



Nícolas Ricardo de Melo Alves

**O XADREZ POLÍTICO NUCLEAR: ELABORAÇÃO DE UM TEXTO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA
PARA CONTEXTUALIZAR O ENSINO DE QUÍMICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Brasília – DF

2º/2024



Nícolas Ricardo de Melo Alves

**O XADREZ POLÍTICO NUCLEAR: ELABORAÇÃO DE UM TEXTO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA
PARA CONTEXTUALIZAR O ENSINO DE QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso em Ensino de Química apresentada ao Instituto de Química da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada(o) em Química.

Orientadora: Patrícia Fernandes Lootens Machado

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Mara e Antônio, pela vida, o suporte, o valor aos estudos e todo o amor do mundo necessário para eu me tornar quem sou.

A minha irmã Marina e ao meu cunhado Bruno, por serem o meu maior porto seguro e por me acolherem sempre com todo o carinho do mundo e ao meu irmão Igor, que segue sendo minha maior referência de cientista.

A minha madrinha Dayse, por ter um olhar afetuoso para cada passo que dou.

Agradeço a minha segunda família, meus amigos de toda a vida, Ana Beatriz, Ana Luiza, Gustavo, Júlia e Leonardo. A minha jornada não seria a mesma sem a companhia diária de vocês.

Ao meu amigo Marco por ser a melhor surpresa que a graduação me deu e o maior parceiro durante as aulas noturnas. Aos meus amigos Amanda, Lucas e Ana Luiza por me mostrarem que ainda havia pessoas legais no IQ para conhecer.

A prof.^a Dra. Patrícia Machado, agradeço por toda a paciência, carinho, atenção e disponibilidade para este trabalho. Este trabalho e a graduação em Licenciatura não seriam os mesmos sem nossas conversas e sua empatia nos momentos em que eu apenas queria me isolar de todo mundo. Agradeço por ter me aceitado como aluno em um momento complicado e por toda orientação dada, seja na vida acadêmica ou na minha vida pessoal.

Por fim, agradeço a todos os “fatores entrópicos” que me trouxeram até aqui.

RESUMO

Apesar de ser uma energia limpa, a nuclear enfrenta resistência popular devido à desinformação. Assim, este trabalho propõe a criação de um texto de divulgação científica para ampliar o entendimento sobre sua importância na matriz energética brasileira. Nossa proposta se justifica, pois, a divulgação científica busca democratizar o conhecimento, aproximando a ciência do público leigo e combatendo estereótipos que dificultam essa interação. Diferente da comunicação científica, que se destina a especialistas, a divulgação científica adota uma linguagem acessível e utiliza diversos meios, como literatura, jornalismo e mídias audiovisuais. Essa prática desempenha um papel fundamental na alfabetização científica, permitindo que a população compreenda e participe ativamente de debates sobre temas relevantes, como mudanças climáticas e crises sanitárias. No contexto educacional, os textos de divulgação científica auxiliam na compreensão de conceitos complexos, estimulando o pensamento crítico e o interesse dos alunos. Seu uso em sala de aula deve ir além da simples memorização, incentivando a reflexão e o questionamento sobre ciência e tecnologia. Assim, a divulgação científica se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, contribuindo para uma educação mais equitativa e transformadora. O texto produzido neste trabalho, analisado segundo os critérios de Ribeiro e Kawamura (2005), aborda a importância da diversidade da matriz energética e contextualiza a descoberta e aplicação da energia nuclear, demonstrando como a ciência é um processo coletivo influenciado por fatores históricos e sociais. Além de apresentar conceitos científicos, o texto destaca a influência das decisões políticas e econômicas na aplicação da tecnologia nuclear no Brasil, promovendo uma reflexão crítica no leitor. O TDC também busca contribuir na desconstrução da visão negativa predominante sobre a energia nuclear, enfatizando suas aplicações benéficas e o papel do Brasil no cenário científico global. Dessa forma, a produção se posiciona como uma ferramenta de alfabetização científica e cidadã, estimulando a participação informada em debates sobre ciência e tecnologia.

Palavras-chave: energia e tecnologia nuclear; matriz energética brasileira; divulgação científica; história da ciência - Brasil

LISTA DE ABREVIATURAS

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

TDC – Texto de divulgação científica

SUMÁRIO

Introdução	7
Fundamentação teórica	9
Objetivos.....	16
Metodologia.....	17
Resultados.....	18
Considerações Finais	22
Referências	24
Apêndice	27

INTRODUÇÃO

No dia 23 de janeiro de 2024, o Boletim dos Cientistas Atômicos ajustou o Relógio do Juízo Final para marcar 90 segundos para a meia noite. O Relógio do Juízo Final é um dispositivo simbólico criado em 1947 para representar o quão perto a humanidade estaria de seu fim, uma vez que após o término da Segunda Guerra Mundial, iniciou-se uma corrida pelo desenvolvimento bélico com base em tecnologias e testes nucleares. Em 2025, o relógio atinge sua configuração mais próxima de meia noite, o horário que representaria o fim da raça humana, desde sua invenção: são 89 segundo para a meia noite.

Com a invasão da Rússia aos territórios ucranianos em 2022, o Boletim dos Cientistas Atômicos encara isso como a situação de maior fragilidade que a humanidade já enfrentou se somado às mudanças climáticas, ameaças biológicas, tecnologias disruptivas e o espalhamento de desinformação. Estas preocupações não são em vão, considerando o rápido avanço tecnológico, as temperaturas recordes, a pandemia da COVID-19, além da declaração do presidente russo de estar preparado para uma eventual guerra nuclear caso haja intervenção de outros países no embate Rússia-Ucrânia (Mecklin, 2024).

