



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO, DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

ANA CAROLINE FERRARI

**RADIOATIVIDADE E A HISTÓRIA DA CIÊNCIA: UMA ANÁLISE DA SÉRIE
CHERNOBYL**

**BLUMENAU
2021**

ANA CAROLINE FERRARI

**RADIOATIVIDADE E A HISTÓRIA DA CIÊNCIA: UMA ANÁLISE DA SÉRIE
CHERNOBYL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Exatas e Educação, do Centro Blumenau da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Fernanda Luiza de Faria

Coorientador: Daniel Almeida Fagundes

**BLUMENAU
2021**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ferrari, Ana Caroline
Radioatividade e a História da Ciência: uma análise da
série Chernobyl / Ana Caroline Ferrari ; orientadora,
Fernanda Luiza de Faria, coorientador, Daniel Almeida
Fagundes, 2021.
40 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Química, Blumenau, 2021.

Inclui referências.

1. Química. 2. Chernobyl. 3. História da Ciência. 4.
Radioatividade. 5. Textos de apoio. I. Faria, Fernanda
Luiza de. II. Fagundes, Daniel Almeida. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Química. IV. Título.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida e a força para continuar;

Aos meus pais, Sergio e Salete, pelo amor, apoio, confiança e compreensão ao longo destes anos;

Aos meus irmãos, Heloísa e Felipe, pela parceria e paciência durante essa trajetória;

Ao meu namorado Lucas, pelo carinho, apoio, compreensão e ajuda em todos os momentos;

Aos meus colegas deste percurso, pela amizade e companheirismo, que fizeram estes anos serem mais divertidos. Em especial a Carla, o Caio, a Daniele, a Gabriele e Sheila;

Aos meus orientadores Fernanda e Daniel, por fazerem parte deste momento importante de final de percurso, com o incentivo e dedicação;

A todos os professores que fizeram parte desta caminhada;

À Universidade Federal de Santa Catarina, especialmente ao Campus de Blumenau;

A todas as demais pessoas envolvidas neste percurso e que tem um lugar especial em minha vida.

Resumo

Frequentemente, o ensino de química é descontextualizado e marcado pela memorização, acarretando na desmotivação dos estudantes. A História da Ciência (HC) vem sendo sinalizada como fator de aproximação dos estudantes com as questões de desenvolvimento da ciência, podendo humanizá-las. Neste trabalho apresenta-se uma análise dos cinco episódios da série de TV Chernobyl (2019) realizada quanto aos aspectos de radioatividade e de História da Ciência, bem como questões éticas, sociais, econômicas, políticas e culturais que permearam a narrativa da obra. Além disso, foram estruturados dois textos para embasamento conceitual do professor de modo a ampliar as discussões envolvidas no ensino de radioatividade. Os textos complementares produzidos, tratam sobre o contexto histórico da radioatividade e o funcionamento das usinas nucleares. Foram construídos em *layout* atrativo e de tamanho moderado, além de linguagem acessível, buscando facilitar a aceitação e compreensão por parte tanto dos professores quanto dos alunos. Diante da análise da série Chernobyl, esta obra audiovisual mostra potencial para ser utilizada como recurso didático no ensino de radioatividade e da HC, ainda mais quando aliada às discussões trazidas na análise e nos textos de apoio.

Palavras-chave: Chernobyl, História da Ciência, radioatividade, textos de apoio.

Sumário

1	Introdução e Justificativa	7
2	Objetivos.....	8
2.1	Geral.....	8
2.2	Específicos	8
3	Referencial Teórico.....	9
3.1	História da Ciência e o ensino: quais as interfaces?	9
3.2	História da Radioatividade.....	11
3.3	Recursos didáticos no âmbito da HC no Ensino de Química	14
3.3.1	Utilização de filmes no ensino	14
3.3.2	Textos de apoio.....	16
4	Metodologia.....	17
5	Resultados e Discussão.....	19
5.1	Análise da Série Chernobyl	19
5.1.1	Breve contextualização histórica do acidente de Chernobyl e da série.....	19
5.1.2	Se debruçando sobre a série.....	21
5.1.3	Pós acidente de Chernobyl: contextualização	30
5.2	Discussão dos textos complementares	31
5.2.1	Texto 1: O que é essa tal de radioatividade	31
5.2.2	Texto 2: Usinas nucleares: como funcionam?.....	33
6	Conclusões	34
7	Referências.....	35
8	Apêndice	39
8.1	Texto complementar 1	39
8.2	Texto complementar 2	41

1 Introdução e Justificativa

Diante da descoberta das reações nucleares, o século XX foi cenário de diversas mudanças por elas impulsionadas. Hoje, a radioatividade é utilizada na geração de energia elétrica, na esterilização de instrumentos médicos, diagnóstico de enfermidades, datação de artefatos históricos, preservação de alimentos, dentre outros (MERÇON; QUADRAT, 2004). Segundo Martins (1990) “A radioatividade é um fenômeno pelo qual os núcleos atômicos sofrem transformações e emitem radiações, podendo, nesse processo, formar novos elementos químicos” (MARTINS, 1990, p. 27).

De modo geral, elementos cujo número atômico (Z) é superior a 82, possuem núcleos instáveis e frequentemente são denominados radioativos. De modo a estabilizar estes núcleos, ocorrem os chamados decaimentos radioativos ou radioatividade, que consistem na emissão de radiação – do tipo alfa (α), beta (β) ou gama (γ) – até a formação de um isótopo estável de chumbo (Pb), com $Z = 82$ (OKUNO; YOSHIMURA, 2010; EISBERG; RESNICK, 1979).

Apesar das diversas aplicações da radioatividade, esta é normalmente veiculada pela mídia de modo pejorativo e sensacionalista, estando associada apenas à bomba atômica ou a acidentes nucleares (CORTEZ, 2014).

Na Competência Específica 1 da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) no que se refere às Ciências da Natureza e suas Tecnologias no Ensino Médio, de forma implícita, a radioatividade é trazida de modo a proporcionar a “avaliação de potencialidades e de limites e riscos de diferentes materiais e/ou tecnologias para tomar decisões responsáveis e consistentes diante dos diversos desafios contemporâneos” (BRASIL, 2018, p. 554).

Entretanto, um ensino descontextualizado, pautado apenas pela memorização de conteúdos pode levar a perda de interesse dos estudantes. A História da Ciência (HC) vem sendo apontada como um fator que aproxima o estudante dos problemas e questões envolvidas no processo de desenvolvimento de teorias científicas, desmistificando ideias que se formaram em torno do conhecimento científico (MATTHEWS, 1995). O livro didático, principal meio de consulta de professores e alunos, apresenta os conteúdos de forma descontextualizada e superficial em relação ao aspecto histórico (VIDAL; PORTO, 2012). Assim como os livros didáticos voltados para a educação básica, os livros dirigidos à formação de futuros professores

também sofrem processos de transposição didática¹ – transformações sofridas pelo conhecimento científico de modo a incorporar uma estrutura lógica para o aprendizado. Este aspecto foi analisado no trabalho de Cordeiro e Peduzzi (2013) acerca do conteúdo de radioatividade, sendo verificadas inconsistências históricas e filosóficas. Os autores argumentam que a formação de tais professores não fornece subsídios para a abordagem da HC no ensino básico, propagando assim, erros quanto ao desenvolvimento da ciência e do trabalho do cientista.

Em uma sociedade imersa na tecnologia que vivencia as rápidas transformações do mundo, os meios de comunicação e informação acometem fortemente a escola, tornando-se uma adversidade ao ensino efetivo (DELEIZOICOV et al, 2002). Desta forma, a utilização de materiais que escapem das tradicionais aulas é a tendência atual nas pesquisas da área da educação. Uma possibilidade de estratégia a ser utilizada em sala de aula se trata dos filmes, os quais ganharam relevância nas últimas décadas no ambiente escolar (SILVA; HENRIQUES, 2020).

2 Objetivos

2.1 Geral

Analisar a série “Chernobyl” no que concerne aos tópicos de radioatividade e sua utilização como recurso didático sob o viés da História da Ciência.

2.2 Específicos

- # Subsidiar teoricamente os professores de química acerca das discussões quanto aos aspectos de História da Ciência e radioatividade presentes na série “Chernobyl”;
- # Elaborar textos de apoio de caráter complementar, a fim de aprofundar e ampliar as discussões que permeiam o ensino da radioatividade na educação básica.

¹ Chevallard argumenta que na transposição didática para compor materiais didáticos ocorrem processos de dessincretização (o conhecimento ensinável é retirado de seu contexto conceitual de origem e posto em novo contexto que não necessariamente se relaciona ao de origem), despersonalização (supressão dos aspectos enfrentados no processo de desenvolvimento, incluindo motivações, ideologias e fracassos) e de descontextualização (o conhecimento é retirado de seu contexto histórico de origem). Segundo Cordeiro e Peduzzi (2013), é possível interpretar que todos os processos discutidos por Chevallard acerca da transposição didática para manuais didáticos como processos descontextualizadores históricos.

3 Referencial Teórico

3.1 História da Ciência e o ensino: quais as interfaces?

Frequentemente, o ensino de ciências e em especial de química, é pautado por uma prática de exposição de fórmulas, leis e teorias desarticuladas com a vivência dos estudantes, minimizando o ensino a um processo de memorização dos conteúdos, sem que haja a almejada construção de conhecimentos (CALLEGARIO, 2015).

Neste contexto, se insere a História da Ciência, que de acordo com Beltran, Saito e Trindade (2014) “procura contextualizar os conceitos científicos sem extraí-los de sua malha histórica” (BELTRAN, SAITO, TRINDADE, 2014, p. 113). Ademais, como citado por Matthews (1995), apesar de não possuir as respostas para a crise existente no sistema de ensino, a HC pode contribuir para:

Humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas. (MATTHEWS, 1995, p. 165).

De acordo com Martins (2006), o ensino comum das ciências, o que tange à química, não deve ser substituído pela HC, mas ambos podem se complementar. O autor destaca ainda que o estudo adequado de fatos históricos permite a compreensão de que a ciência não é isolada, mas sim uma construção histórica que sofre influência e influencia o seu meio social. Outro ponto destacado pelo autor é a compreensão do processo do desenvolvimento científico, em que o conhecimento não é fruto de um “método científico” que permite chegar a uma verdade absoluta, mas sim que este se trata de uma construção gradativa e coletiva. Ademais, é citado que o conhecimento científico não nasce pronto e acabado de “grandes gênios”, mas que é fruto de um desenvolvimento gradativo.

Gil-Pérez et al (2001) salientam para as visões deformadas e ingênuas da ciência que o público em geral apresenta, podendo-se destacar a concepção de que a ciência é desenvolvida por gênios, ahistórica, neutra e exata, de crescimento linear, imutável, além de individualista e elitista. Estes autores ainda destacam que as concepções que os professores possuem sobre o trabalho científico, refletem suas visões sobre a Natureza da Ciência, implícita ou

explicitamente. Segundo Forato et al (2011), interpretações equivocadas e/ou descontextualizadas de fontes e/ou de um período histórico acarretam em uma abordagem histórica que pode ser considerada problemática.

Outra questão existente nas salas de aula é a propagação de histórias reais como se fossem anedotas, como a “Maça de Newton” e o “Eureka de Arquimedes”, que embora possam parecer motivacionais aos estudantes, podem perpetuar noções falsas da ciência e os estereótipos de cientista (FORATO et al, 2011).

De acordo com Forato et al (2011), a formação de professores e alunos deveriam levar em conta os seguintes aspectos:

- A compreensão da ciência como uma atividade humana, historicamente construída, imersa no contexto cultural de cada época e de cada povo, e não como uma construção puramente racional, desenvolvida por um suposto “método científico” único e universal a partir apenas de observações, experimentos, deduções e induções logicamente fundados.
- Entender a ciência se desenvolvendo em um contexto cultural de relações humanas, dilemas profissionais e necessidades econômicas revela uma ciência parcial e falível, contestável, influenciada também por fatores extra científicos.
- Conhecer sobre as ciências e não apenas os conteúdos científicos, mas também alguns de seus pressupostos e limites de validade, permite criticar o dogmatismo geralmente presente no ensino de ciências, além de promover o pensamento reflexivo e crítico.
- Possibilitar certo conhecimento metodológico como um antídoto à interpretação empírico-indutivista da ciência permite refletir sobre as relações e diferenças entre observação e hipóteses, leis e explicações e, principalmente, resultados experimentais e explicação teórica. (FORATO *et al*, 2011, p. 32-33).

