Recebido: 17/05/2023; Aceito: 10/08/2023; Publicado: 29/09/2023)

## Resumo

Neste trabalho, pretendemos investigar os diversos conceitos apresentados no filme “Radioactive” de 2019, lançado em plataformas de streaming. No filme é apresentado o contexto histórico vivido pela famosa cientista polonesa Marie Curie, a primeira mulher a receber prêmios Nobel de Física e de Química e se tornar professora na Universidade de Paris. Dentre os diversos conceitos presentes no filme são apresentados o decaimento radioativo da matéria, que contribui para o entendimento da estrutura atômica, a relação do uso de radiação em processos terapêuticos, o uso de raio-X em campos de batalha etc. A investigação desses conceitos foi realizada através de uma abordagem qualitativa utilizando-se de revisão bibliográfica e teve como resultado a produção de material que poderá ser utilizado em sala de aula por professores e estudantes para tratar de Física e Química moderna, permitindo ainda a integração destes conceitos com o nosso cotidiano, possibilitando sua utilização como ponto de partida para discussões interdisciplinares.

**Palavras-Chave:** Divulgação científica; Alfabetização científica; Física moderna.

## Abstract

In this work, we intend to investigate the various concepts presented in the 2019 film “Radioactive”, released on streaming platforms. The film presents the historical context experienced by the famous Polish scientist Marie Curie, the first woman to receive Nobel Prizes in Physics and Chemistry and to become a professor at the University of Paris. Among the various concepts present in the film, radioactive decay of matter is presented, which contributes to the understanding of atomic structure, the relationship between the use of radiation in therapeutic processes, the use of X-rays in battlefields, etc. The investigation of these concepts was carried out through a qualitative approach using a bibliographic review and resulted in the production of material that can be used in the classroom by teachers and students to deal with modern Physics and Chemistry, allowing the integration of these concepts with our daily lives, enabling their use as a starting point for interdisciplinary discussions.

**Keywords:** Scientific divulgation; Scientific literacy; Modern physics.

## 1. Introdução

O filme “Radioactive” é uma biografia da cientista Marie Curie, lançado em 2019 e disponível na plataforma de streaming Netflix. Marie Skłodowska-Curie foi a primeira mulher a ganhar um prêmio Nobel e a única a ganhar em dois campos diferentes: Física (1903) e Química (1911). O filme apresenta

o trabalho árduo e metódico de Marie Curie, culminando com a descoberta de dois novos elementos: polônio e rádio. Neste trabalho, analisamos os diálogos do filme que poderiam ser aplicados em sala de aula como elemento motivador das aulas de Física moderna, e através de discussões sobre os temas introduzimos os conceitos de Física Nuclear. Foi elaborado um quadro de fluxo dos momentos do filme em que há diálogos sobre temas relacionados à radioatividade (Figura 1). Os retângulos destacados em vermelho no quadro referem-se aos instantes do filme em que as discussões foram utilizadas como base para a elaboração dos planos de aula, e foram baseados nas ideias de José Moran sobre a aplicação de vídeos em sala de aula [1].



**Figura 1.** Fluxo das etapas do filme que podem ser exploradas em sala de aula. Os quadrados em vermelho foram utilizados neste trabalho como elemento motivador para os planos de aula.

## 2. Fundamentação

José Moran propôs diversas formas de utilizar vídeos em sala de aula, como vídeos simples, vídeos como sensibilização, ilustração, simulação, conteúdo de ensino, produção, avaliação e vídeos como integração/suporte. Essas formas de utilização de vídeos permitem que os professores possam explorar de forma mais dinâmica e interativa o conteúdo que estão ensinando [1].

Um exemplo de vídeo que pode ser utilizado como ilustração, simulação e conteúdo de ensino é o filme “Radioactive”. Esse filme, além de ser divertido e envolvente, pode ser usado para mostrar de forma indireta ou direta o tema da radioatividade, que é um assunto muito importante e presente em várias disciplinas, como química e física.

O conteúdo de radioatividade é encontrado nos livros de química do ensino médio, mas é mais sucinto em física, devido à necessidade de conhecimentos de cálculo. Por isso, é importante que os estudantes de licenciatura em física estudem a teoria nuclear, conhecendo sua história e importância para entender o átomo [2]. Dessa forma, os estudantes de licenciatura poderão ter uma compreensão mais completa e aprofundada do assunto, o que será fundamental para sua formação como professores e para o ensino da física [3].