Para além da segurança internacional, os efeitos do conflito armado revelam diversas fragilidades na organização mundial, entre elas a importância no fornecimento de combustível para diferentes países do continente europeu. Com a possibilidade da aplicação de sanções ao governo russo em função das violações cometidas aos Direitos Humanos na Ucrânia, a União Europeia enfrentou uma crise iminente que explicitou a importância da diversidade na matriz energética dos países constituintes (Corbin, 2024).

Países como a França declararam apoio à uma proibição total das exportações russas, argumento alimentado pela relação do país com fontes nucleares de energia. Pouco tempo depois, em 2023, o país enfrentou instabilidades no seu fornecimento de urânio após terem suas tropas militares expulsas do seu principal fornecedor, o Níger (Liakos, 2023). Chegando ao poder por um golpe de Estado, grupos opositores romperam a relação do país africano com a França, forçando o país europeu a buscar novos sítios de exploração, incluindo no território

brasileiro. O Brasil conta com a oitava maior reserva de urânio e enxergou na instabilidade francesa a possibilidade de um acordo que pode impulsionar a geração de energia elétrica por fontes nucleares (Moliterno, 2024).

Desde a segunda metade do séc. XX, a correlação entre o desenvolvimento científico e o interesse político vigente tem gradualmente se tornado mais evidente, principalmente ao falar em energia nuclear. Intensificada pela proliferação de testes armamentistas e desastres ocorridos em usinas elétricas, a energia nuclear enfrenta cada vez mais um estigma na forma que é enxergada, sendo por vezes desconsiderada como uma opção válida de energia (Ribeiro Junior, 2007). Mesmo se tratando de uma fonte de energia limpa e segura, a população brasileira afirma em sua maioria sentir medo de energia nuclear, assim como não sente segurança perto de uma usina nuclear e não tem interesse em se informar regularmente com o tema (Machado, 2021).

A falta de informações concentradas que discutam a energia nuclear, de maneira acessível e a dificuldade de alcançar a comunidade leiga, pode contribuir na perpetuação deste distanciamento entre a população e as decisões políticas tomadas por grandes representantes. Uma das formas de diminuir esta brecha na participação civil dos processos democráticos pode ser a divulgação científica, como uma maneira de difundir o conhecimento que promove a alfabetização científica e que amparam a emancipação da população no seu senso crítico e de tomada de decisões.

Considerando o que foi mencionado, este trabalho defende o uso da interdisciplinaridade entre temas como energia nuclear e geopolítica e objetiva aproximar estes dois conteúdos por meio da divulgação científica. Uma vez que o entendimento popular dos avanços científicos pode ser visto como peça fundamental no jogo democrático, a formulação de um texto de divulgação científica (TDC) pode contribuir potencialmente na diminuição da defasagem do interesse popular pelo tema, discutindo sua participação na política externa dos Estados, além de disseminar conhecimento, combatendo os presságios e agouros associados a um eventual fim do mundo por causas nucleares. Assim, este trabalho tem por objetivo elaborar um texto de divulgação científica que traga para o debate a importância do uso e a relevância da energia nuclear na matriz energética brasileira de forma a contribuir na percepção de educandos do Ensino Médio e da população leiga sobre esta temática da radioatividade.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o passar do tempo, novas demandas e novos desafios surgem constantemente em relação ao processo de produção do conhecimento científico. Atualmente, novos debates, que visam destacar a importância de uma prática democrática na produção e disseminação da ciência, conquistam mais relevância nos espaços de discussão. Entende-se que o distanciamento perpetuado entre homens e mulheres “leigos(as)” (público não especialista) e os(as) “cientistas” apenas fortalece estereótipos que dificultam a consolidação de uma ciência acessível, humanizada e democrática.

A evolução da ciência potencializa cada vez mais uma sociedade dependente e interligada com a tecnologia e seus avanços. Diferentes abordagens têm contribuído para promover a aproximação entre o público leigo e o conhecimento científico e entre elas está a divulgação científica. Podemos entender a divulgação científica não apenas como um formato específico de comunicação, mas como uma forma de comunicar, reproduzir e circular o conhecimento científico (Da Silva, 2006).

Entretanto, é necessário trabalhar este conceito que não se faz suficiente para especificar e diferenciar a divulgação científica de outras formas de comunicação. Segundo Bueno (2010, p. 2),

A divulgação científica compreende a utilização de recursos, técnicas, processos e produtos (veículos ou canais) para a veiculação de informações científicas, tecnológicas ou associadas a inovações ao público leigo. A comunicação científica, por sua vez, diz respeito à transferência de informações científicas, tecnológicas ou associadas a inovações e que se destinam aos especialistas em determinadas áreas do conhecimento.

Desta forma, a divulgação científica pode ser compreendida e diferenciada da comunicação científica levando em conta alguns critérios como perfil do público, nível do discurso, natureza do canal e intenção do processo (Bueno, 2010).

No caso da comunicação científica, o perfil do público é definido por pessoas com familiaridade com o conteúdo, com expressões e termos específicos, sendo assim pessoas iniciadas no formalismo da ciência. Em contrapartida, a divulgação científica visa ser distribuída entre um público leigo que está distante das decodificações da ciência, ou seja, um público que não está inserido nos signos e expressões de pessoas especializadas (Bueno, 2010).

O nível do discurso está diretamente ligado ao perfil do público e discorrem de forma paralelas sobre o mesmo critério. Desta forma, a divulgação científica deve levar em consideração que o público leigo, em geral, não passou por uma alfabetização científica e enfrentará problemas para abstrair e compreender termos puramente técnicos e formais, comumente utilizados na comunicação científica. Neste caso, devemos entender a “alfabetização científica como a capacidade de ler, compreender e expressar opinião sobre assuntos de caráter científico” (Miller, 1983, p. 30; Germano, 2011, p. 288).