De acordo com Silva (2006), a inserção da HC nas salas de aula brasileiras ainda ocorre mais em nível teórico do que prático pela falta de preparo dos docentes, pela inexistência de estudos em estratégias para a melhor abordagem da HC no contexto brasileiro e a escassez de recursos didáticos de qualidade.

No anseio de abordar o conteúdo de radioatividade a partir da perspectiva da HC, no próximo tópico trazemos a discussão sobre a história da radioatividade, conceitos que serão abordados nos textos de apoio produzidos.

3.2 História da Radioatividade

A descoberta da radioatividade esteve intimamente relacionada à descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923), em 1895. Em 1895, interessado em estudar a natureza dos raios catódicos e seu alcance, Roentgen, utilizando ampolas de Crookes descobriu em 8 de novembro daquele ano, os raios X (MARTINS, 1990; CARUSO; OGURI, 2016; XAVIER et al, 2007).

A experiência consistiu em atravessar uma descarga elétrica em um tubo de ar rarefeito, produzindo assim os raios catódicos, atualmente reconhecidos como fluxo de elétrons. Em seus experimentos, Roentgen cobriu a ampola com um papel opaco e ao fazer a descarga elétrica atravessá-la, notou que provocava luminescência em uma chapa fotográfica a cerca de 2 metros do aparato experimental. Desta forma, estes não poderiam se tratar de raios catódicos, mas sim de outro tipo de raios, os quais Roentgen denominou de raios X (MARTINS, 1990; CARUSO; OGURI, 2016; XAVIER et al, 2007).

Em algumas semanas, Roentgen determinou algumas das propriedades destes novos raios, sendo que a que mais gerou repercussão na sociedade foi a sua utilidade médica: a capacidade de observação dos ossos. A partir de então, diversos cientistas se debruçam sobre estes raios para estudá-los e dentre os cientistas que se propuseram a trabalhar com os raios X estava Antoine Henri Becquerel (1852-1908). Henri Becquerel foi um estudioso especialmente sobre óptica e fosforescência. Pesquisou o fenômeno da fosforescência de diversos materiais, em especial dos sais de urânio (MARTINS, 1990; CARUSO; OGURI, 2016; XAVIER et al, 2007).

Em 1896, Becquerel envolveu uma chapa fotográfica em folhas de papel preto e um cristal de urânio sobre o conjunto que foi então levado ao sol para “ativar” a fosforescência do urânio. Ao revelar a chapa fotográfica, a silhueta do cristal foi evidenciada (MARTINS, 1990)

Mais tarde Becquerel faz um anúncio à academia, muitas vezes tida como a descoberta da radioatividade:

Insistirei particularmente sobre o seguinte fato, que me parece muito importante e estranho ao domínio dos fenômenos que se esperaria observar. Os mesmos flocos cristalinos, colocados junto às chapas fotográficas, nas mesmas condições, isolados pelos mesmos anteparos, mas sem receber excitação pela incidência de radiação e mantidos no escuro, ainda produzem as mesmas impressões fotográficas. Este foi o modo pelo qual fui levado a fazer essas observações: entre os experimentos precedentes, alguns foram preparados na quarta-feira, 26, e na quinta-feira, 27 de fevereiro; e como, nesses dias, o Sol apareceu apenas de modo intermitente, guardei os experimentos que havia preparado e coloquei as chapas com seus envoltórios na

obscuridade da gaveta de um móvel, deixando os flocos de sal de urânio em seu lugar. Como o Sol não apareceu novamente nos dias seguintes, no dia 1 de março eu revelei as chapas fotográficas, esperando encontrar imagens muito fracas. Pelo contrário, as silhuetas apareceram com uma forte intensidade. Eu logo pensei que a ação devia ter continuado na obscuridade [...] (BECQUEREL, 1896 apud MARTINS, 1990, p. 34).

Dois anos após os escritos de Becquerel, em 1898, cientistas decidiram localizar um outro elemento que emitisse as mesmas radiações do urânio. De forma independente, G. C. Schmidt (Alemanha) e Marie Sklodowska Curie (França) descobriram o tório por meio da utilização de uma câmara de ionização, método que consiste em observar a corrente elétrica produzida quando se posiciona um material que emite radiação entre duas placas eletrizadas (MARTINS, 1990; CARUSO; OGURI, 2016; XAVIER et al, 2007).

Como acontecia com o urânio, todos os compostos de tório emitiam aquela radiação. Entretanto, estudando diversos minerais Marie Curie notou algo diferenciado:

Todos os minerais que se mostraram ativos contêm os elementos ativos. Dois minerais de urânio – a pechblenda (óxido de urânio) e a calcolita (fosfato de cobre e uranila) são muito mais ativos do que o próprio urânio. Esse fato é muito notável e leva a crer que esses minerais podem conter um elemento muito mais ativo do que o próprio urânio. Reproduzi a calcolita pelo processo de Debray com produtos puros; essa calcolita artificial não é mais ativa do que outros sais de urânio (CURIE, 1898, p. 1102 apud MARTINS, 1990, p. 39)

Estimulada pela descoberta do tório, era perceptível que os “raios de Becquerel” não se tratava de um fenômeno isolado que ocorria apenas com o urânio, levando Marie Curie a generalizar o este fenômeno denominando-o de “radioatividade”:

Os raios urânicos foram freqüentemente chamados raios de Becquerel. Pode-se generalizar esse nome, aplicando-o não apenas aos raios urânicos mas também aos raios tóricos e a todas as radiações semelhantes.
Chamarei de radioativas as substâncias que emitem raios de Becquerel. O nome de hiperfosforescência, que foi proposto para o fenômeno, parece-me dar uma falsa idéia de sua natureza. (CURIE, 1899, p. 42 apud MARTINS, 1990, p. 40)

Por meio dos trabalhos envolvendo a pechblenda, o casal Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906) descobrem dois novos elementos: o Polônio (Po) e o Rádio (Ra), ambos em 1898. Sabendo que a comunidade científica só reconheceria a descoberta após a determinação da massa atômica dos elementos, o casal muda seu laboratório para um ambiente insalubre onde passa a beneficiar quase uma tonelada de refugo de pechblenda até que, passados três anos, Marie consegue determinar o peso do Rádio: 225 u.

Em 1903, o casal Curie e Henry Becquerel foram laureados com o Nobel de Física pela descoberta da radioatividade. Entretanto, para Marie não foi simples, sofrendo constantes acusações de que ela era apenas um apoio ao marido. Mais tarde, em 1911, Marie Curie foi

novamente laureada com o Nobel, desta vez na área da Química, pela descoberta do Rádio e o Polônio.

Irène Joliot-Curie (1897-1956) e Frédéric Joliot-Curie (1900-1958), respectivamente filha e genro de Marie Curie, descobriram a radioatividade artificial em 1934. Seus experimentos consistiam em bombardear folha de alumínio (Al) e boro (B) com partículas α , produzindo fósforo (P) e nitrogênio (N), respectivamente, além de nêutrons. Os elementos produzidos por meio desta reação eram, entretanto, instáveis, e com o tempo decaíam, com a emissão de um pósitron, para silício (Si) e carbono (C). Por esta descoberta, o casal foi laureado com o Prêmio Nobel de Química em 1935 (CORDEIRO; PEDUZZI, 2014; XAVIER et al; 2007).

Após os estudos do casal Joliot-Curie, diversos cientistas se debruçaram a reproduzir os experimentos com outros elementos. O italiano Enrico Fermi (1901-1954), entretanto, realizou o bombardeamento de diversos elementos com nêutrons, resultando na produção de um elemento de posição mais alta na tabela periódica. Isso ocorre porque ao ser bombardeado com um nêutron, o núcleo do átomo se torna instável e sofre um decaimento β^- , isto é, aumentando o número atômico do elemento estudado. Ao testar o urânio, a equipe de Fermi acreditou ter encontrado um novo elemento, os até então desconhecidos elementos transurânicos (CORDEIRO; PEDUZZI, 2014; XAVIER et al; 2007).

A química alemã Ida Noddack (1896-1978) levantou objeções aos resultados encontrados pela equipe de Fermi e aos métodos utilizados, argumentando que não se havia levado em consideração a possibilidade de produção de elementos de número atômico menor que o urânio. Entretanto, sua contestação não foi levada em consideração (CORDEIRO; PEDUZZI, 2014).

Assim, diversos cientistas se debruçaram a tentar descobrir quais eram os produtos do bombardeamento de urânio com nêutrons. Em 1938, os alemães Otto Hahn (1879-1968) e Fritz Strassmann (1902-1980) concluíram que o produto se tratava do rádio, apesar do mecanismo pouco provável para que o fosse. Ao precipitá-lo, não era possível isolar o suposto rádio produzido. Em contrapartida, as propriedades do bário eram reiteradamente constatadas, o que levou os cientistas a escreverem a Lisa Meitner (1878-1968), já que isso seria improvável pelas ideias aceitas na época (CORDEIRO; PEDUZZI, 2014). Meitner e seu sobrinho Otto Robert Frisch (1904-1979) propuseram que “O núcleo do átomo de urânio é instável e, ao ser bombardeado com nêutrons moderados, rompe-se praticamente ao meio, originando dois

núcleos de massa média e liberando 2 ou 3 nêutrons, além de mais energia” (XAVIER et al, 2007). De acordo com eles, ao ser atingido por nêutrons, o urânio se fissiona em bário e criptônio, produto este encontrado por Hahn e Strassmann em 1939.

A reação em cadeia foi utilizada para a construção de armas nucleares, como as bombas atômicas que foram lançadas sobre as cidades japonesas Hiroshima e Nagasaki em 1945 durante a Segunda Guerra Mundial, deixando milhares de mortos e feridos. Além disso, a fissão nuclear é empregada na produção de energia elétrica. Entretanto, algumas falhas culminaram em acidentes envolvendo usinas nucleares, como o caso do acidente de Windscale (1957), Three Mile Island (1979) e Chernobyl (1986) (XAVIER et al, 2007).

3.3 Recursos didáticos no âmbito da HC no Ensino de Química

De acordo com Souza (2007), recurso didático é todo material utilizado pelo docente como meio de aproximar o conteúdo dos estudantes, de modo a favorecer a aprendizagem. Esta autora ainda destaca a existência de inúmeros recursos que podem ser abordados em sala de aula, como textos, vídeos, experimentos e jogos, de modo a romper com a metodologia tradicional de ensino (SOUZA, 2007).

Com o propósito de discorrer sobre o conteúdo da radioatividade e HC, esse estudo se propõe a produzir textos de apoio ao professor de química da educação básica. Além disso, se propõe a utilização de um recurso didático audiovisual. Diante disso, nesse tópico nos debruçamos sobre essas questões.

3.3.1 Utilização de filmes no ensino

Apesar dos filmes terem entrado nas salas de aula tardiamente, não significa que estes não sejam pensados com um viés educativo, especialmente sobre a classe operária (NAPOLITANO, 2003). De acordo com Napolitano (2003),

trabalhar com cinema em sala de aula é ajudar a escola a reencontrar a cultura ao mesmo tempo cotidiana e elevada, pois o cinema é o campo no qual a estética, o lazer, a ideologia e os valores sociais mais amplos são sintetizados numa mesma obra de arte (NAPOLITANO, 2003, p. 11).

Os recursos audiovisuais, como recursos metodológicos, podem proporcionar inúmeras formas de inserção nas salas de aula, tornando-se uma maneira diferenciada de abordagem dos conteúdos programáticos. Ademais, a escola como instituição que lida com conhecimento científico, visa também os valores sociais do seu público alvo. Assim,

...ver filmes, discuti-los, interpretá-los é uma via para ultrapassar as nossas arraigadas posturas etnocêntricas e avaliações preconceituosas, construindo um conhecimento descentrado e escapando às posturas “naturalizantes” do senso comum (TEIXEIRA, 2006, p. 08).

A utilização de obras audiovisuais ainda deve ser cautelosa, uma vez que esse tipo de conteúdo não se restringe apenas a um meio de entretenimento, mas sim a uma arte que recria a realidade, que por meio de uma linguagem intencional ou não, reproduz ideologias. Desta forma, é reiterado que a mediação do professor é de suma importância, uma vez que a representação do filme, série, documentário ou desenho animado pode ser tida como verdade incontestável (FERRO, 1992).