### 3. Metodologia

Foram analisadas todas as cenas do filme “Radioactive” e evidenciadas aquelas em que haviam discussões sobre temas ligados a física moderna, observando e indicando se os diálogos estavam fundamentados na teoria usando referências bibliográficas que tratam dos temas discutidos no filme, também foram feitas análises de como a ciência discutida nos diálogos do filme podem ser utilizadas para introduzir os temas de decaimento radioativo e outras propriedades dos átomos em sala de aula através da elaboração de planos de aula que tiveram como motivador algumas dessas discussões.

Foram listados os momentos do filme em que há discussões sobre temas científicos e em seguida as discussões com referências que corroboram ou não com os diálogos de cada sequência.

#### 3.1 Lista das Sequências de Diálogos sobre Ciência

Utilizar recortes de cenas do filme em sala de aula pode ser uma forma eficaz de discutir tópicos específicos relacionados à ciência e à história. Por exemplo, as cenas que mostram Marie Curie trabalhando em seus experimentos com rádio e polônio podem ser usadas para discutir a descoberta e propriedades da radiação, enquanto as cenas que mostram a luta de Marie Curie para ser aceita como uma cientista em uma época dominada por homens podem ser usadas para discutir a desigualdade de gênero na ciência. Além disso, o filme mostra também o impacto social e ambiental da radiação, o que pode ser discutido em sala de aula. Isso inclui as implicações médicas da radiação, bem como as questões éticas e políticas relacionadas ao seu uso. Esses tópicos podem ser discutidos em sala de aula e levados a reflexões sobre os avanços tecnológicos e suas consequências. Isso pode ajudar os estudantes a desenvolver uma compreensão mais completa e crítica dos assuntos científicos e também estimular uma maior consciência dos impactos das tecnologias no mundo e na sociedade.

- I. No minuto 16, Pierre empolgado pela pesquisa de Marie traz ao laboratório um novo equipamento mais preciso para facilitar o trabalho de Marie, Pierre construiu um eletrômetro de quadrantes que era capaz de medir as menores cargas elétricas, com isso Pierre finalmente consegue a parceria que queria com Marie.

De acordo com Martins, Marie Curie expõe em notas como eram feitas as medições usando o eletrômetro [4]. “Para medir as correntes [elétricas] muito fracas que podem atravessar o ar ionizado pelos raios do urânio eu tinha à minha disposição um método excelente desenvolvido e aplicado por Pierre e Jacques Curie. Este método consiste em contrabalançar em um eletrômetro sensível a quantidade de eletricidade transportada pela corrente com aquela que pode ser fornecida por um quartzo piezoelétrico. Portanto a instalação necessária era um eletrômetro de Curie, um quartzo piezoelétrico, e uma câmara de ionização, esta última sendo formada por um condensador plano cuja placa superior era conectada ao eletrômetro, enquanto a placa inferior, carregada a um potencial conhecido, era coberta por uma fina camada da substância a ser examinada. É desnecessário dizer que o melhor lugar para tal instalação eletrométrica não era a pequena sala úmida e entulhada em que eu tive que montá-la” (CURIE, Pierre Curie, p. 95-6).

- II. No minuto 18 Pierre e Curie estão em um jantar com outros amigos quando eles explicam no que estão trabalhando, que consiste basicamente em separar o urânio da pechblenda, eles explicam como o trabalho de separação é árduo, que começa com a pechblenda sendo esmagada depois fervem e adicionam soluções ácidas e alcalinas, o que sobra são resíduos puros do elemento.

A pechblenda é um minério que o casal Curie utilizou em seus estudos e conseguiram isolar os elementos rádio e polônio. Marie e seu assistente André Debierne trabalha-

ram no processo de separação que depois de três anos refinando várias toneladas de pechblenda conseguiram isolar 0,1 grama de rádio [5].

- III. Em 29 minutos o casal Curie fala para uma plateia de cientistas sobre a descoberta dos dois novos elementos radioativos, rádio e polônio.