Para este autor, quando tratamos dos canais de comunicação, a disseminação científica acaba restrita a meios como eventos científicos e periódicos de publicação. Isto implica e restringe a propagação dos discursos aqui produzidos para um maior número de pessoas, uma vez que nem todo evento ou periódico dispõe de um número grande de participantes ou leitores. Portanto, a divulgação científica acontece principalmente em meios de comunicação em massa, que possam atingir a maior variedade de público em diversidade e quantidade.

Por fim, as duas formas se diferenciam na sua intenção. A comunicação científica existe em sua essência como uma forma de difundir os resultados obtidos nas pesquisas, ou seja, comunicar entre a comunidade da ciência os resultados, conclusões e produções feitas pelos autores, de forma a contribuir no avanço dela. Na divulgação científica, como dito anteriormente, parte do seu objetivo surge também no interesse de aproximar o público não-especialista da ciência, e para isso, os critérios acima citados devem ser as forças motoras de suas produções.

A divulgação científica é um conjunto de práticas de comunicação que visa tornar acessíveis ao público não apenas os conhecimentos científicos, mas também os princípios, valores, atitudes, linguagem e funcionamento da ciência e tecnologia. Para isso, utiliza uma variedade de meios, como museus interativos, peças teatrais, programas de televisão, literatura e jornalismo em diferentes formatos (TV, rádio e impresso), juntamente com outras abordagens menos convencionais (Valério; Bazzo, 2005).

A finalidade da divulgação científica é ampla, difícil de delimitar e de forte participação na relação entre ciência e poder. A cada surgimento de uma nova crise humanitária, epistemológica, econômica, entre outras, os meios de comunicação exercem um importante papel em modelar a forma que o mundo vai receber e enxergar aqueles acontecimentos. Desta forma, a ciência não escapa destes processos de massa e é moldada pelo interesse da classe dominante (Yannielli, 2021).

Em momentos de crises, os interesses são restabelecidos e assim como as produções materiais, a produção acadêmica é afetada e tem seu rumo direcionado para finalidades que garantam a manutenção do poder dominante. Os efeitos das guerras no séc. XX servem de exemplo para entendermos esse impacto, uma vez que mostrou como os avanços científicos da época podiam ter uma rápida aplicabilidade, como as armas nucleares, novas drogas, materiais e outros (Albagli, 1996).

A participação do governo na atividade científica e tecnológica destaca a importância de uma cidadania mais informada sobre ciência e tecnologia. Isso implica no surgimento de demandas para a criação de estruturas institucionais para algum tipo de controle democrático sobre a tecnologia, uma tarefa desafiadora devido aos interesses das classes dominantes que está apenas começando a ser abordada (Valério; Bazzo, 2005). Atualmente, é impossível pensar na existência humana sem considerar os artefatos científicos e tecnológicos. Nossa vida depende desses dispositivos e nosso estilo de vida cada vez mais reflete uma demanda social por mais tecnologia, principalmente na automação das atividades diárias.

A divulgação científica exerce um papel de acessibilidade e aproximação da ciência com a sociedade contemporânea, permitindo que o público mais amplo entre em contato com o desenvolvimento científico da sua época. Ao tornar esse conteúdo público, livre e simples, as pessoas de fora do meio científico começam a se tornar mais aptas a participar das discussões coletivas e das decisões públicas que envolvem o conhecimento científico (Valério; Bazzo, 2005). Essa conscientização promove até melhores abordagens ao lidarmos com mudanças climáticas, epidemias, uso sustentável dos recursos naturais, participação da tecnologia e outros problemas recorrentes na sociedade moderna.

A cada dia mais recorrente, as *fake news*, teorias da conspiração e outras formas de dogmatizar o pensamento coletivo têm surgido em fontes que controlam os meios midiáticos. Uma divulgação científica com informações claras e acessíveis aos leigos pode ser um dos recursos mais efetivos de combate às manobras de espalhamento de desinformação e *fake news* utilizadas amplamente para enganar massas ou falsear a verdade.

Tratar a ciência de forma a ampliar o seu alcance não impacta apenas aqueles que se encontram distantes dela. A proliferação destes conteúdos serve para aproximar ainda mais aqueles que já se interessavam pela ciência, implicando em novas gerações de cientistas e de pessoas que objetivam uma emancipação crítica. Com o desmonte atual das instituições acadêmicas, fica cada vez mais emergente a necessidade de novas pessoas interessadas em participar e renovar o meio científico.

Desta forma, a divulgação científica é um dos mecanismos da democratização do conhecimento científico. Isto significa que esta deve ser utilizada de forma a construir uma nova sociedade mais informada e mais engajada, culminando na formação de novos participantes políticos, alimentando uma cultura de transparência e um cenário político mais plural. A alfabetização científica permite que uma pessoa leiga esteja mais capacitada a fazer novas perguntas, a levantar hipóteses, analisar as informações e tomar decisões de impacto individual ou coletivo (Da Silva, 2006).

Os textos de divulgação científica (TDC) podem desempenhar um papel essencial no ambiente educacional, especialmente em salas de aula, ao tentar facilitar o entendimento e o interesse dos educandos por conceitos científicos complexos. Isso não contribui apenas para aumentar o entendimento dos discentes sobre os conceitos científicos ali estudados, mas também estimula o desenvolvimento de sua capacidade crítica de tomada de decisões, preparando-os para enfrentar desafios contemporâneos e contribuir de forma significativa para o progresso científico.

Esses textos podem ser utilizados para abordar temas interdisciplinares, relacionando ciência com outras áreas do conhecimento, como ética, história e geopolítica. Ao incorporar essa abordagem multidisciplinar, um professor pode contribuir com a percepção dos educandos acerca do papel e do impacto da ciência e da tecnologia na sociedade contemporânea.