Nos últimos anos, a temática científica vem ganhando espaço nos meios de comunicação, tais como jornais, documentários, animações e filmes. Por esta razão, a percepção pública acerca do cientista e da ciência, bem como seu desenvolvimento, é fortemente afetada pela imagem transmitida pela grande mídia. Estereótipos de cientista como louco, homem, de jaleco branco e óculos e cabelos desajeitados são recorrentes em animações, modalidade voltada principalmente para o público mais jovem (REZNIK; MASSARANI; MOREIRA, 2019).

A ciência também é retratada no cinema por meio de filmes biográficos e documentários. Neste campo, é possível citar a película “A história de Louis Pasteur” (1936), dirigido por William Dieterle. Além deste, a vida de Marie Curie foi vastamente explorada pelo cinema, sendo retratada pelas películas “Madame Curie” de 1943, “Marie Curie” de 2016 e “Radioactive” de 2019. Especificamente a química, teve seu lado perverso retratado em produções com a temática bélica, podendo-se citar o curta “Haber” (2008), no qual a vida de Fritz Haber (1868-1934) é abordada, demonstrando ainda a síntese do amoníaco e sua utilização durante a Primeira Guerra Mundial, dentre tantos outros.

As produções documentárias são as mais procuradas para abordagem em sala de aula, uma vez que estas mostram a “vida como ela é”, diferentemente de filmes de ficção que são vistos como não reais, uma realidade inventada (BRUZZO, 1998). Desta forma, a abordagem de fatos históricos se dá de maneira mais fiel em produções do gênero documental.

Recentemente, foi lançada a série de TV Chernobyl (2019) dirigida por Craig Mazin. Em 5 episódios a obra narra a história do acidente ocorrido na usina nuclear de Chernobyl na madrugada de 26 de abril de 1986.

3.3.2 Textos de apoio

Dentre os obstáculos enfrentados para a inserção da HC, nas salas de aula, está a carência de materiais didáticos de qualidade que possam vir a ser utilizados (SILVA, 2006).

No estado da arte realizado por Schirmer e Sauerwein (2014) acerca dos recursos didáticos utilizados para ensino da História e Filosofia da Ciência (HFC) no período de 2001 a 2010, constatou-se que os textos constituíam o material didático mais utilizado. Além de textos foram encontrados ainda artigos que tratam da utilização de filmes e experimentos para abordagem da HFC.

Ao passo que a oferta de materiais didáticos para ensino de HC vem crescendo, Brito (2005) ainda destaca a importância de os docentes produzirem um material autoral de apoio. Allchin (2004), por sua vez, considera a impossibilidade de todos os docentes e escritores de materiais didáticos se tornarem “historiadores da Ciência”, mas, por outro lado, defende a relevância de se compreender alguns aspectos de pseudo-história. Visões problemáticas da história ignoram determinados tópicos, como: aceitação acrítica de novos conceitos; ambiente social e cultural; ideias alternativas; ideias antecedentes.

Um dos principais recursos didáticos utilizados por professores e alunos é o livro didático. Entretanto, como destacado por Vidal e Porto (2012), a maioria dos livros didáticos ao fazer referência à HC, cita apenas o ano de nascimento e morte do cientista em questão, os quais ainda são retratados como gênios e sem relação com o contexto social. Além disso, os livros são pautados em uma historiografia tradicional, em que as descobertas são tidas como lineares e diretas, sem mencionar possíveis contestações e tecendo uma concepção de que cada disciplina se desenvolveu de modo isolado das demais (VIDAL, PORTO, 2012; SAITO, 2010; MARTINS, 2006). Ao analisar o conteúdo de radioatividade em livros de química do Plano Nacional de Livro Didático (PNLD) 2015-2018, Oliveira (2019) constatou as mesmas características apontadas por Vidal e Porto (2012).

Neste sentido, a produção de textos de apoio acerca da HC aos professores se faz necessária ainda mais quando aliada ao fato de que, segundo Beltran e Barp (2017), a HC não está sendo trabalhada nos cursos de formação de professores. Ademais, o trabalho de Cordeiro e Peduzzi (2013) expõe que a utilização de textos tradicionais na formação de professores não fornece subsídios suficientes para a compreensão histórica envolvida nos conteúdos estudados.

4 Metodologia

O presente estudo analisou os cinco episódios da série de TV Chernobyl, lançada em 2019 e transmitida pelo canal da HBO. Criada por Craig Mazin, a série Chernobyl recria os momentos do acidente nuclear de Chernobyl ocorrido na madrugada do dia 26 de abril de 1986, bem como suas consequências e passos posteriores.

A análise se deu sob a perspectiva da História da Ciência, buscando discorrer sobre questões econômicas, éticas, sociais, políticas e culturais que permearam a narrativa da série. Além disso, traz ainda um olhar sobre o desenvolvimento da ciência neste contexto histórico abordado pela série, mais especificamente para o conteúdo da radioatividade.

Desta forma, para embasar teoricamente a discussão, foram acessados um leque de informações pertinentes e diversificadas, advindas de manuscritos, divulgação em páginas autorizadas, dissertações e teses, além de artigos científicos.

A análise descrita nas próximas páginas foi realizada para cada episódio da série Chernobyl, situando o leitor na narrativa para embasar as discussões de determinados acontecimentos e, quando necessário, sendo informado o tempo na obra em que a cena ocorreu. Vale ressaltar que nem toda a série foi descrita por desconsiderar a relevância para os pontos a serem debatidos ou a redundância na narrativa.

Nestas análises, são abordados aspectos da natureza radioativa do evento histórico, do contexto social e político inerente ao estudo e a presença de discussões da HC que poderiam ser apontadas, além de discussões que permeiam a própria visão de ciência. Diante disso, a própria análise da série já se configura como um texto de base para o professor, se tornando uma fonte interdisciplinar de informações, uma vez que a discussão permeia além de aspectos da química, aspectos da história, física, biologia e sociologia, por exemplo.

Para além da análise da série, foram estruturados dois textos de apoio de caráter complementar que servem como fundamento teórico aos docentes de química, a fim de aprofundar e ampliar as discussões que permeiam o ensino da radioatividade na educação básica.

O primeiro texto de apoio (Apêndice 1) aborda parte da história da radioatividade e o embasamento para compreensão deste fenômeno. Já o segundo (Apêndice 2), traz a

fundamentação teórica para compreensão do funcionamento de usinas nucleares e suas potencialidades.

Estes textos foram escritos com linguagem acessível e dispondo de imagens quando possível de modo a facilitar a compreensão do leitor. Ademais, os textos estão dispostos em *layout* atrativo e de tamanho moderado, objetivando uma melhor aceitação tanto de professores como de estudantes.

5 Resultados e Discussão

Neste tópico trazemos primeiramente a análise da série Chernobyl, fazendo inicialmente uma breve contextualização histórica do acidente de Chernobyl, posteriormente, apresentamos a lista de personagens que compõem a série, para uma melhor compreensão do leitor sobre a análise feita. Em seguida, trazemos a análise de cada um dos cinco episódios da série sob o olhar da História da Ciência, trazendo os aspectos econômicos, políticos, sociais, ambientais e éticos que perpassam a narrativa da série. Finalizamos o tópico da análise da série, trazendo uma discussão breve sobre o período pós acidente. Partindo disso, discorreremos sobre os dois textos construídos que podem ser utilizados como material de apoio tanto pelos docentes como pelos estudantes da educação básica.

5.1 Análise da Série Chernobyl

5.1.1 Breve contextualização histórica do acidente de Chernobyl e da série

A Guerra Fria (1947-1991), chamada assim por não haver batalhas de fato, iniciou logo após o término da Segunda Guerra Mundial (1939-1945). Foi um conflito geopolítico travado indiretamente entre a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas, URSS (socialismo) e os Estados Unidos (capitalismo) caracterizado pela disputa ideológica, corrida armamentista e a detenção tecnológica, sendo utilizado de espionagem e sabotagens ao inimigo, além de propagandas para desqualificá-lo e/ou sustentar seu próprio posicionamento.

Nesse contexto, com a necessidade crescente da economia da URSS, o programa energético nuclear soviético ampliou-se aceleradamente para reduzir a demanda do consumo de petróleo na geração de energia, tornando a URSS uma pioneira na utilização pacífica de energia nuclear. Entre os anos de 1973 e 1981, a capacidade de geração de energia nuclear na União Soviética foi elevada de 3,2 a 14,6 GW, impulsionada principalmente pela utilização de reatores RBMK-1000, como os presentes na Usina Nuclear de Chernobyl (CNEN, 1986). Entretanto, estes reatores forneciam como subproduto de fissão do urânio, o plutônio, utilizado na fabricação de bombas, indispensáveis à corrida armamentista impulsionada pelo momento geopolítico, demonstrando o aspecto bélico da tecnologia (SIGUIMOTO; CASTILHO, 2014).

A usina de Chernobyl estava localizada às margens do rio Pripyat, o qual desemboca no rio Dnieper. Em um raio de 30 km em torno da usina, habitavam cerca de 100.000 pessoas, sendo que 49.000 eram da cidade de Pripyat. A usina foi construída em um local estratégico de fornecimento de energia elétrica para cidades industriais e residenciais tendo potência elétrica

planejada de 6.000 MW² e em operação no ano de 1986, 4.000 MW. Outros dois reatores estavam em construção, o que comporia o projeto de 6 unidades de 1.000 MW cada (CNEN, 1986; SIGUIMOTO; CASTILHO, 2014).

Após algumas produções sobre o acidente nuclear de Chernobyl, em 2019 a série televisiva Chernobyl foi coproduzida pela plataforma HBO e a rede Sky. Criada por Craig Mazin em 5 episódios, a série Chernobyl recria os momentos do acidente nuclear de Chernobyl ocorrido na madrugada do dia 26 de abril de 1986, bem como suas consequências e passos posteriores.

Por se tratar de uma obra baseada em fatos históricos, os produtores tomaram o cuidado de recriar os ambientes o mais próximo o possível do que se encontrava na época. A narrativa também é embasada nos relatos encontrados no livro “Vozes de Tchernóbyl” (2016) da autora bielorrussa Svetlana Aleksievitch premiada com o Nobel de Literatura em 2015, o que fundamenta a história de algumas pessoas acompanhadas na obra audiovisual, como a de Lyudmila Ignatenko (Jessie Buckley). Assim, a série acompanha os momentos do acidente dentro da sala de operações, as consequências do acidente, as pessoas envolvidas no processo de limpeza e mitigação dos danos (bombeiros, equipe médica, mineiros, dentre outros), além das questões sociopolíticas envolvidas em torno do acidente. Ademais, é importante destacar que a série acompanha os cientistas Valery Legasov (Jared Harris) e Ulana Khomyuk (Emily Watson) – personagem criada para sintetizar toda a equipe científica que trabalhou em Chernobyl juntamente com Valery Legasov –, além de Boris Shcherbina (Stellan Skarsgard) um membro do Conselho de Ministros da União Soviética, ao tentarem descobrir as causas do acidente.

Assim como citado por Pizzinga (2020), apesar de haver alguns questionamentos que podem ser levantados, principalmente em relação a polarização da Guerra Fria, a obra fornece um bom retrato dos fatos decorridos no acidente. Visão esta reforçada em uma reportagem da BBC Brasil (2019) do depoimento de um operador da usina na época, Oleksiv Breus, que alega que o acidente foi demonstrado de modo bastante preciso com o que ocorreu em Chernobyl.

No Quadro 1, estão dispostos os personagens da série e suas funções desempenhadas em Chernobyl, bem como os atores e atrizes que os interpretaram.

² A título de comparação, a Usina Hidrelétrica de Itaipu, segunda maior usina hidrelétrica do mundo, possui potencial instalado de 14.000 MW (ITAIPU).

Quadro 1: Lista de personagens da série Chernobyl citados na análise e suas respectivas funções.