Marie e Pierre Curie descobriram os elementos rádio e polônio em 1898. “O rádio emite raios  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  e quando misturado com berílio produz nêutrons. A inalação, injeção ou exposição do corpo ao rádio pode causar câncer e outros distúrbios corporais. Metal alcalino-terroso, branco, mas fica preto quando exposto ao ar, luminesce, se decompõe na água, emite gás radônio radioativo, desintegra-se radioativamente até atingir chumbo estável, risco radiológico, emissor  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , exposição ao rádio pode causar câncer e outros distúrbios do corpo. O rádio é mais de um milhão de vezes mais radioativo do que a mesma massa de urânio. O polônio tem mais isótopos do que qualquer outro elemento, todos radioativos. O polônio dissolve-se facilmente em ácidos diluídos, mas é apenas ligeiramente solúvel em álcalis. Peso por peso é cerca de  $2,5 \cdot 10^{11}$  vezes mais tóxico que o ácido cianídrico (HCN). O polônio foi encontrado no tabaco como contaminante e em minérios de urânio” [6].

- IV. No minuto 34, Pierre Curie mostra para Marie alguns produtos feitos com elementos radioativos, como pastas de dente e cigarros.

Além de relógios, diversos outros produtos acrescidos de material radioativo foram produzidos e vendidos sob diferentes justificativas. Seu descobrimento trouxe uma imagem de elemento do futuro, capaz de prevenir e curar diferentes tipos de doenças. Um tônico revigorante chamado de Radithor, por exemplo, era prescrito para mais de 150 enfermidades, tendo sido recordista de vendas em meados da década de 1920. Foi desenvolvido, também, um supositório radioativo que, aplicado diariamente por quinze dias, era capaz de curar a impotência sexual dos homens. Lima, Pimentel e Afonso (2011) apresentam diferentes produtos vendidos durante os períodos de pesquisa sobre esses elementos radioativos. Desde águas radioativas, “essenciais para a saúde” à cosméticos que traziam maior beleza para as mulheres e, caso o resultado não fosse satisfatório, a empresa oferecia uma recompensa de cinco mil dólares [7].

- V. No minuto 36 há um salto temporal para 1957 em Cleveland para mostrar a cena de uma criança que vai ser tratada experimentalmente para câncer usando um acelerador linear.

A radioterapia é um tratamento no qual se utilizam radiações ionizantes (raios-X, por exemplo), que são um tipo de energia para destruir as células do tumor ou impedir que elas se multipliquem. Essas radiações não são vistas durante a aplicação e o paciente não sente nada durante a aplicação. O acelerador linear utiliza raios-X de alta energia aplicados sobre o tumor a fim de destruir células cancerígenas e, com sua tecnologia, preserva o máximo de tecidos saudáveis ao redor. O equipamento é o mais usado para tratamentos de radiação de feixe externo para limitar os efeitos colaterais [8].

- VI. No minuto 45, enquanto Pierre discursava em Estocolmo na cerimônia de entrega do prêmio Nobel, o filme mostra a cena de 1945 do avião lançando uma bomba de fissão de urânio no Japão.

A bomba chamada de “Little Boy” foi jogada no dia 6 de agosto de 1945 em Hiroshima no Japão. A explosão devastou a cidade e matou entre 90 mil e 166 mil pessoas

(EMICO, 2015). O material nuclear com o qual se podem fazer bombas atômicas é o urânio; este é o elemento mais pesado que se encontra na natureza; todos os elementos mais pesados que ele, são chamados transurânicos e são instáveis, não existindo na natureza, só podendo ser produzidos artificialmente. Feixes de nêutrons são excelentes desintegradores de átomos de urânio. Na desintegração do urânio a reação é:  $n + {}^{235}\text{U}_{92} \rightarrow {}^{91}\text{Kr}_{36} + {}^{142}\text{Ba}_{56} + 3n + \text{energia}$ . Surgiu daí uma ideia revolucionária, que é a seguinte: se o 1° nêutron produz 3 outros e se cada um deles produz outros 3, teremos uma reação em cadeia em que leva a liberação de grandes quantidades de energia, se um núcleo de urânio se desintegrar em dois fragmentos (o bário e o criptônio, por exemplo), uma grande quantidade de energia pode ser liberada. Se, entretanto, todos os núcleos de 1 kg de urânio se desintegrassem, a energia liberada seria mais de um milhão de vezes maior do que a energia liberada na queima de 1 kg de petróleo ou carvão. Leo Szilard teve, na década de 1930, a ideia de tentar realizar na prática uma reação em cadeia, e isto de fato foi conseguido por Enrico Fermi pela primeira vez, em 1942. A bomba jogada em Hiroshima bastou “queimar” 4 ou 5 kg de urânio (dos 20 kg que a bomba possuía) para obter um efeito explosivo equivalente à explosão de 20.000 toneladas de TNT [9].