Todavia é necessário entender o que caracteriza um texto de divulgação científica, isto é, como olhar para um texto e entendê-lo como um material que não está diretamente associado ao ambiente escolar.

Para entender essas diferenciações, Salém e Kawamura (1996) utilizaram uma extensa base de dados para diferenciar um livro didático de um livro de divulgação científica. Suas principais conclusões giram em torno de como os livros de divulgação científica se diferenciavam em objetivo, autor, conteúdo, estrutura, linguagens, abordagens, entre outros. Em geral, todos os critérios anteriores visam atingir um público leigo, que está fora do ambiente de sala de aula universitário e que não faz parte do formalismo matemático das ciências naturais.

Destaca-se neste entendimento acerca de materiais de divulgação científica, o sentido concreto → abstrato de disseminar um determinado conteúdo. Nestes casos, sem seguirem uma sequência curricular, a sua estrutura normalmente parte de uma temática, por meio de histórias, relatos, canções ou algo do imaginário popular para dar-se início às discussões centradas na ciência.

De forma complementar, entendendo que os TDCs vêm sendo utilizados também como material didáticos, alguns outros critérios surgem para caracterizar o que deve ser avaliado no texto para julgá-lo como um potencial recurso em sala de aula. Aires *et al.* (2003) pontuam que as categorias de linguagem, precisão científica, apresentação, metáforas e analogias, abordagem sociológica, histórica e epistemológica, glossários e resultados devem ser levadas em consideração ao inserir um TDC na sala de aula.

Baseado nestes critérios, Ribeiro e Kawamura (2005) partem das dimensões levantadas anteriormente por Salém e Kawamura (1996) para criar um quadro de entendimento das principais características que um TDC apresenta ao se formalizar em um texto publicado numa revista de difusão científica. Dividindo sua análise em dois pilares: conteúdo e forma, as autoras também observam como diferentes revistas modelam o produto final e definem o controle da narrativa do texto.

- Conteúdo: diz respeito ao teor do texto, em como os assuntos que o compõem estão organizados na sua temática, na forma que discute os procedimentos internos, metodológicos, levantamento de dados e resultados da ciência, na apresentação de visões divergentes que explicitam o funcionamento institucional da ciência e, por fim, nos diferentes contextos e abordagens que o texto traz para o seu conteúdo, levando em conta aplicações socioeconômicas e políticas.
- Forma: é avaliada ao observar sua estrutura, linguagem e recursos visuais utilizados. Dependendo de sua finalidade e veículo, a estrutura de um texto define como este será construído narrativamente, assim como sua linguagem leva em consideração o público-alvo. Os mais diversos recursos visuais podem ser observados, como gráficos, ilustrações, boxes de informação, fotografias, notas de rodapé entre outros, desde que estejam estritamente relacionados à temática.

Ferreira e Queiroz (2012) pontuam que a produção acadêmica sobre textos de divulgação científica se organiza principalmente com os seguintes objetivos e estratégias: fomentar hábitos de leitura no contexto escolar, favorecer a compreensão sobre aspectos da produção do conhecimento científico, promover o interesse dos educandos em sala de aula, estimular o pensamento crítico dos educandos, fomentar discussões e debates em sala de aula, favorecer a aprendizagem de conceitos, desenvolver nos educandos habilidades de comunicação oral e escrita e outros.

Assim, é essencial que as várias disciplinas escolares incorporem atividades que ajudem os educandos a melhorarem habilidades de compreensão de textos e cultivem o prazer pela leitura. Para isto, é crucial que os professores reconheçam o valor didático de textos alternativos que sejam mais próximos da leitura espontânea dos educandos do que os textos tradicionais dos livros didáticos (Ferreira; Queiroz, 2012).

Entretanto, para introduzir estes textos em sala de aula, o professor deve entender seu papel e não o tratar como algum material didático tradicional. O professor deve entender a importância da contribuição na alfabetização científica do educando e não deve utilizar o texto de forma a apenas ser mais um conteúdo que o educando deve memorizar o seu assunto e reproduzir em avaliações (Gomes; Silva; Machado, 2016). Assim, o professor assume o papel de agente responsável por tornar aquele texto uma das chaves para desenvolver as habilidades críticas e questionadoras do educando, não permitindo que o texto caia nas formas tradicionais de avaliação que massifica o raciocínio dos educandos.

Textos de divulgação científica podem desempenhar um papel fundamental como materiais de apoio para estimular debates em sala de aula. O uso desses textos proporciona aos educandos um contato direto com informações sobre ciência e tecnologia, conectando-os com eventos relevantes do seu cotidiano (Fatarelli *et al.*, 2014). São em momentos de debates que estes textos podem estimular o desenvolvimento de habilidades de leitura crítica e reflexiva, provocando nos educandos a análise crítica e questionadora sobre as informações apresentadas, fomentando assim um espírito investigativo diante de questões científicas e tecnológicas contemporâneas.

Assim, podemos entender melhor a importância da divulgação científica no ensino, seja em um contexto brasileiro ou em escalas maiores. Estas necessidades se originam fortemente em países que passaram (ou ainda passam) por algum projeto de subdesenvolvimento formalizado por práticas imperialistas do norte global. Estes países encontram dificuldades humanitárias e crises políticas que dificultam tentativas de fomentar uma educação e um progresso tecnológico, que diretamente implica numa melhoria da qualidade de vida e na garantia dos direitos humanos (Albagli, 1996).