Personagem na Série/Realidade	Ator/atriz na série	Função
Valery Legasov	Jared Harris	Foi um químico e especialista em reatores RBMK que atuou na investigação e nas ações posteriores ao acidente de Chernobyl
Ullana Khomyuk	Emily Watson	Esta personagem não existiu de fato, foi criada como uma amálgama de todos os cientistas que atuaram em Chernobyl.
Boris Shcherbina	Stellan Skarsgard	Vice-presidente do Conselho de Ministros da União Soviética e encarregado de supervisionar as intervenções em Chernobyl.
Anatoly Dyatlov	Paul Ritter	Engenheiro responsável por supervisionar os testes no reator 4 de Chernobyl
Viktor Bryukhanov	Con O'Neill	Gerente de operações da usina de Chernobyl.
Nikolai Fomin	Adrian Rawlins	Engenheiro chefe da usina de Chernobyl.
Lyudmila Ignatenko	Jessie Buckle	Esposa do bombeiro Vasily Ignatenko.
Vasily Ignatenko	Adam Nagaitis	Foi um bombeiro soviético que esteve entre os primeiros a chegar na usina de Chernobyl na noite do acidente.
Mikhail Gorbachev	David Dencik	Secretário Geral do Partido Comunista da União Soviética entre 1985 e 1990.

Fonte: Produzido pelos autores (2021).

5.1.2 Se debruçando sobre a série

- Episódio 1: “1:23:45”

A série já inicia em 1988, dois anos após o acidente, com um personagem ainda não identificado, que após gravar fitas de áudio, se enforca na mesma hora em que ocorreu o acidente de Chernobyl.

Somos então levados para o ano em que ocorreu o acidente e, pela residência de Lyudmila e Vasily Ignatenko, vemos a explosão e o incêndio da usina, sendo demonstrado o brilho no céu provocado pela ionização do ar por conta da radiação liberada, isto é, a retirada de elétrons de átomos por meio das partículas α e β com energia suficiente e de radiação γ (OKUNO, 2013). Tanto as partículas α (também chamada de núcleo de hélio, por ser constituída de dois prótons e dois nêutrons) e β (a partícula β pode ser dividida em duas: β^- que são elétrons e β^+ que são os pósitrons, a antipartícula do elétron) quanto a radiação γ (radiações eletromagnéticas de pequeno comprimento de onda e portanto, elevada energia) são emitidos espontaneamente por núcleos de radionuclídeos instáveis em um processo denominado de desintegração nuclear até que ocorra a produção de núcleos estáveis (OKUNO, 2013).

Somos então levados à sala de controle em que os operadores tentam compreender e lidar com a situação até então desconhecida. Antony Dyatlov, o engenheiro chefe encarregado de acompanhar os testes de segurança que estavam sendo realizados, nega diversas vezes a explosão do reator 4 de Chernobyl (não apenas neste episódio, mas também nos que o sucedem), firmado na informação de que reatores RBMK não explodem. Mesmo com evidências de que algo não corre bem, como a leitura máxima do dosímetro presente na usina de 3,6 Roentgen³, o engenheiro minimiza a situação: “não está ótimo, nem terrível” (16min03s).

O que ocorre é que Dyatlov se fixa em uma concepção ingênua acerca do conhecimento científico. A ele foi apresentada uma informação que deve ser vista como algo inquestionável, verdadeiro e eterno. Entretanto, essa visão recusa que o conhecimento científico é desenvolvido por seres humanos falíveis ou que mesmo tenha passado por todos os testes de segurança (como é explicitado nos episódios seguintes).

Nas cenas seguintes, acompanhamos alguns funcionários pela usina, que mesmo desnorteados, tentam compreender o que ocorreu. Na busca por um dosímetro para quantificar a radiação no local, nos deparamos com um funcionário assustado que questiona diversas vezes se está acontecendo um ataque dos inimigos. Destacamos aqui que com a Guerra Fria era comum o medo de ataques inimigos.

Tendo em vista este conflito geopolítico pelo qual a União Soviética passava, o sigilo de informações era como uma estratégia de estado para evitar que o inimigo encontrasse pontos

³ Roentgen (R) é a unidade utilizada para indicar a exposição à radiação mensurada pela ionização do ar em decorrência de fótons de alta energia (raios X e radiação gama). A unidade do Sistema Internacional (SI) para exposição à radiação é o Coulomb/quilograma (C/kg), em que a relação entre eles é de $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ (ANDRADE, 1981; TAUHATA, 2003).

que pudessem desacreditar sua posição, o que fica exposto na fala de Bryukhanov quando pede segredo para evitar consequências adversas (como a histeria da população e descrédito no governo soviético, aspectos também mencionados em outros episódios) na reunião do Comitê Executivo Local realizada a portas fechadas convocada para discutir o acidente.

Pela manhã, o mesmo personagem do início do episódio novamente aparece e somos então informados de que se trata de Valery Legasov, especialista em reatores RBMK e por este motivo está sendo convocado para compor o Comitê Central, criado para gerenciar o acidente.

- Episódio 2: “Mantenha-se calmo, por favor”

Logo no início deste episódio, outra personagem importante é introduzida: Ullana Khomyuk. Esta personagem, física nuclear, que foi criada para sintetizar todo o corpo científico que trabalhou em Chernobyl, detecta iodo 131 a cerca de 400 Km de Chernobyl. O iodo 131, assim como outros isótopos radioativos tais como criptônio, céσιο, plutônio e estrôncio, são subprodutos do processo de fissão que ocorre dentro de um reator nuclear (PRASS, 2007; MARQUES, 2012). Como providência, Khomyuk ingere pastilhas de iodo, cena esta que irá se repetir ao longo deste episódio. O iodo é absorvido pela glândula tireoide para a produção de hormônios que mantém o pleno funcionamento do corpo humano. Em caso de acidente nuclear, um dos vários isótopos (átomos de um mesmo elemento químico, apenas com número de massa distinto) do iodo é liberado, o iodo radioativo (^{131}I), que quando associado à glândula tireoide, causa diversos tipos de câncer, em especial de tireoide. Para amenizar os danos, como câncer de tireoide e alterações no DNA, recomenda-se a ingestão de pílulas de iodeto de potássio (KI), assim como Khomyuk fez, para que assim a glândula tireoide fique saturada de iodo e o isótopo radioativo seja eliminado por meio das fezes e da urina (MARQUES, 2012).

Desconfiando de que algo mais sério tenha ocorrido em Chernobyl, Khomyuk vai ao encontro do Secretário Adjunto Garanin em Minsk, entretanto, é recebida com a fala "Quando há uma doença, onde estão os cientistas? Nos laboratórios com a cara nos livros [...] mas, quando não há problemas, ficam espalhando medo" (21min59s - 22min07s). Esta fala reflete a visão deformada de que a ciência nasce pronta da cabeça de grandes gênios, que o processo de desenvolvimento científico se dá de forma rápida e sem obstáculos, quando na verdade, este é dado de forma lenta, gradativa e fruto de debates (MARTINS, 2006; GIL PEREZ et al, 2001). Ademais, a fala reflete um pensamento reducionista de que a ciência se produz apenas no interior dos laboratórios, entretanto, como exposto por Morais (1988) e citado por Francelin (2014) “a ciência não se reduz a experimentos, pelo contrário, é extremamente abrangente e

complexa”. Desta forma, a fala do secretário Garanin suprime as pesquisas teóricas que necessitam ser realizadas para as pesquisas experimentais e até mesmo as pesquisas na área das ciências humanas e sociais.

Ademais, a fala “prefiro a minha opinião à sua” (22min32s) reforça a ideia de posição anti-cientificista em que o conhecimento científico é tido como simples opinião e que não há razões para admitir estas concepções, não levando em conta que estas decisões se embasam em evidências, embora não isentos de equívocos (CUPANI, 2004).

O conhecimento cientificamente aceito se pauta por bases conceituais construídas ao longo do tempo que necessitam passar pelo crivo da comunidade científica, estando sujeito a críticas que irão estabelecer sua aplicação ou não. Ou seja, há um rigor com o qual o conhecimento precisa ser exposto para ser aceito. Diferentemente ocorre com o que é denominado de senso comum, em que uma série de perspectivas para explicar e/ou se adaptar aos fenômenos cotidianos são normalmente aceitas em determinada comunidade (FRANCELIN, 2014).

Em uma reunião de cúpula em Moscou, Legasov, por meio do seu conhecimento técnico e das informações apresentadas pelo governo, contraria tais informações afirmando que provavelmente a radiação é maior que a relatada (tendo em vista ainda que o número apresentado é a medição máxima dos dosímetros da usina). Entretanto, Gorbachev, um dos altos mandatários do governo invalida suas objeções, implicando em deslegitimação do conhecimento científico e na influência que os agentes externos podem exercer sobre a ciência, ficando claro ainda na fala “[Legasov está] conjecturando e contrariando diretamente o que foi informado pelos oficiais do partido” (12min12s – 12min17s).

Diante das contestações, Shcherbina e Legasov são enviados à Chernobyl para avaliar a situação e durante a viagem, Legasov explica rapidamente como ocorre a geração de energia por meio de uma usina nuclear. De modo simplificado, um reator nuclear é onde ocorre a reação de fissão nuclear para a geração de energia. A fissão consiste na quebra de um átomo pesado, como é o caso do urânio 235 (^{235}U), pelo impacto de um nêutron gerando átomos menores além da liberação de dois ou três nêutrons que mantêm a reação em cadeia e de energia térmica - utilizada para aquecer a água e mover as turbinas (CNE). Em sua explicação, Legasov se refere aos nêutrons como balas que irão atingir as pastilhas combustíveis.

Já em Pripjat e com posse das medidas de um dosímetro de alta capacidade (15 mil Roentgen), Legasov se esforça para explicar a magnitude do acidente dizendo “o fogo que estamos vendo emite o dobro de radiação da bomba de Hiroshima” (30min04s). A partir de então, as ações são pensadas de modo a conter o incêndio e a contaminação, sendo sugerida a utilização de boro e areia. O boro é empregado como absorvedor de nêutrons, resultando na formação de isótopo de boro. Por tal motivo, o boro pode ser utilizado como agente moderador das reações nucleares, uma vez que capturando nêutrons livres, as reações de fissão nuclear são desaceleradas e podem ser controladas no interior de reatores nucleares por meio das hastes de controle (CNE; PRASS, 2007).

A imagem de que o cientista está “acima do bem e do mal” e que por consequência suas ações tomam caráter neutro e imparcial, ignoram as complicadas relações que existem entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS) (GIL-PEREZ et al, 2001). Desta forma, quando questionado se o incêndio em Chernobyl era motivo para preocupação, Legasov nega o perigo, tendo em mente a influência do estado de não causar pânico ‘desnecessário’ na população em relação ao seu posicionamento científico.

- Episódio 3: “Open Wide, O Earth”

Ao descobrir que a zona de exclusão (área em que a moradia é proibida por estar contaminada) teve uma delimitação inferior, 30 Km, ao que havia previamente sugerido, Legasov se irrita e fala para Shcherbina “talvez eu passe tempo demais em meu laboratório, ou talvez seja burro. É assim mesmo que tudo funciona? Uma decisão desinformada e arbitrária, que custará não sei quantas vidas feitas por um agente do aparato?” (09min04s). Adiante, Legasov ainda questiona Gorbachev sobre a decisão de zona de exclusão de apenas 30 Km, Gorbachev o responde “não quero perguntas” (13min28s). Em ambos os momentos citados, é demonstrada a influência que o governo soviético exerceu sobre o conhecimento científico, não reconhecendo a gravidade do acidente e deslegitimando as contribuições científicas apresentadas, o que ainda ficou explícito na demora da URSS para assumir o acidente, só ocorrido após a detecção de radiação pela Suécia e a divulgação de imagens de satélites espíões (SUGUIMOTO; CASTILHO, 2012; PIZZINGA, 2020). As imagens de evacuação de Pripjat encerram o episódio anterior.

Para manter a estabilidade do estado soviético, as informações do acontecido na usina de Chernobyl na madrugada do dia 26 de abril de 86 foram ocultadas para não colocar dúvidas sobre o potencial nuclear da União Soviética e não gerar desconfiança no estado por parte da

população. Desta forma, a população não possuía conhecimento dos riscos da radiação e do seu alcance, bem como os métodos de proteção. Por consequência, os Estados Unidos se tornaram a única fonte de informações, apesar de que estas normalmente eram deturpadas, uma vez que estando em um contexto de polarização ideológica, era de interesse minar a credibilidade da União Soviética (DIEPPA, 2019).