- VII. No minuto 60 Marie (que assumiu o cargo de professora no lugar do seu marido Pierre após sua morte) começa a falar da radioatividade em uma aula na universidade, ela começa falando que o rádio é um elemento que não se comporta como deveria (já que o mesmo é instável) e logo o filme nos mostra uma cena em Nevada em 1961 onde haverá o teste de uma bomba atômica.

A estabilidade nuclear relaciona-se com a capacidade do núcleo manter a sua estrutura natural por longo tempo, ou resistindo a algum estímulo externo que induza sua transmutação. Ao contrário, núcleos radioativos são instáveis, decaem espontaneamente emitindo algum tipo de radiação que os transformam em outros núcleos mais estáveis. Núcleos estáveis têm meias-vidas muito longas (várias dezenas de bilhões de anos), já os radioativos podem ter meias-vidas de frações de segundos, embora alguns deles decaiam lentamente com meias vidas de até milhões ou bilhões de anos [10].

- VIII. No minuto 68 Marie volta a explicar a radioatividade em uma sala de aula lotada, onde fala que o arranjo das partículas no núcleo dos átomos radioativos é que os tornam instáveis.

Um efeito importante na ligação nuclear é o da assimetria entre os números de prótons e nêutrons. Conforme os elementos ficam mais pesados, aumenta o número de prótons e, conseqüentemente, a repulsão coulombiana entre eles também aumenta. Para contrabalançar este efeito e estabilizar o núcleo, o número de nêutrons cresce mais rápido do que o de prótons, já que os nêutrons não têm carga elétrica e a força nuclear é atrativa. Os nuclídeos estáveis até aproximadamente a região do cálcio ( $Z = 20$ ) têm números de prótons e nêutrons aproximadamente iguais, as variações em torno de  $Z = N$  são pequenas, mas à medida que os elementos ficam mais pesados, há grande desvio em favor do excesso de nêutrons [10].

- IX. No minuto 76, enquanto Marie chorava por querer seu falecido marido com ela o filme nos mostra uma cena em 1986 do acidente nuclear de Chernobyl.

Uma série de falhas humanas ocasionaram o acidente na usina nuclear de Chernobyl. No dia 26 de abril de 1986 as bombas alimentadas pelo gerador foram ligadas e o fluxo de água foi maior do que o regulamento de segurança permitia, a instabilidade não

refletia nos painéis de controle do reator, então os operadores não tinham noção do perigo. O teste começou e a energia para as bombas de água foi cortada, o fluxo de água diminuiu e a turbina foi desconectada, aumentando o nível de vapor em seu núcleo, logo a potência do mesmo aumentou muito. As fissões aumentaram, a temperatura do núcleo do reator se elevou e com isso ocorreu a deformidade do mesmo. O chefe da equipe, Anatoly Kurguza, ordenou então o encaixe das barras de controle, as quais, apesar de serem constituídas de boro, possuíam grafite na ponta e ao penetrarem no núcleo, a potência subiu de 7% para 50% em apenas 3 segundos. As barras começaram a derreter e a pressão do vapor a subir, o que gerou uma explosão de vapor, que destruiu a cobertura do reator e abriu um buraco no teto da usina. O oxigênio do ambiente entrou no reator e interagiu com os elementos nele presentes, intensificando o incêndio, que durou 10 dias e ajudou a espalhar o material radioativo (ao todo 500 toneladas de combustível, 700 toneladas de grafite e gases radioativos), contaminando assim as áreas vizinhas [11].

- X. No minuto 80 Marie recebe uma carta falando que ela receberia outro prêmio Nobel, dessa vez de química, pela descoberta dos elementos rádio e polônio.