São nestes países que essa aproximação da população com a ciência se faz mais necessária. A população vulnerável precisa ter acesso a informações de saúde, higiene, práticas sustentáveis, uso de recursos naturais, ou seja, as pessoas precisam relacionar seu cotidiano com as práticas científicas para que assim possam contribuir criticamente nos avanços daquele território (Albagli, 1996).

Essa visão entra diretamente em acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 estabelecidos pelas Nações Unidas, principalmente com o ODS 4 que defende “Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos” (ONU, 2015). Desta forma, a divulgação científica serve para promover princípios de avanço global como a importância de garantir ambientes de ensino que sejam seguros, inclusivos e eficazes para todos. O ODS 4 discorre sobre a importância de que a educação seja verdadeiramente transformadora, capacitando os indivíduos a serem agentes de mudança positiva em suas comunidades e no mundo, levando em consideração uma relação sustentável e equilibrada entre os recursos naturais e a população mundial.

OBJETIVOS

- Objetivo geral:

Escrever um Texto de Divulgação Científica, orientado pelos critérios de Ribeiro e Kawamura, para discutir o uso e a relevância da energia nuclear na matriz energética do Brasil, abordando também a energia nuclear e possíveis aplicações.

Adicionalmente, recomendar possíveis usos em contextos de ensino.

METODOLOGIA

Decidindo desenvolver um texto de divulgação científica, o tema surgiu de um interesse pessoal por assuntos de geopolítica e organizações internacionais de direitos humanos. Motivado pelo interesse diplomático de desenvolver um acordo entre o governo brasileiro e o governo francês sobre a exploração de urânio e o desenvolvimento das usinas nucleares Angra 1 e Angra 3 no Brasil, a ideia é que o texto discuta os usos, impactos e riscos econômicos e ambientais da energia nuclear na matriz energética nacional. A ideia surgiu a partir de uma conversa que me levou a reconhecer a percepção majoritariamente negativa que as pessoas têm da energia nuclear e de seus impactos ambientais. Com isso, surgiu igualmente o desejo de compreender quais os elementos da mídia e do imaginário popular contribuem para certas visões sobre a temática.

A primeira etapa foi fazer um levantamento de outros TDCs sobre o tema em diferentes plataformas e revistas de difusão científica como: Ciência Hoje, Humanamente, Jornal da USP, Revista Fapesp etc. Para isto, as palavras chaves utilizadas na pesquisa foram “energia nuclear”, “fissão nuclear” “matriz energética brasileira”, “fontes de energia” e “tecnologia nuclear”.

Por tratar-se de um tema interdisciplinar, textos jornalísticos que discutem o tema politicamente também contribuíram para a construção do TDC. Matérias de revistas e jornais que tratam da história do Brasil, as relações entre o uso da energia nuclear no norte global e os recursos naturais de outros países, a história incompleta das usinas nucleares do Brasil e os impactos sociais da exploração mineral também constituem partes fundamentais na construção do texto.

Desta forma, utilizando das informações coletadas, imagens, gráficos entre outros, o texto foi desenvolvido buscando a interdisciplinaridade do tema, tratando da energia nuclear enquanto recurso econômico e político, as relações de interesse do desenvolvimento de tal no Brasil, de forma a não contribuir para uma percepção negativa ou alarmista do tema.

RESULTADOS

O aumento do interesse coletivo nas relações da tecnologia com a sociedade eleva a necessidade de facilitar o acesso à informação e colocam em discussão como distribuir o conhecimento científico de forma acessível, em termos de veículo e linguagem. Como discutido, um dos recursos que podem auxiliar o processo de ensino-aprendizagem, fora e dentro de sala de aula, é a divulgação científica.

Evidenciar o caráter econômico, social e político da produção científica é um dos princípios incorporados na divulgação científica e a torna um dos mecanismos que podem ser utilizados para realizar essa aproximação. Por incorporar a contextualização social no conteúdo científico, esse formato favorece a inserção da contribuição científica nos debates e tenta tornar o seu leitor apto para compreender e opinar em questões da relação ciência, tecnologia e sociedade científico (Valério; Bazzo, 2005).

Apesar da produção textual de divulgação científica não ser direcionada para sua aplicação em sala de aula, incorporar os TDCs no ambiente de ensino, básico ou superior, tem sido alvo de estudo nas diversas áreas das Ciências Naturais. Miceli e Rocha (2023) descreve o impacto que a divulgação científica pode ter em sala de aula, destacando a interação da educação nos espaços formais e não formais, uma vez que o TDC extrapola os conteúdos curriculares e o formato tradicional de ensino.

O texto intitulado “Brasil e energia nuclear: onde a fissão nuclear nos trouxe?”, produzido para este trabalho e disponibilizado no Apêndice, foi elaborado na expectativa de ser um TDC. Por isso, submetemos o texto a uma análise usando os critérios de Ribeiro e Kawamura (2005), quais sejam: conteúdo e forma.

O texto desenvolvido introduz o conteúdo com uma temática: a importância da diversidade da matriz energética. Ao iniciar o texto com a problemática da distribuição e do racionamento de energia elétrica, o material aproxima o conteúdo do texto ao cotidiano do leitor e pode funcionar como ponto de partida para chamar a atenção dele.

Ao apresentar o funcionamento de alguns processos tecnológicos como extração de minérios e geração de energia elétrica, o texto se dedica em expor alguns aspectos dos

procedimentos internos da ciência, focado em fornecer para o leitor detalhes de como a ciência é produzida e não apenas os resultados brutos de uma pesquisa. Ao descrever a descoberta da energia nuclear, além de descrever a experimentação e a coleta e interpretação dos dados, o TDC se preocupa em contextualizar os conteúdos de forma histórica e social, buscando mostrar como o fazer ciência não está concentrado em uma única pessoa e depende de um trabalho coletivo.