Em uma conversa com Shcherbina, Legasov descreve o que acontecerá com a saúde das pessoas expostas à radiação:

“Com o nível que alguns foram expostos, a radiação ionizante desintegra a estrutura celular. A pele forma bolas, fica vermelha e depois preta. Depois vem um período de latência. Os efeitos imediatos passam. O paciente parece estar se recuperando. Saudável até, mas não está. Geralmente isso só dura de um a dois dias. Aí os danos celulares começam a se manifestar. A medula óssea morre. O sistema imunológico entra em colapso. Os órgãos e o tecido mole começam a se decompor. As artérias e veias vazam como uma peneira (...) e dentro de três dias a três semanas você está morto (...). Nós recebemos uma dose contínua, mas não tanto. Não a ponto de matar as células, mas consistente o bastante para danificar nosso DNA, então com o tempo câncer ou anemia aplástica. De qualquer forma fatal” (14min29s – 15min58s).

Os efeitos descritos por Legasov são devidos à exposição à radiação ionizante que quando atinge uma molécula do corpo, como o DNA, e arranca um elétron, leva a sua desestabilização e cisão (OKUNO, 2013). Os efeitos biológicos resultantes podem durar dias, semanas ou anos e podem ser classificados como reações teciduais (quando há exposição à alta dose e acima de determinado valor, tendo como principal efeito a morte celular) e efeitos estocásticos (que podem ser induzidos por qualquer dose e levam a alterações de células normais, provocando efeitos hereditários e câncer) (OKUNO, 2013). Ao longo dos episódios observamos vários personagens sofrendo estes efeitos em maior ou menor grau.

Assim como em outros momentos apresentados na série, na preparação para o sepultamento dos trabalhadores que faleceram por conta da radiação são utilizados caixões de chumbo e ainda é utilizado o concreto nas covas. De acordo com a Agência Internacional de Energia Atômica, materiais de alta densidade como o chumbo, concreto, aço e outros metais blindam de modo a reduzir ou controlar a radiação emitida (IAEA, 2013).

- Episódio 4: “A felicidade de toda a humanidade”

Após um evento nuclear como o que ocorreu em Chernobyl, ocorre a dispersão dos radionuclídeos pela atmosfera que posteriormente se depositam sobre a terra, em um fenômeno chamado de “fallout” (FIGUEIRA, CUNHA, 1998). Por esta razão, vemos cenas na série em que a camada superficial da terra e as plantações (que inclui florestas) são retiradas, as ruas são

lavadas, e além disso, equipes de controles de animais eliminam os animais que encontram dentro da zona de exclusão para evitar o risco de disseminação da contaminação.

Na limpeza do local deveriam ser retirados todos os detritos do telhado do reator 4. Para isso foi solicitado a utilização de robôs, que controlados remotamente, poderiam executar a tarefa. Entretanto, durante os testes de trabalho, o veículo lunar que estava sendo utilizado, perde a comunicação por conta da radiação existente. Veículos lunares são projetados para suportar a radiação espacial, que podem provocar efeitos graves nos sistemas eletrônicos, como a degradação de materiais semicondutores. As partículas que se destacam por atacar os sistemas eletrônicos são elétrons, nêutrons, partículas α e β , além de raios X e radiação γ (STRASSINOPOUOS; RAYMOND, 1988).

Nas cenas seguintes, acompanhamos então Khomyuk tentando acessar alguns documentos sigilosos na biblioteca de Moscou, porém, apenas um arquivo foi liberado e deste ainda haviam sido removidas duas páginas. Mais tarde, Khomyuk informa Legasov acerca deste artigo que tratava da existência de uma falha nos reatores RBMK conhecida desde 1975. Como este conhecimento foi escondido, havia uma visão dogmática e fechada da impossibilidade de tais erros, demonstrando novamente a política de sigilo de estado no contexto da Guerra Fria, o que levou a omissão de informações.

Exibindo as causas que levaram ao acidente, Khomyuk pede à Legasov que as exponha na Agência Internacional de Energia Atômica, em Viena, entretanto ele recusa a passar tal risco. O cientista não está às margens da sociedade. Suas ações são influenciadas pelo contexto geral em que se encontra. Quando aceitamos a ciência como atividade humana (logo sujeita a agentes condicionantes) e uma construção social (logo determinada pelo meio em que se desenvolve), é preciso admitir que a dita neutralidade científica não é apenas difícil, como também um mito (RIVERO; WAMBA, 2011). Assim, ainda que o “correto” seria de fato divulgar as informações, as decisões de Legasov são pautadas por parcialidade e envoltas por dilemas pessoais e profissionais extra científicos (FORATO et al, 2011; GIL-PÉREZ et al, 2001).

A partir de meados do século 20, a União Soviética conseguiu se colocar como uma potência científica mundial, realizando muitos feitos como o Sputnik e os primeiros homens e animais a visitarem o espaço. Entretanto, fato comum era a perseguição política sofrida pelos cientistas soviéticos que contrariavam o discurso oficial do Estado e dos riscos da intervenção do Estado nas pesquisas (SILVA NETO, 2017; GLEMBOTSKY, 2013). Esse posicionamento

levou a alguns retrocessos científicos, já que tudo que parecesse ciência burguesa aos olhos do Estado era reprimido, da genética à psicanálise (SILVA NETO, 2017; GLEMBOTSKY, 2013).

- Episódio 5: “Memória Eterna”

Logo no início deste episódio, Khomyuk mais uma vez tenta convencer Legasov a relatar a verdade ao júri que será constituído por membros da comunidade científica, por considerar que o compromisso com a população os fará pressionar o estado na realização dos devidos reparos (11min53s). Entretanto, novamente necessitamos voltar o olhar para o fato de os cientistas não serem neutros e imparciais. Já era de conhecimento que oposições aos discursos oficiais levavam a perseguição e ameaças, afastando os cientistas de suas pesquisas. É possível ainda fazer um paralelo com o que ocorreu no primeiro episódio, em que os operadores tentam contrariar a ordem de Dyatlov para continuar com os testes, mas são repreendidos e ameaçados com a promessa de que não conseguiriam emprego em lugar algum e que ele mesmo se encarregaria disto.

Em essência, neste último episódio acompanhamos o julgamento de Dyatlov, Fomin e Bryukhanov ocorrido em 1987, um ano após a explosão.

No depoimento de Shcherbina (17min00s – 20min51s), é exposto que se tratava de um teste de segurança para o caso de interrupção do fornecimento de energia por conta de um blecaute ou ataques. Isso porque as usinas nucleares não só produzem energia elétrica, mas também consomem para acionar as bombas utilizadas para resfriar o núcleo, por exemplo. Assim, os testes se concentravam em verificar se o turbogerador trabalhando por inércia enquanto o reator estivesse desligado, forneceria energia suficiente para manter as bombas de resfriamento até que as bombas à diesel entrassem em operação (CNEN, 1986). Em suma, estavam sendo testados sistemas ativos de segurança que devem agir de forma redundante, ou seja, caso um sistema entre em falha, outro passa a funcionar (CNEN).

Já Khomyuk aponta os erros de natureza humana que culminaram no acidente (21min26s – 26min58s). Novamente somos levados aos momentos anteriores ao acidente e durante a realização dos testes. Como apontado por Khomyuk, os testes estavam programados para acontecerem às 14h00 do dia 25 de abril de 1986 e neste horário o reator já operava em meia potência (1600 MW), entretanto por conta de um aumento da demanda energética os testes foram adiados para o próximo turno (SIGUIMOTO; CASTILHO, 2014). Isso implica que os

operadores do turno da noite não estavam preparados ou ao menos estavam cientes da realização dos procedimentos.

Por fim, Legasov então começa a explicar a problemática de natureza científica criada, e a obra nos leva novamente a sala de controle onde acompanhamos os passos até a explosão (27min49s – 35min35s e 41min44s – 53min30s). Como já supracitado, o reator operou a meia potência por mais de 10 horas, até que às 00h05 do dia 26 de abril foi dada continuidade à redução até 720 MW (de acordo com as normas de segurança da usina, era seguro executar os testes em uma faixa entre 700 e 1000 MW). Entretanto, por erro operacional, a potência do reator caiu a níveis inferiores a 30 MW, o que deu início ao processo de envenenamento por xenônio-135 (CNEN, 1986; SIGUIMOTO; CASTILHO, 2014). Este gás é um dos produtos da fissão do urânio e um forte absorvedor de nêutrons (assim como o boro). Com o reator funcionando normalmente, o xenônio-135 não representa problemas, entretanto, a baixa potência, o xenônio continua sendo formado, tanto pela fissão como pelo decaimento do iodo-131, e impedindo o pleno funcionamento do reator (DECCÓ, 1997). Nestes casos seria recomendado que o reator fosse desligado por pelo menos 24 horas para o consumo do xenônio 135 e os testes adiados (CNEN, 1986; SIGUIMOTO; CASTILHO, 2014). Entretanto, por ordens de Dyatlov, os operadores continuaram a conduzir os testes.

Devido a presença de xenônio-135, não era possível subir a potência do reator. Foi então optado pela remoção das barras de controle – permanecendo apenas 6 de um total de 211 barras – e paralelamente foram ligadas quatro bombas de água adicionais, ficando com um total de 8 bombas, reforçando o sistema de refrigeração do núcleo. Quando o teste realmente começou, foram fechadas as válvulas de entrada da turbina e o turbogerador foi desligado, diminuindo o fluxo de água no núcleo. Inicia então um abrupto aumento de potência do reator, o que levou os operadores a acionarem o botão AZ-5, um dispositivo de emergência para inserção das barras de controle que deveriam auxiliar na redução da potência. Entretanto, foi notado um aumento elevado na potência, por conta do deslocamento de vapor provocado pelas pontas das barras de controle, compostas de grafite. Isso levou a um aumento de pressão interna e posteriormente à explosão (CNEN, 1986; SIGUIMOTO; CASTILHO, 2014).

Neste julgamento, os três réus foram condenados a 10 anos de prisão.

A série se despede com as cenas iniciais do primeiro episódio em que Legasov grava seus relatos em fitas e põe fim à própria vida.

5.1.3 Pós acidente de Chernobyl: contextualização

Após os acidentes de Three Mile Island e Chernobyl, algumas mudanças ocorreram no cenário mundial de energia nuclear. Havia um consenso de que normas mais rígidas quanto à segurança nuclear deveriam ser tomadas. Desta forma, a AIEA criou o Grupo Internacional de Aconselhamento em Segurança Nuclear (INSAG) que tinha como propósito a troca de conhecimentos sobre aspectos relevantes para segurança, além de formular princípios de segurança. Os INSAG-3 e INSAG-4 voltaram o olhar uma cultura de segurança para garantir que padrões de segurança fossem alcançados (CARVALHO, 2009; MARIZ).

Estas ações deram origem ainda a projetos de usinas com sistemas passivos de segurança, ou seja, que independem da interferência do operador (CARAJILESCOV; MOREIRA, 2008).

Atualmente o Brasil conta com duas usinas nucleares em operação: Angra 1 e Angra 2, os quais representam cerca de 3% da matriz elétrica brasileira. Os reatores da usina de Angra utilizam reatores PWR (reator de água pressurizada) uma tecnologia diferente da presente nos reatores RBMK que era utilizada em Chernobyl (ELETROBRAS, 2017).

Diferentemente de Chernobyl, os reatores da usina de Angra além de possuírem uma contenção de concreto, possuem ainda uma contenção de aço que atua como uma barreira para impedir que o material radioativo escape para o meio ambiente (MARIZ). Para além, Angra utiliza água pressurizada como material moderador (reatores RBMK utilizam o grafite), empregado com a finalidade de reduzir a velocidade de nêutrons rápidos produzidos na fissão (PERROTTA, 1999; ELETROBRAS, 2017). Com a temperatura elevada ocorreu a combustão do grafite, que acabou por maximizar as consequências do acidente de Chernobyl, uma vez que arremessou para fora do edifício parte do material radioativo. No caso de reatores PWR isso não ocorreria já que a água não entra em ignição quando aquecida (CNEN).

A principal vantagem de uma usina nuclear é a grande quantidade de energia gerada utilizando pouco combustível quando comparado com a queima de óleo e de carvão.

Pode-se também citar a área de construção. Uma usina nuclear demanda um pequeno espaço de construção quando comparado com outras fontes energéticas como as hidroelétricas, que necessitam da alagação de grandes áreas para a criação de grandes represas, impactando na vida da população ribeirinha, fauna e flora, além da liberação de gás metano que contribui para o aquecimento global (CARAJILESCOV; MOREIRA, 2008).