Pierre e Marie Curie dividiram com Henri Becquerel o Prêmio Nobel de Física de 1903. Marie, que não se apresentou formalmente em 1905 (Apenas Pierre Curie), teve a oportunidade de falar de suas pesquisas ao ser laureada, pela segunda vez, com um Prêmio Nobel, desta vez em Química. De acordo com Pasachoff (1996), o Prêmio de Física de 1903 não mencionou as descobertas do polônio e do rádio, porque membros do comitê de Química defendiam a possibilidade de os Curie futuramente ganharem o prêmio da área. E assim aconteceu, quando Marie recebeu esse prêmio em 1911, o prêmio não menciona o nome de Pierre, morto em 1906, pois, como consta no estatuto, não se institui prêmios póstumos [12].

- XI. No minuto 88, Irene apresenta seu namorado Frédéric Joliot para a sua mãe que o interroga e pergunta se o mesmo tem doutorado e sobre o que ele está estudando com Irene, ele fala que está trabalhando com átomos estáveis, mas que quando bombardeados com radiação alfa podem se tornar radioativos também, em um processo de radioatividade artificial.

A radioatividade artificial ocorre quando o núcleo de algum átomo é bombardeado por exemplo por nêutrons que o desestabilizam e induzem a fissão nuclear, Rutherford foi a primeira pessoa a perceber que poderia induzir a radioatividade ao bombardear átomos de nitrogênio com partículas alfa e obtendo oxigênio como resultado. Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie continuaram o estudo de Rutherford bombardeando outros átomos como o boro e alumínio com radiação alfa e observando que ao fim dos experimentos esses elementos se tornaram radioativos [13].

- XII. No minuto 96 Marie e sua filha Irene usam um aparelho de raio-X móvel que usaram campos de batalha durante a primeira guerra mundial, ajudando a salvar a vida de milhares de soldados.

Curie não só serviu como enfermeira, mas também criou uma estratégia móvel para realizar exames de raios-X, organizou uma iniciativa de educação em saúde para formar técnicos e técnicas, especialmente mulheres, durante os anos de guerra e marcou, mais uma vez, seu nome na história como uma notável nas ciências. Os raios-X revelam lesões dos ossos e dos órgãos internos, e permitem o acompanhamento da recuperação de lesões internas. O uso dos raios-X durante a guerra, salvou a vida

de muitos homens feridos; também salvou muitos de sofrer com uma enfermidade de longa duração. A todos os feridos deu uma chance maior de recuperação [14].

#### 4. Resultados e Discussão

Foram elaborados três planos de aula baseados nas falas ditas em três ocasiões do filme. Os planos foram pensados para aulas expositivas após os estudantes assistirem o filme que servirá como motivador para introduzir e contextualizar o assunto de radioatividade para as aulas de física moderna [15].

O primeiro plano de aula, quadro da Tabela 1, foi elaborado a partir das discussões sobre a descoberta dos dois novos elementos radioativos pelo casal Curie, uma dessas falas ocorre no minuto 29 do filme, quando os Curie anunciam em um auditório com outros cientistas a descoberta dos elementos rádio e polônio. A aula utiliza essa cena como motivador para abordar o tema dos elementos radioativos, suas propriedades do núcleo e os tipos de decaimento radioativo. É esperado que os estudantes compreendam a importância da descoberta feita por Marie Curie e aprendam sobre os tipos de radiação produzidos em seus experimentos. Para complementar o conteúdo, será utilizado o capítulo 42 do livro “Fundamentos da Física” de Halliday e Resnick, que aborda a história da radioatividade e responde questões básicas sobre o tema, como o que é a radioatividade, como ela age e quais os tipos de radiação.

**Tabela 1.** Plano de aula sobre a radioatividade, usando o diálogo do minuto 29 do filme Radioactive como recurso motivador.

Plano de Aula I – Física Moderna - Radioatividade		Carga horária: 2 h/aula
Conteúdo:	Física nuclear. A Descoberta do Núcleo e algumas Propriedades dos Núcleos. Decaimento Radioativo, decaimento $\alpha$ e decaimento $\beta$ .	
Objetivo geral:	Explicar o que é a radioatividade e os tipos de radiação usando o minuto 29 do filme “Radioactive” como motivador inicial.	
Objetivos específicos:	Mostrar como com um experimento de espalhamento, é possível detectar as radiações $\alpha$ , $\beta$ e $\gamma$ . Trabalhar com massas em unidades de massa atômica, conhecer a relação entre o número de massa e a massa aproximada de um núcleo.	
Metodologia:	Apresentar o filme “Radioactive” que servirá como introdução para os conteúdos de radioatividade, após o filme será discutido com os estudantes com os diálogos sobre as propriedades dos átomos coerentes com a física.	
Avaliação:	Perguntas durante a aula sobre a física do filme “Radioactive” e se alguma fala do filme se desvia dos conteúdos estudados em sala.	
Bibliografia:	Halliday & Resnick. et al. Fundamentos de física: óptica e física moderna. 9ª Edição. LTC, 2012.	