O trecho a seguir apresenta um dos momentos que o texto se dedica a este aspecto:

No seu laboratório em Roma, os cientistas envolvidos no grupo de pesquisa de Fermi realizaram experimentos bombardeando o núcleo de átomos de urânio com partículas sem carga elétrica e ficaram entusiasmados e surpresos com o que observaram: o surgimento de um novo material que não era mais formado por urânio. Os resultados chegaram até Berlim para Hahn e Strassmann, mas a virada de chave veio da pesquisadora Lise Meitner que decifrou definitivamente o fenômeno da divisão de núcleos atômicos.

O funcionamento institucional da ciência também está presente no texto, principalmente no trecho “O Brasil na corrida nuclear”. Com uma descrição histórica, a diversidade de ideias na administração legal da ciência e as controvérsias no conhecimento sobre o uso da tecnologia nacional são alguns aspectos que o texto se dedica a explorar essa característica. Este tópico, em conjunto do tópico final “Tecnologia nuclear, para quê?”, se preocupam em incluir aspectos dos efeitos do debate social na aplicação das descobertas científicas, como seus processos são influenciados pelos interesses governamentais e os efeitos na vida cotidiana do leitor. O trecho a seguir exemplifica como o funcionamento institucional da ciência é apresentado no texto:

Foi apenas em 1987 que o presidente José Sarney anunciou que o Brasil havia desenvolvido tecnologia 100% nacional que permitia o enriquecimento no território brasileiro. Com esta conquista o país alcançava autonomia, mesmo que por passos pequenos, na questão de maior confidencialidade das potências nucleares do norte global.

Reforçando o já mencionado, o conteúdo do texto está inserido num contexto específico brasileiro. Apesar de alguns conteúdos explicados serem universais, o artigo se dedica a apresentar argumentos e fundamentar sua discussão exclusivamente para a realidade do Brasil, onde vive o público-alvo desta produção.

O segundo principal aspecto da análise de Ribeiro e Kawamura (2005) é a forma. Em termos de estrutura, o texto está dividido em trechos interdependentes, separados em função dos argumentos apresentados, que servem para responder às perguntas feitas em seu início. No geral, a linguagem usada no texto é simples e acessível, mas para certos trechos é necessário algum conhecimento básico de conceitos químicos como estrutura atômica e familiaridade com

termos como “efeito estufa”, “alcalinos”, “ácidos” e outros. O texto não faz uso de analogias ou metáforas, mas apoia-se na compreensão de modelos macroscópicos e simbólicos para explicar alguns resultados experimentais.

Para auxílio na interpretação de algumas informações apresentadas, o texto também conta com recursos visuais que ilustram o descrito, seja por infográficos, figuras que representam o microscópico ou por mapas que complementam certas informações.

Com o apresentado, podemos concluir que o texto pode ser caracterizado como um TDC e, portanto, tem um potencial de ensino, inclusive para aplicação em sala de aula. Os conteúdos de radioatividade e fissão nuclear fazem parte do currículo do Ensino Médio e comumente as aulas se restringem a trabalhar unicamente definições como os tipos de radiação e tempo de meia vida. Desta forma, o TDC surge como um agente complementar, servindo como uma abordagem alternativa, sem substituir o livro ou outros materiais didáticos. Caso seja utilizado em sala, o TDC desenvolvido neste trabalho contribuirá ao apresentar aplicações dos conceitos, oferecendo uma contextualização e destacando a importância destes fenômenos no dia a dia do educando, além de potencialmente torná-lo mais apto para participar de decisões coletivas.

Como descrito por Correia, Decian e Sauerwein (2017), além das habilidades específicas, a aplicação de TDC em aulas de Ciências Naturais torna propício o desenvolvimento de habilidades gerais como oralidade, escrita e argumentação dos educandos. Por tratar de temáticas com controvérsias, conflitos de interesse e de interesse público, o TDC fruto deste trabalho apresenta uma estrutura argumentativa capaz de aproximar o leitor com argumentos que o ajudem a construir sua própria percepção sobre o assunto.

Além disso, o TDC apresenta aplicações da radioatividade que não são amplamente discutidas e acabam não recebendo a sua devida atenção. A forma que a imprensa veicula os fenômenos nucleares contribui para uma percepção majoritariamente negativa da energia nuclear que tem se perpetuado por quase um século. Falar sobre os benefícios e aplicações da tecnologia nuclear são estratégias fundamentais para desmistificar essa visão destrutiva das reações nucleares e para impulsionar a valorização dos sucessos acadêmicos do Brasil.

De modo geral, o texto tem potencial para: informar o leitor do efeito das decisões dos grandes representantes, despertar o interesse do leitor não especializado, aproximá-lo da produção científica, evidenciar as limitações tecnológicas que a ciência brasileira enfrenta, entre outros. Estas características do TDC, produto deste trabalho, colaboram para a desconstrução da ideia vigente de uma ciência neutra, independente, feita por seres isolados da sociedade e livre de interesses políticos.

Em conclusão, o texto “Brasil e energia nuclear: onde a fissão nuclear nos trouxe?”, produto deste trabalho de conclusão de curso, pode servir como ferramenta de alfabetização científica nos ambientes formais e não formais de ensino. O formato que o conteúdo está apresentado e sua linguagem acessível promovem uma forma de aproximação de uma pessoa leiga com assuntos de grande importância como: a matriz energética do Brasil, a posição do país como figura diplomática e potência científica no cenário global.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância da divulgação científica tem sido crescente na sociedade moderna que cada vez se torna mais dependente de tecnologias para realização de atividades diárias. A divulgação científica se torna uma ferramenta de acessibilidade, diminuindo o distanciamento entre a população e o desenvolvimento científico, contribuindo na formação do pensamento crítico. Tornar a ciência mais acessível prepara o público para discussões coletivas e tomadas de decisões, contribuindo também no combate à desinformação e à circulação de fake news.