Outro importante diferencial é a produção de vapor de água, o qual contribui menos para o aquecimento global quando comparado com o gás carbônico (CO₂) produzido nas usinas termelétricas convencionais na queima dos combustíveis (CARAJILESCOV; MOREIRA, 2008; MARIZ).

5.2 Discussão dos textos complementares

Tendo realizado a análise da série Chernobyl, foram estruturados ainda dois textos aos professores da educação básica, com o intuito de que sirvam como material para fundamentar a abordagem teórica nas aulas de química.

É importante ressaltar que estes textos podem ser utilizados separadamente um do outro pelo professor, a depender de como estes assuntos serão trabalhados em sala de aula. Os textos contam com linguagem simples de modo a oportunizar a melhor compreensão dos leitores. Ademais, os textos contam com box de “Para Saber Mais”, em que são sugeridas leituras para aprofundar os temas tratados nos textos.

5.2.1 Texto 1: O que é essa tal de radioatividade

O primeiro texto intitulado de “O que é essa tal de radioatividade?” (Apêndice 1) tem por objetivo apresentar uma visão geral da radioatividade, dispondo um pequeno apanhado histórico de sua descoberta e as suas implicações na época. Ainda como subtópico do texto, é exposto a explicação teórica da radioatividade, levantando a ocorrência das emissões radioativas, os efeitos biológicos e alguns empregos da química nuclear na sociedade.

Alguns pontos da história do desenvolvimento da radioatividade são abordados e podem ser discutidos pelos professores em sala de aula com seus alunos, como no trecho a seguir sobre os Prêmios Nobel dados a Marie Curie:

Entretanto, para Marie foi uma batalha dura, tendo que ir na contramão de ideias que a colocavam como mera figura de apoio do marido (...). Novamente, a premiação de Marie foi contestada, desta vez por conta de detalhes da sua vida pessoal e não pelas suas contribuições à ciência (p. 1).

Estas contestações sobre o mérito de Marie ao Prêmio Nobel estão intimamente relacionadas ao período histórico que se passava e por ser mulher. Historicamente, a ciência não é vista como área de atuação de mulheres, especialmente até os anos iniciais do século XX em que as mulheres eram figuradas como assistentes, não tendo a possibilidade de levar a cabo seus projetos científicos (CARTAXO, 2012). Levantar essa questão de gênero na ciência dentro da sala de aula se torna importante para ao menos tentar dissipar este estereótipo ostentado

pelos filmes e desenhos animados, por exemplo. Assim, como destacado por Gil-Pérez et al (2001) em seu texto sobre as visões deformadas da ciência, o trabalho científico é por vezes encarado como reservado a um grupo restrito e superdotado, normalmente homens. Como historicamente as mulheres foram escanteadas na área científica, ao pensar quais são os grandes nomes da ciência vinculados às descobertas, são facilmente pontuados nomes como Antoine Lavoisier, Niels Bohr e John Dalton, enquanto que um grande nome feminino na área da química e comentado no ensino médio se restringe à Marie Curie. Apenas mais recentemente essa realidade começa a mudar de modo ainda tímido.

Além disso, o texto aborda que, diferentemente da visão predominantemente maligna que temos hoje em dia quanto à radioatividade, na época de sua descoberta, este fenômeno foi tomado como revolucionário, sendo a solução para inúmeros problemas. O trecho a seguir foi extraído do texto “O que é essa tal de radioatividade?”:

A descoberta da radioatividade gerou grande alvoroço na sociedade por ser um fenômeno distinto dos que já eram relatados pela ciência da época. Isso impulsionou a criação de um mercado de produtos com radioatividade natural ou adicionada, desde produtos farmacêuticos até produtos de beleza (p. 1).

Se atualmente possuímos uma concepção mais cautelosa em relação à radioatividade, isso se deve a um processo progressivo de evolução dos conhecimentos científicos, incorrendo na ideia de que a ciência não nasce pronta e acabada, mas que com o passar do tempo, sofre mudanças. Não mencionar esta parte inicial da utilização da radioatividade, por exemplo, transmite a imagem de que a ciência é aproblemática e ahistórica, citadas por Gil-Pérez et al (2001) como visões deformadas da ciência que se transmitem no ensino.

Ademais, o texto aborda além do aspecto histórico, também a parte conceitual de radioatividade, como pode ser visto no seguinte trecho.

É comum que após as emissões α e β , os núcleos ainda permaneçam instáveis e neste caso sofre a emissão de radiação γ , uma radiação eletromagnética da mesma natureza da luz visível ou do raio X, porém de comprimento de onda menor e, portanto, mais energética (p. 2).

Mesmo que este trecho leve aos danos que a exposição à radiação pode causar, no texto ainda são mencionados alguns empregos da química nuclear na sociedade, como pode ser visto no trecho “Em contrapartida, há diversos usos dos radioisótopos e suas emissões empregados em nossa sociedade...” (p. 2). Deste modo, o texto vai ao encontro com o proposto pela BNCC (2018), quando destaca que o ensino de radioatividade deve abordar suas potencialidades. Um ensino que não aborde as contribuições da química nuclear para a sociedade, se trata de um “ensino por omissão”.

5.2.2 Texto 2: Usinas nucleares: como funcionam?

O segundo texto, intitulado de “Usinas nucleares: como funcionam” (Apêndice 2) tem por propósito a abordagem de como as usinas nucleares funcionam, desde a reação de fissão nuclear até a geração de eletricidade. Ademais, expõe algumas vantagens destas usinas quando comparadas com outras, como termelétricas e hidrelétricas, além de trazer brevemente algumas questões de segurança.

Desta forma, mencionando alguns equipamentos eletrônicos, este texto inicia enfatizando a dependência que a sociedade moderna tem da eletricidade. Nesse sentido, são apresentadas algumas fontes de eletricidade, em especial as usinas nucleares, que como destacado no texto “correspondem a cerca de 10% da matriz elétrica mundial e cerca de 3% da matriz elétrica brasileira” (p. 1).

Neste sentido, de modo simplificado, é descrita a reação de fissão do urânio, como no trecho “A fissão consiste na quebra de um átomo pesado, como é o caso do urânio-235, pelo impacto de um nêutron moderado (...)” (p.1). Uma imagem ilustrativa da reação de fissão nuclear em cadeia apresentada e a partir dela, é comentado um modo de conter a reação em cadeia por meio de hastes de controle, que “são feitas de boro ou cádmio, os quais são empregados como absorvedores de nêutrons, resultando na formação dos seus isótopos” (p. 1).

Com o auxílio de uma figura que esquematiza uma usina nuclear, são explicados os principais circuitos existentes, como exemplificado no trecho extraído do texto:

Na Figura 2, o circuito primário na (cor amarela) é o utilizado para refrigerar o núcleo e assim a própria água deste circuito é radioativa (...).

Por fim, as potencialidades da utilização da energia nuclear são pontuadas, fazendo um paralelo com as principais fontes de energia utilizadas no Brasil, como nos trechos:

A principal vantagem de uma usina nuclear é a grande quantidade de energia gerada utilizando pouco combustível quando comparado com a queima de óleo e de carvão (p. 2).

Uma usina nuclear demanda um pequeno espaço de construção quando comparado com outras fontes energéticas como as hidroelétricas (...) (p. 2).

Assim, considerando que este texto contempla os principais aspectos do funcionamento de uma usina nuclear, contando ainda com imagens ilustrativas, pode-se considerar que o texto sirva como material suplementar para os professores e além disso, como está estruturado com linguagem acessível, pode ser ainda disponibilizado como material de consulta para os estudantes.

6 Conclusões

Diante do exposto, verificou-se que a série Chernobyl possui potencial para se tornar um recurso didático para inserção da temática radioatividade sob o contexto da História da Ciência em sala de aula, ainda mais quando aliado às discussões trazidas na análise da obra, permitindo um debate em torno de questões éticas, ambientais, políticas, dentre outros.

Quanto às discussões da História da Ciência que podem ser levantadas ao longo dos cinco episódios, são demonstrados, com maior ou menor incidência, cenas e falas que vão ao encontro a desmistificar as imagens deformadas do conhecimento científico, como discutido por Gil-Pérez et al (2001).

Entretanto, vale destacar que quando se opta por obras audiovisuais como recurso didático, os docentes devem levar em consideração a narrativa da história e a liberdade poética comumente presente nessas obras, uma vez que os estudantes podem receber as informações da obra como uma recriação fiel da realidade, sendo necessário um debate após o uso deste recurso. Neste sentido, é possível citar que a obra Chernobyl não relata a divulgação de informações enganosas pelos EUA, por exemplo.

Ademais, os textos complementares produzidos, além de exercer papel como material de apoio teórico para os docentes na aplicação de conteúdos de radioatividade, sua linguagem acessível ainda possibilita a disponibilização dos mesmos como material de consulta aos estudantes.

Ainda que a abordagem de recursos audiovisuais em sala de aula apresente algumas dificuldades por uma série de questões, tais como demanda de tempo e recursos tecnológicos, o acesso do docente à série, à análise realizada e aos textos produzidos, pode propiciar uma reflexão quanto ao conteúdo a ser ensinado, possibilitando uma visão diferenciada do mesmo.

Vale destacar que a utilização da série Chernobyl como recurso didático nas aulas de química, bem como a aplicação dos textos complementares, não foi avaliada neste estudo, deixando em aberto para investigações posteriores.

7 Referências

- ALEXIEVITCH, Svetlana. *Voices De Tchernóbil - A História Oral Do Desastre Nuclear*. Companhia das Letras, 2016.
- ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education*, v. 13, p. 179-195, 2004. In: FORATO, Thaís Cyrino de Melo; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de Andrade. *Historiografia e natureza da ciência na sala de aula*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.
- ANDRADE, Severiano Antonio de. *Radiocontaminação ambiental pesquisa de Po210 e Ra226 no ar e na água*. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1981.
- BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F.; TRINDADE, L. S. P. *História da Ciência para formação de professores*. São Paulo: Editora da Física, 2014.
- BELTRAN, Maria Helena Roxo; BARP, Ediana. *A história da Ciência na formação continuada de professores de Ciências: alguns desafios e perspectivas*. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC – Florianópolis, SC – 3 a 6 de julho de 2017.
- BRASIL. Base Nacional Comum Curricular (BNCC). *Educação é a Base*. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/imagens/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 22 abr. 2020.
- BRITO, A. E. Sobre a formação e a prática pedagógica: o saber, o saber-ser e o saber-fazer no exercício profissional. *Linguagens, Educação e Sociedade*, Teresina, n. 12, p. 45-50, jan/jun. 2005. IN: VITAL, Abigail, GUERRA, Andreia. *Textos para ensinar física: princípios historiográficos observados na inserção da história da ciência no ensino*. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 22, n. 2, p. 351-370, 2016.
- BRUZZO, Cristina. O documentário em sala de aula. *Ciência & Ensino*, v. 3, n. 1, p. 222-225, 1998.
- CALLEGARIO, Laís J.; HYGINO, Cassiana B.; ALVES, Vanessa Leandro de O.; LUNA, Fernando José; LINHARES, Marília P. *A História da Ciência no Ensino de Química: Uma Revisão*. *Revista Virtual de Química*, v. 7, n. 3, p. 977-991, 2015.
- CARAJILESCOV, Pedro; MOREIRA, João Manoel Losada. *Aspectos técnicos, econômicos e sociais do uso pacífico da energia nuclear*. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 60, n. 3, set. 2008.
- CARTAXO, Sandra Maria Carlos. *Gênero e ciência: um estudo sobre as mulheres na física*. Unicamp, Campinas, 2012. Disponível em: [SUMÁRIO \(unicamp.br\)](#). Acesso em 08 abr. 2021.
- CARUSO, F.; OGURI, V. *Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*, Editora LTC, 2ª ed., 2016.
- CARVALHO, José Antônio Barreto de. *Uma proposta de agrupamento de indicadores para avaliação da efetividade do gerenciamento da segurança de usinas nucleares*. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, mar. 2009.
- Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). *Acidente de Chernobyl (causas e consequências)*. Relatório DR nº 134/86 – 2/2. Setembro 1986.
- Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). *Apostila educativa Energia Nuclear*. Disponível em: https://portalnuclear.cnen.gov.br/Material_didatico/apostilas/energia.pdf. Acesso em: 03 mar 2021
- CORDEIRO, Marinês D.; PEDUZZI, Luiz O. Q. *Entre os transurânicos e a fissão nuclear: um exemplo do papel da interdisciplinaridade em uma descoberta científica*. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 31, n. 3, p. 536-563, dez. 2014.