O segundo plano de aula, quadro da Tabela 2, tem como motivador a cena do minuto 36 do filme, em que é mostrada uma criança em um futuro próximo ao período em que a história de Marie se passa, que está se tratando de um câncer usando radioterapia. Essa cena destaca uma das muitas aplicações positivas da radiação que surgiram desde então, contrastando com outras cenas que mostram os efeitos nocivos da radiação no corpo humano, como as queimaduras de radiação que Pierre adquiriu ou a anemia de Marie. Neste plano de aula, é esperado que os estudantes aprendam sobre a lei de decaimento radioativo, entendam as medidas de dose de radiação e relacionem

**Tabela 2.** Plano de aula sobre a radioatividade, usando o diálogo do minuto 60 do filme Radioactive como recurso motivador

Plano de Aula II – Física Moderna - Radioatividade		Carga horária: 2 h/aula
Conteúdo:	Física nuclear. Datação radioativa e medidas da dose de radiação. Modelos do Núcleo.	
Objetivo geral:	Explicar a lei de decaimento radioativo tendo como pontapé inicial a cena do minuto 36 do filme “Radioactive”.	
Objetivos específicos:	Saber o que é a constante de desintegração (ou constante de decaimento) $\lambda$ . Saber o que é dose absorvida, dose equivalente e quais são as unidades correspondentes. Saber qual é a diferença entre o modelo coletivo, o modelo das partículas independentes e o modelo misto.	
Metodologia:	Apresentar o filme “Radioactive” que servirá como introdução para os conteúdos de radioatividade, após o filme será discutido com os estudantes se os diálogos sobre as propriedades dos átomos são coerentes com a física discutida em sala.	
Avaliação:	Perguntas durante a aula sobre a física do filme “Radioactive” e se alguma fala do filme se desvia dos conteúdos estudados em sala.	
Bibliografia:	Halliday & Resnick. et al. Fundamentos de física: óptica e física moderna. 9ª Edição. LTC, 2012.	

**Tabela 3.** Plano de aula sobre a radioatividade, usando o diálogo do minuto 88 do filme “Radioactive” como recurso motivador.

Plano de Aula III – Física Moderna - Radioatividade		Carga horária: 2 h/aula
Conteúdo:	Energia nuclear. Fissão nuclear e o reator nuclear. Fusão Termonuclear: o processo básico. A Fusão Termonuclear no Sol e em outras estrelas	
Objetivo geral:	Explicar o processo de fissão e de fusão tendo como ponto de partida os diálogos do filme “Radioactive” no minuto 88.	
Objetivos específicos:	Descrever o processo de fissão de um núcleo de $^{235}\text{U}$ por um nêutron térmico. Saber o que é uma reação em cadeia. Saber o que são os regimes crítico, supercrítico e subcrítico. Saber o que é o ciclo próton-próton que acontece no Sol. Explicar o que vai acontecer depois que o Sol consumir todo o hidrogênio.	
Metodologia:	Apresentar o filme “Radioactive” que servirá como introdução para os conteúdos de radioatividade, após o filme será discutido com os estudantes se os diálogos sobre as propriedades dos átomos são coerentes com a física apresentada em sala.	
Avaliação:	Perguntas durante a aula sobre a física do filme “Radioactive” e se alguma fala do filme se desvia dos conteúdos estudados em sala de aula.	
Bibliografia:	Halliday & Resnick. et al. Fundamentos de física: óptica e física moderna. 9ª Edição. LTC, 2012.	

criticamente com as cenas em que o casal Curie manipula o rádio sem proteção. Além disso, os estudantes devem conhecer os modelos atômicos. Para complementar o conteúdo, será utilizado o capítulo 42 do livro “Fundamentos da Física” de Halliday e Resnick, que apresenta como medir doses de radiação, usando o sievert (Sv) no SI, e como calcular o tempo de meia-vida dos elementos radioativos, além de alguns modelos dos núcleos atômicos.