A democratização do conhecimento deve ser usada para construir uma sociedade politicamente ativa, reestruturando as relações de poder e aumentando a pluralidade dos espaços de organização. Uma das formas de democratizar o conhecimento é por meio dos textos de divulgação científica, materiais desenvolvidos para os fins citados anteriormente, com características específicas que se organizam em termos de conteúdo e forma.

O uso da divulgação científica como ferramenta para trabalhar os temas de política internacional associado ao conhecimento químico motivaram a construção do texto desenvolvido no trabalho. A temática é resultado de um interesse pessoal no assunto, levando em conta que, a maioria dos meios de comunicação que discute energia nuclear como mecanismo político, leva em conta apenas os fins bélicos, culminando na permanência de uma visão negativa sobre o tema. Por envolver um assunto de aplicação cotidiana, o trabalho desenvolveu um texto que se enquadra como um TDC e que aproxima o leitor a uma revisão histórica da participação da energia nuclear na matriz energética brasileira, uma abordagem não convencional do tema.

Apesar de ser uma realidade próxima de todos nós, o entendimento das reações nucleares, do funcionamento das usinas e dos benefícios que o desenvolvimento tecnológico nuclear nos traz, ainda é escasso para grande parte da população. O produto deste trabalho visou divulgar informações que pudessem servir como forma de alfabetizar cientificamente o leitor e o aproximar dos desafios enfrentados pelo Brasil no seu desenvolvimento científico. A aplicação do TDC tem potencial tanto em espaços formais de ensino, como uma sala de aula,

como fora dela, concluindo que o uso do texto em sala de aula deve ser feito de forma crítica, a complementar a formação curricular e a contribuir na autonomia do educando.

Em suma, como uma forma de divulgação científica, o texto ... tem potencial para evidenciar o caráter de produto humano da ciência e levar o debate da participação da energia nuclear na realidade brasileira para diversos espaços. Nesse sentido, este trabalho buscou valorizar o conhecimento científico, utilizando da interdisciplinaridade da Química com outras áreas para criar um produto que pudesse ser relevante na formação do entendimento popular acerca da energia nuclear e seus desdobramentos políticos.

REFERÊNCIAS

- AIRES, Joanez Aparecida *et al.* Divulgação científica na sala de aula: um estudo sobre a contribuição da revista Ciência Hoje das Crianças. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 5, 2003, Bauru. **Atas do [...]**. v. 4, p. 1-27, 2003.
- ALBAGLI, Sarita. Divulgação científica Informação científica para cidadania? **Ciência da informação**, v. 25, n. 3, 1996.
- BUENO, Wilson Costa. Comunicação científica e divulgação científica: aproximações e rupturas conceituais. **Informação & informação**, v. 15, n. 1 esp., p. 1-12, 2010.
- CORBIN, Jane. Quanto tempo para o 'fim do mundo'? As ameaças identificadas pelo 'Relógio do Juízo Final'. **BBC News Brasil**. 24 jan. 2024. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cp6xedd1jp5o>. Acesso em: 13 ago. 2024.
- CORREIA, Daniele; DECIAN, Emanoela; SAUERWEIN, Inés Prieto Schmidt. Leitura e argumentação: potencialidades do uso de textos de divulgação científica em aulas de Física do ensino médio. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 23, p. 1017-1034, 2017.
- DA SILVA, Henrique César. O que é divulgação científica? **Ciência & Ensino**, v. 1, n. 1, p. 53-59, 2007.
- FATARELI, Elton Fabrino; MASSI, Luciana; FERREIRA, Luciana Nobre de Abreu; QUEIROZ, Salete. Linhares. Mapeamento de textos de divulgação científica para planejamento de debates no ensino de química. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 1, p. 11-18, 2015.
- FERREIRA, Luciana Nobre de Abreu; QUEIROZ, Salete Linhares. Textos de divulgação científica no ensino de ciências: uma revisão. **Alexandria: revista de educação em ciência e tecnologia**, v. 5, n. 1, p. 3-31, 2012.
- GERMANO, Marcelo Gomes. Popularização da ciência e tecnologia: limitações e possibilidades. *In: GERMANO, Marcelo Gomes. Uma nova ciência para um novo senso comum*. EdUEPB, 2011. p. 288-293.

GOMES, Verenna Barbosa; SILVA, Roberto Ribeiro da; MACHADO, Patrícia Fernandes Lootens. Elaboração de textos de divulgação científica e sua avaliação por alunos de Licenciatura em Química. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 4, p. 387-403, 2016.

LIAKOS, Chris. França vai retirar sua presença militar no Níger até o final de 2023, diz Macron. **CNN Brasil**. 24 set. 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/franca-vai-retirar-sua-presenca-militar-no-niger-ate-o-final-de-2023-diz-macron/>. Acesso em: 27 ago. 2024.

MACHADO, Tariana B. **Aceitação da energia nuclear por parte da opinião pública no Brasil**. 2021. Tese (Doutorado) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

MECKLIN, John. A moment of historic danger: It is still 90 seconds to midnight. **Bulletin of the Atomic Scientists**. 23 jan. 2024. Disponível em: <https://thebulletin.org/doomsday-clock/current-time/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

MICELI, Bruna Sarpa; ROCHA, Marcelo Borges. A utilização de recursos de divulgação científica na prática de docentes de ciências naturais. **Revista Práxis**, v. 15, n. 29, 2023.