CORDEIRO, Marinês Domingues; PEDUZZI, Luiz O. Q. Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 35, n. 3, jul/set. 2013.

CORTEZ, Juliano. O legado de Madame Curie: Uma abordagem CTS para o ensino da Radioatividade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/104574/000940426.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 abr. 2020.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. Cortez Editora, São Paulo, 2002.

DIEPPA, María del Carmen Regalado. Chernóbil: Incompetencia, difusión y manipulación de la información. 2019, 35 f. Trabajo de Conclusión de Curso. Facultad de Ciencias Políticas, Sociales y de la Comunicación, Universidad de la Laguna, España, 2019.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. *Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1979.

ELETROBRAS. Atualização do padrão técnico e de segurança do Projeto de Angra 3 (relatório). Rio de Janeiro, 2017.

FERRO, Marc. *Cinema e História*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1992.

FIGUEIRA, Rubens C. L.; CUNHA, Ieda I. L. A contaminação dos oceanos por radionuclídeos antropogênicos. *Química Nova*, v. 21, n. 1, p. 73-77, 1998.

FORATO, Thaís Cyrino de Melo; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de Andrade. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.

FRANCELIN, Marivalde Moacir. Ciência, senso comum e revoluções científicas: ressonância e paradoxos. *Ci. Inf.*, Brasília, v.33, n. 3, p.26-34, set./dez. 2004.

GIL PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernández; ALÍS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GLEMBOTZKY, Mauricio Schoijet. Libertad académica y represión: una ojeada histórica. *Alegatos*, n. 84, p. 607-634, mai/ago 2013.

Itaipu Binacional. Geração. Disponível em: <https://www.itaipi.gob.br/energia/geracao>. Acesso em: 17 abr. 2021.

MARIZ, Carlos Henrique da Costa. *Novas Usinas Nucleares no Brasil: Uma necessidade para o desenvolvimento do país*. Disponível em: <http://www.aben.com.br/Arquivos/402/402.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

MARQUES, Paulo. Os deletérios impactos da crise nuclear no Japão. *Estudos Avançados*, São Paulo, n. 26, v. 74, 2012.

MARTINS, Roberto de Andrade. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, n. 7, p. 27-45, jun. 1990.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história da ciência e seus usos na educação. 2006. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/PDF/RAM-livro-Cibelle-Introd.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2020.

MATTHEWS, M. R. *História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 12, n. 3, 1995.

- MERÇON, Fábio; QUADRAT, Samantha Vlz. A Radioatividade e a História do Tempo Presente. *Química Nova na Escola*, n. 19, p. 27-30, 2004.
- NAPOLITANO, Marcos. Como usar o cinema na sala de aula. São Paulo: Contexto, 2003.
- OKUNO, Emico. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 185-199, 2013.
- OKUNO, Emico; YOSHIMURA, Elisabeth. Física das Radiações. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- OLIVEIRA, Ubiratan Leal de. Abordagem da radioatividade nos livros didáticos de química do PNL D 2015-2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação), Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Campina Grande, 2019.
- PERROTA, José Augusto. Curso de Introdução à engenharia do núcleo de reatores. Julho de 1999.
- PIZZINGA, Vivian Heringer. Notas sobre Chernobyl: análise de alguns aspectos relacionados às situações de trabalho da usina nuclear de Pripjat. *Caderno de Psicologia Social do Trabalho*, v. 23, n. 2, p. 143-156, dez. 2020.
- PRASS, Alberto Ricardo. A energia nuclear hoje: uma análise exploratória. Universidade Federal Do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- REZNIK, Gabriela; MASSARANI, Luisa; MOREIRA, Ildeu de Castro. Como a imagem de cientista aparece em curtas de animação? *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, jul.-set. 2019, p.753-777.
- RIVERO, Ana; WAMBA, Ana María. Naturaleza de la ciencia y construcción del conocimiento científico. La naturaliza de la ciencia como objetivo de enseñanza. *Biología y Geología. Complementos de formación disciplinar*, p. 9-30, 2011.
- SAITO, F. História da Ciência e Ensino: em busca de diálogo entre historiadores e educadores. *História da Ciência e ensino: construindo interfaces*, São Paulo: São Paulo, 1, p. 1-6, 2010.
- SCHIRMER, S. B. R.; SAUERWEIN, I. P. S. Recursos Didáticos e História e Filosofia da Ciência em sala de aula: uma análise em periódicos de ensino nacionais. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, p. 61-77, 2014.
- SILVA NETO, Climério. A ciência como elemento da construção do socialismo na União Soviética. São Paulo: Princípios, ed. 151, nov-dez 2017.
- SILVA, Cibelle Celestino (org.). Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- SILVA, Daniel Reis; HENRIQUES, Marcio Simeone. Relações públicas no cinema: o uso de filmes e séries como recursos didáticos. *Organicom*, São Paulo, n. 32, p. 86-95, jan/abr 2020.
- SOUZA, D. C. B.; VICENTE, R.; ROSTELATO, M. E. C. M.; BORGES, J. F.; TIEZZI, R.; JUNIOR, F. S. P.; SOUZA, C. D.; RODRIGUES, B. T.; BENEGA, M. A. G.; SOUZA, A. S.; SILVA, T. H. Chernobyl – o estado da arte. In: International Joint Conference RADIO 2014, Gramado – RS, ago. 2014.
- SOUZA, Salete Eduardo de. O USO DE RECURSOS DIDATICOS NO ENSINO ESCOLAR. In: I Encontro de Pesquisa em Educação, IV Jornada de Prática de Ensino, XIII Semana de Pedagogia da UEM: “Infância e Práticas Educativas”. 2007.
- STASSINOPOULOS, E. G.; RAYMOND, JAMES P. The Space Radiation Environment for Electronics. *Proceedings of the IEEE*, v. 76, n. 11, p.1423-1442, nov. 1988.
- SUGUIMOTO, Djmes Yoshikazu de Lima; CASTILHO, Maria Augusta de. Chernobyl – A catástrofe. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações*, v. 12, n. 2, p. 316-322, ago./dez. 2014.

TAUHATA, Luiz; SALATI, Ivan P. A.; PRINZIO, Renato Di; PRINZIO, Antonieta R. Di. Radioproteção e dosimetria: fundamentos. Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, ed. 5, 242 p., 2003.

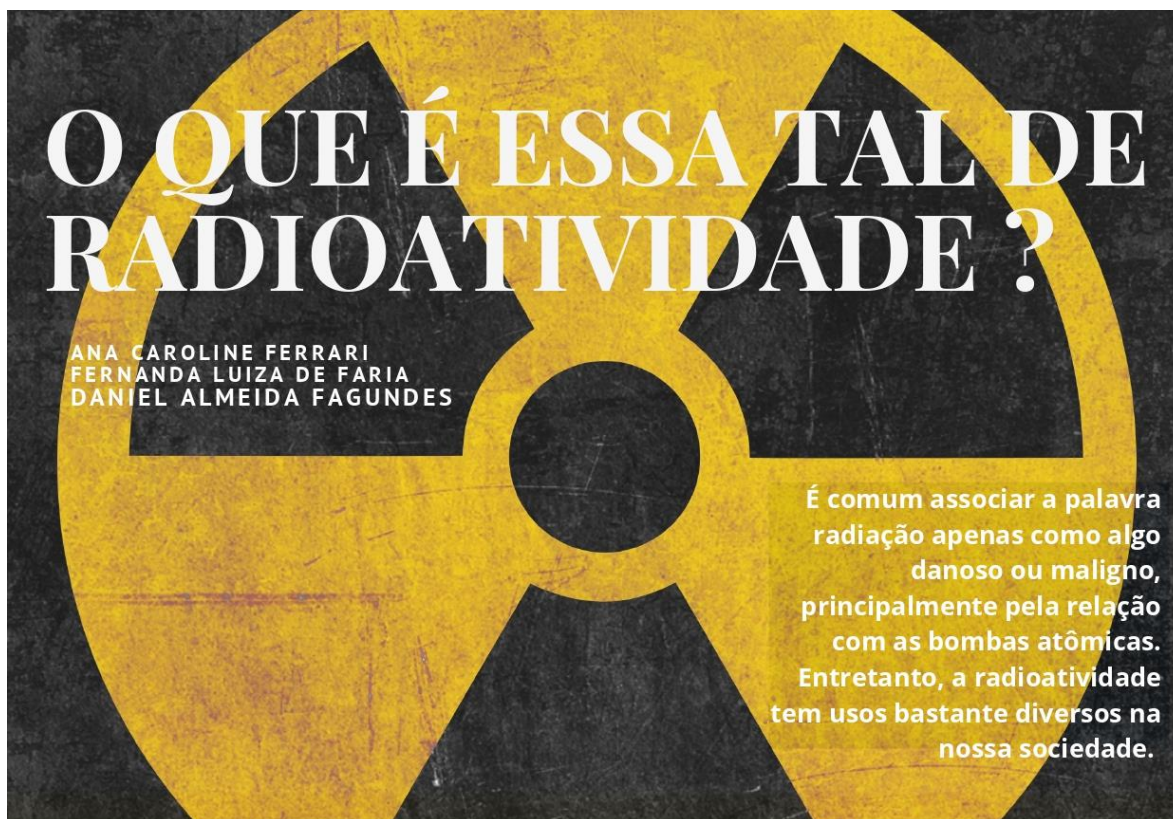
TEIXEIRA, I. A. C. A diversidade cultural vai ao cinema/ organizado por Inês Assunção de Castro Teixeira e José de Souza Miguel Lopes. – Belo Horizonte: Autêntica, 2006.

VIDAL, Paulo Henrique Oliveira; PORTO, Paulo Alves. A história da ciência nos livros didáticos de química do PNLEM 2007. *Ciência & Educação*, v. 18, n. 2, p. 291-308, 2012.

XAVIER, Allan Moreira; LIMA, André Gomes de; VIGNA, Camila Rosa Moraes; VERBI, Fabíola Manhas; BORTOLETO, Gisele Gonçalves; GORAIEB, Karen; COLLINS, Carol Hollingworth; BUENO, Maria Izabel Maretti Silveira. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. *Química Nova*, v. 30, n. 1, p. 83-91, 2001.

8 Apêndice

8.1 Texto complementar 1



Logo após a descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923) e da divulgação das suas propriedades, principalmente a capacidade de observar ossos, diversos cientistas se dedicaram a estudar estes novos raios, entre eles estava Antoine Henry Becquerel (1852-1908). Estudando sais de urânio, Becquerel constatou que estes emitiam raios de natureza diferente do recém descobertos raios X, mesmo quando não haviam sido expostos anteriormente à luz, já que até então achava-se que estes raios eram emitidos apenas quando Becquerel mantinha os sais expostos ao sol de modo a “ativar” sua radiação. O casal de cientistas, Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906) se interessaram pelos escritos de Becquerel e passaram a investigar a origem daquele fenômeno que foi chamado de radioatividade por Marie Curie. A observação de que um minério de urânio, a pitchblenda, emitia mais radiação que o urânio isolado, levou a descoberta dos elementos químicos polônio e o rádio em 1898.

Em 1903, o casal Curie e Becquerel foram laureados com o Prêmio Nobel de Física pela descoberta da radioatividade. Entretanto, para Marie foi uma batalha dura, tendo que ir na contramão de ideias que a colocavam como mera figura de apoio do marido. Em 1911, Marie Curie foi novamente laureada com Nobel, desta vez na área de química, pela descoberta dos elementos polônio e rádio. Novamente, a premiação de Marie foi contestada, desta vez por conta de detalhes da sua vida pessoal e não pelas suas contribuições à ciência.

A descoberta da radioatividade gerou grande alvoroço na sociedade por ser um fenômeno distinto dos que já eram relatados pela ciência da época. Isso impulsionou a criação de um mercado de produtos com radioatividade natural ou adicionada, desde produtos farmacêuticos até produtos de beleza.

PARA SABER MAIS

LIMA, Rodrigo da Silva;
PIMENTEL, Luiz Cláudio Ferreira;
AFONSO, Júlio Carlos. O Despertar da Radioatividade ao Alvorecer do Século XX. Química Nova na Escola, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 94-99, mai. 2011.