O terceiro plano de aula, quadro da Tabela 3, foi inspirado nas falas de Irène Curie (filha de Marie e Pierre) com seu futuro marido, Frédéric Joliot, no minuto 88 do filme. Nessa cena, Irène e Frédéric mencionam estarem estudando a radioatividade induzida artificialmente em alguns elementos, esses estudos mais tarde renderam mais um prêmio Nobel para a família Curie, desta vez para Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie. A radioatividade artificial é de extrema importância para o estudo das propriedades atômicas, para tecnologias de produção de energia nuclear, para aceleradores de partículas e para explicar o ciclo de vida das estrelas, entre outros. É esperado que os estudantes compreendam o processo de fissão nuclear e como ele está relacionado com a radioatividade artificial, como funcionam os reatores nucleares e os processos de fusão. Para complementar o conteúdo, será utilizado o capítulo 43 do livro “Fundamentos da Física” de Halliday e Resnick, que explica como ocorre a fissão nuclear artificialmente, através do bombardeamento de átomos de urânio com nêutrons, como funcionam os reatores nucleares e o processo de fusão dentro das estrelas.

## 5. Conclusão

Os diálogos do filme sobre ciências são superficiais, mas tratam dos assuntos científicos mesmo que brevemente com coerência. Baseando-se nos textos de José Moran o filme pode ser utilizado como um motivador para se introduzir os conteúdos de física nuclear a partir de uma abordagem histórica tendo em vista que o filme se baseia na história real de Marie Curie, ele pode ajudar a contextualizar e tornar os conteúdos mais interessantes e relevantes para os estudantes. A utilização de recortes do filme e a reflexão sobre a obra com os estudantes, pode ser uma boa forma de estimular o interesse e o engajamento dos estudantes pelos conteúdos de física nuclear. Além disso, é possível discutir também os impactos sociais e ambientais da radiação, o que pode contribuir para uma compreensão mais completa e crítica dos assuntos científicos.

## Agradecimentos

O autor agradece a FUNCAP pelo superte financeiro.

## Referências

- [1] M. Moran, Comunicação & Educação pp. 27–35 (1995).
- [2] K. dos Santos Tarnowski and I. T. Lawal, *Scientia Naturalis* 3 (2021).
- [3] T. V. Bez, W. Alexandre, and S. Costa, *Revista Técnico Científica do IFSC* pp. 514–514 (2013).
- [4] R. de Andrade Martins, Do urânio ao rádio: Os curie e os novos elementos radioativos, <https://www.ghtc.usp.br/server/pdf/ram-CURIE-2b.PDF>, acessado em: 04/07/2023.
- [5] G. P. Cardoso, Ph.D. thesis, Universidade de São Paulo (2009).
- [6] M. Winter, *Webelements*, <https://www.webelements.com>, acessado em: 04/07/2023.
- [7] K. P. Leal and T. C. de Mello Forato (2019).
- [8] I. N. D. CÂNCER, Tratamento do câncer, <https://www.inca.gov.br/tratamento/radioterapia>, acessado em: 04/07/2023.
- [9] A. R. Prass, Como se faz uma bomba atômica, <https://www.fisica.net>, acessado em: 04/07/2023.
- [10] N. Teruya and S. B. Duarte, *Química Nova* 35, 360 (2012).

- [11] I. H. S. de Lima, G. T. P. Melo, P. F. P. Carneiro, M. E. A. Andrade, N. Y. S. Barbosa, S. M. G. dos Santos, et al., *Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde-UNIT-SERGIPE* 6, 107 (2020).
- [12] M. D. Cordeiro and L. O. de Quadro Peduzzi, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 27, 473 (2010).
- [13] A. M. Xavier, A. G. d. Lima, C. R. M. Vigna, F. M. Verbi, G. G. Bortoleto, K. Goraieb, C. H. Collins, and M. I. M. S. Bueno, *Química Nova* 30, 83 (2007).
- [14] P. N. dos Santos, *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces* 18, 47 (2018).
- [15] R. T. Takahashi and M. d. F. P. Fernandes, *Acta Paul Enferm.* 17, 114 (2004). Ano 1, ISSN: JMFis 1, 1 (2023).