CNEN. Apostila Educativa: Aplicações da energia nuclear. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/aplicacoesdaenergianuclear.pdf>

CARVALHO, Regina Pinto, OLIVEIRA, Silva Maria Velasques. Aplicações da energia nuclear na saúde. São Paulo, 2017.

Estes produtos foram amplamente utilizados já que prometiam uma melhor qualidade de vida, a cura de enfermidades, evitar doenças, rejuvenescimento, entre outras aplicações. A Figura 1 apresenta alguns produtos que eram comercializados e suas finalidades.

A utilização desenfreada destes produtos provocou o surgimento de efeitos inconvenientes na população, como queimaduras de pele. Em meados dos anos 20 foram efetuados os primeiros congressos em que se expunham os efeitos deletérios do uso excessivo da radioatividade, o que resultou no abandono dessas práticas.

Mas afinal, o que é esse fenômeno?

A química nuclear é um ramo diferente dos outros tipos de reação estudados em química, pois se trata de um fenômeno que ocorre exclusivamente no núcleo do átomo.

Átomos radioativos são também chamados de radionuclídeos ou radioisótopos. Os núcleos destes átomos radioativos são instáveis e por meio de emissões espontâneas em um processo denominado de desintegração nuclear, é possível que o núcleo atinja a estabilidade. A instabilidade dos núcleos acontece por conta da competição entre a força repulsiva entre prótons e a força nuclear forte (que atua entre próton-próton, próton-nêutron e nêutron-nêutron).

As emissões espontâneas destes radionuclídeos podem ser partículas α e partículas β . As emissões α consistem em partículas formadas por dois prótons e dois nêutrons, e por isso normalmente são denominadas de emissões de núcleos de hélio. Já as emissões β consistem na retirada de elétrons em alta velocidade do núcleo instável. É comum que após as emissões α e β , os núcleos ainda permaneçam instáveis e neste caso sofrem a emissão de radiação γ , uma radiação eletromagnética da mesma natureza da luz visível ou do raio X, porém de comprimento de onda menor e, portanto, mais energética.

Quando as partículas α e β e a radiação γ possuem energia suficiente para retirar um elétron de um átomo é dito que se trata de uma radiação ionizante, ou seja, possui a capacidade de ionizar a matéria. No caso de exposição à radiação ionizante, quando esta atinge uma molécula do corpo, como o DNA, e arranca um elétron, leva a sua desestabilização e cisão (OKUNO, 2013). Os efeitos biológicos resultantes podem durar dias, semanas ou anos e podem ser classificados como reações teciduais (quando há exposição à alta dose e acima de determinado valor, tendo como principal efeito a morte celular) e os efeitos estocásticos (podem ser induzidos por qualquer dose e levam a alterações de células normais, provocando efeitos hereditários e câncer)

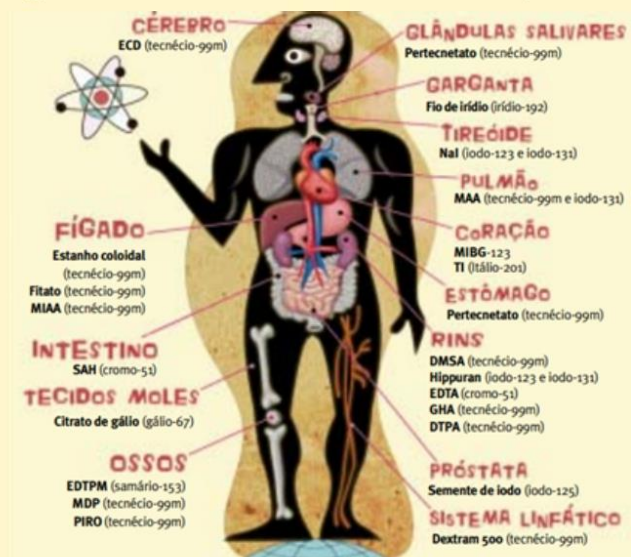
Figura 1: Produtos radioativos e seus usos.

Produto	Emprego
Coquetel fluorescente para bailes e festas	Impressionar os convidados com os efeitos luminosos
Pasta de dentes	Combater queda prematura de dentes, cáries, ativar a digestão bucal e tornar o esmalte brilhante e luminoso
Roleta de cassino fluorescente	Dificultar fraudes
Cigarros	Prevenir enfermidades pulmonares
Protetor auricular	Manter a higiene e esterilizar o canal auditivo
Sabões	Aumentar a eficiência da lavagem dos tecidos
Lâminas de barbear	Remoção mais confortável dos pelos, amaciando e reduzindo a irritação da pele
Alimentos como cerveja, manteiga, chocolate etc.	Abrir o apetite, aumentando a ação digestiva do estômago
Contraceptivos	Matar espermatozoides e esterilizar a vagina, evitando doenças sexualmente transmissíveis
Goma de amido	Aditivo ao sabão, deixar roupas brancas mais brilhantes
Baralho	Tornar o jogo mais emocionante e divertido
Pomada para calçados	Maior durabilidade do brilho

Fonte: LIMA; PIMENTEL; AFONSO, 2011.

Em contrapartida, há diversos usos dos radioisótopos e suas emissões empregados em nossa sociedade. O grande exemplo é a utilização na medicina nuclear, ramo em que os radioisótopos são empregados tanto para o diagnóstico como no tratamento de enfermidades. Os radiofármacos, por exemplo, são injetados no paciente e se concentram no local a ser examinado. Por meio da emissão de radiação é possível detectá-lo e verificar o funcionamento daquele órgão. A Figura 2 apresenta quais radiofármacos são empregados para cada região do organismo.

Figura 2: Radiofármacos utilizados em diferentes áreas do corpo



Fonte: GONÇALVES; ALMEIDA, 2005.

Pode ser utilizado também na agricultura, indústria, paleontologia e principalmente a produção de energia por meio de usinas nucleares.

REFERÊNCIAS: GONÇALVES, Odair Dias; ALMEIDA, Ivan Pedro Salati de. A Energia Nuclear. Ciência Hoje, v. 37, n. 220, out 2005. LIMA, Rodrigo da Silva; PIMENTEL, Luiz Cláudio Ferreira; AFONSO, Júlio Carlos. O Despertar da Radioatividade ao Alvorecer do Século XX. Química Nova na Escola, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 94-99, mai. 2011.

8.2 Texto complementar 2

USINAS NUCLEARES

Como funcionam?

Ana Caroline Ferrari, Fernanda Luiza de Faria e Daniel Almeida Fagundes



A eletricidade é considerada fundamental no cotidiano da sociedade atual. Utilizamos para iluminação, para cozinhar, armazenar alimentos e mover diversas máquinas e equipamentos eletrônicos, como o chuveiro e o computador por exemplo.

A eletricidade pode vir de centrais elétricas, como as hidroelétricas, termoelétricas e usinas nucleares, dentre outras. Especificamente as usinas nucleares correspondem a cerca de 10% da matriz elétrica mundial e cerca de 3% da matriz elétrica brasileira, fornecidos pelas duas usinas em operação: Angra 1 e Angra 2.

Uma usina nuclear funciona de modo semelhante a uma usina termoelétrica, que queima carvão, para aquecer a água gerando vapor, que move as turbinas que geram a energia elétrica.

A fissão consiste na quebra de um átomo pesado, como é o caso do urânio-235, pelo impacto de um nêutron gerando átomos menores além da liberação de dois ou três nêutrons e energia térmica – utilizada para aquecer a água e mover as turbinas.

Como a reação de fissão nuclear libera outros nêutrons que podem atingir outros átomos de urânio-235 ocorre um processo de reação em cadeia. Um modo de controlar a reação é pela utilização de hastes de controle no interior dos reatores.

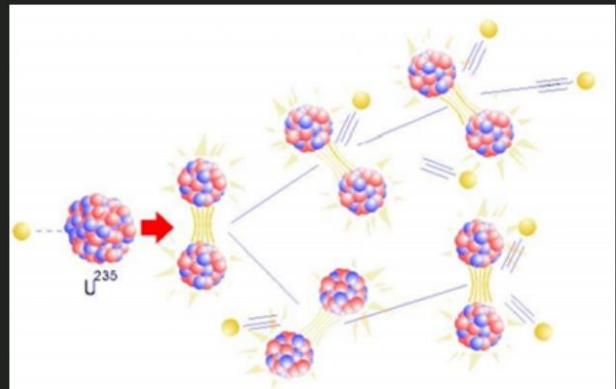


Figura 1: Reação em cadeia do urânio-235. Fonte: Lira (2015).

Estas hastes são feitas de boro ou cádmio, os quais são empregados como absorvedores de nêutrons, resultando na formação dos seus **ISÓTOPOS**. Assim, pela movimentação das hastes é possível aumentar ou diminuir a produção de energia.

Isótopos são átomos de um mesmo elemento químico (mesmo número atômico) porém com massas distintas (diferentes quantidades de nêutrons).



Na Figura 2, o circuito primário (na cor amarela) é o utilizado para refrigerar o núcleo e assim, a própria água deste circuito é radioativa, portanto, isolada em um percurso fechado. Esta tubulação contendo água aquecida passa pelo gerador de vapor onde é resfriada e é bombeada novamente para a refrigeração do núcleo. Este gerador de vapor já compõe o circuito secundário (em azul na Figura 2) em que a corrente de água é aquecida e transformada em vapor que aciona as turbinas. Na sequência, este vapor é condensado e a água é novamente bombeada para o gerador de vapor. A condensação conta com um sistema de refrigeração (em verde na Figura 2), que normalmente utiliza água de um lago, rio ou do mar para compor o processo. Como esta água não entra em contato com o material radioativo, pode ser despejada novamente no meio ambiente sem causar danos por este motivo. Entretanto, pode haver algum impacto na vida aquática pela elevação da temperatura da água.

A principal vantagem de uma usina nuclear é a

grande quantidade de energia gerada utilizando pouco combustível quando comparado com a queima de óleo e de carvão.

Pode-se também citar a área de construção. Uma usina nuclear demanda um pequeno espaço de construção quando comparado com outras fontes energéticas como as hidroelétricas, que necessitam da alagação de grandes áreas para a criação de grandes represas, impactando na vida da população ribeirinha, fauna e flora, além da liberação de gás metano que contribui para o aquecimento global.

Outro importante diferencial é produção de vapor de água, que contribui menos para o efeito estufa quando comparado com o gás carbônico (CO₂) produzido nas usinas termelétricas convencionais na queima dos combustíveis.

Após os acidentes de Three Mile Island e Chernobyl, algumas mudanças ocorreram no cenário mundial de energia nuclear. Havia um consenso de que normas mais rígidas quanto à segurança nuclear deveriam ser tomadas. Assim, a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) criou um grupo internacional para troca de conhecimento sobre os aspectos de segurança, além de formular princípios de segurança.

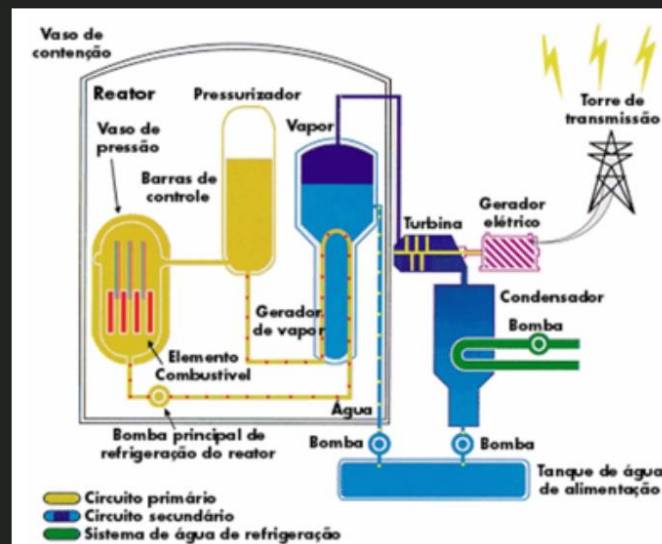


Figura 2: Esquemática do funcionamento de uma usina nuclear. Fonte: Lira (2015).

Para Saber Mais!

História da energia nuclear
<https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/historiadaenergianuclear.pdf>

Referência: LIRA, Elda Vilaça de. Os benefícios do uso da energia nuclear. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015