MOLITERNO, Danilo. Por energia nuclear, governo vai assinar acordo com a França para explorar urânio no Brasil. **CNN Brasil**. São Paulo. 28 mar. 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/por-energia-nuclear-governo-vai-assinar-acordo-com-a-franca-para-explorar-uranio-no-brasil/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

MILLER, Jon D. Scientific literacy: A conceptual and empirical review. **Daedalus**, p. 29-48, 1983.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 01 maio 2025.

RIBEIRO, Renata A.; KAWAMURA, Maria Regina Dubeux. A ciência em diferentes vozes: uma análise de textos de divulgação científica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2003, Bauru. **Atas do [...]**. v. 4, p. 1-27, 2003.

RIBEIRO JUNIOR, Joaquim Aparecido. **Um estudo simplificado da percepção pública dos benefícios e riscos de centrais termonucleares sugestões para a comunicação de valor com o público**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares associado à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SALÉM, Sônia, KAWAMURA, Maria Regina Dubeux. O texto de divulgação e o texto didático: conhecimentos diferentes? *In*: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, 5, Águas de Lindóia. **Atas do [...]**, São Paulo, 1996.

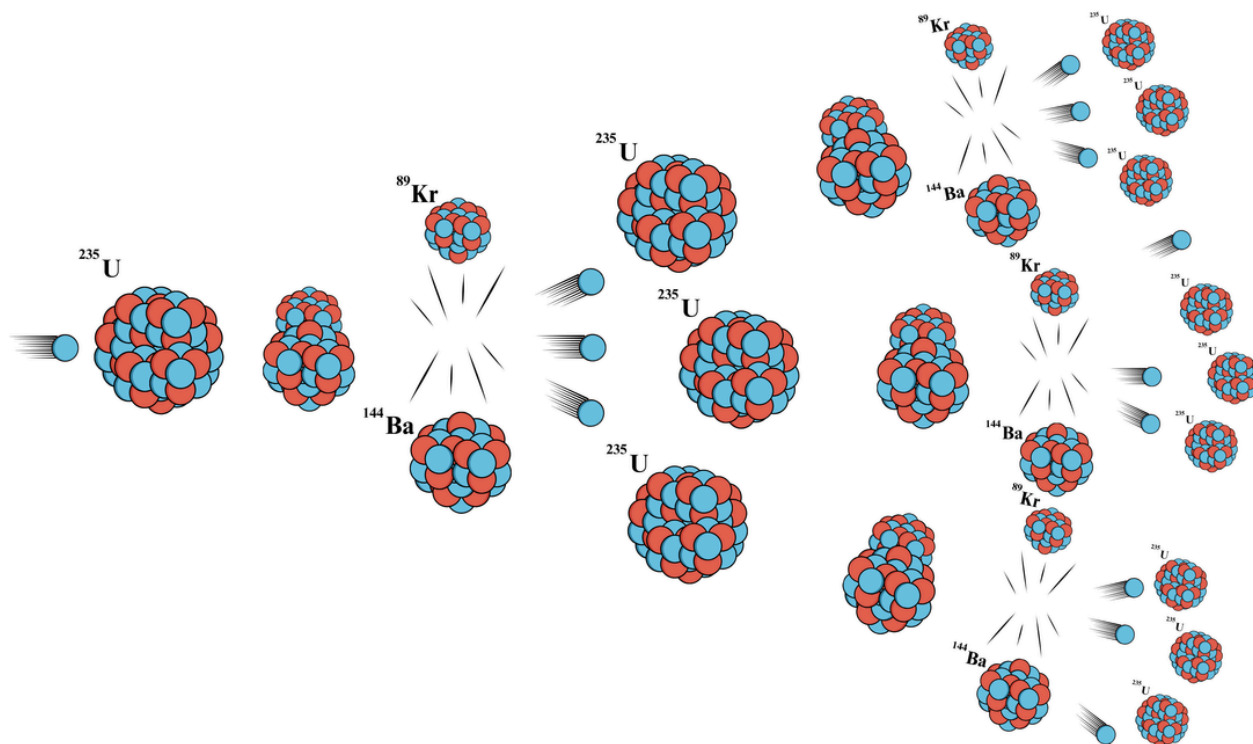
VALÉRIO, Marcelo; BAZZO, Walter Antônio. O papel da divulgação científica em nossa sociedade de risco: em prol de uma nova ordem de relações entre ciência, tecnologia e sociedade. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 25, n. 1, p. 31-39, 2006.

YANNIELLI, Len. A love/hate tango – science and ruling classes. **People's World**, 22 jan. 2021. Disponível em: <https://peoplesworld.org/article/a-love-hate-tango-science-and-ruling-classes/>. Acesso em: 16 jun. 2024.

APÊNDICE

BRASIL E ENERGIA NUCLEAR:

ONDE A FISSÃO NUCLEAR NOS TROUXE?



DA CRISE DO APAGÃO À EXPANSÃO ENERGÉTICA

Você já parou para pensar conhecimento de toda a -bilidade de enfrentar crises como seria sua vida sem população. parecidas?

energia elétrica? Como é viver

sem saber se no dia seguinte você terá energia em casa ou não? Entre maio de 2001 e fevereiro de 2002, o Brasil enfrentava uma crise nacional de fornecimento de energia elétrica que ficou conhecida como “crise do apagão”. O país

tinha quase 90% de suas reservas energéticas baseadas em fontes hídricas e após um período de seca, a escassez de diversidade da matriz energética do Brasil tornou-se

A população precisou racionar a energia e, ainda assim, viu sua conta de energia elétrica aumentar. Obviamente, isso não foi bem recebido e aumentou a rejeição ao governo nos seus anos finais.

O governo seguinte começou sua gestão com uma missão desafiadora: como herdar essa crise em um período de transição política e promover projetos que reduzissem a possi-

A tarefa não seria simples e pouco mais de um ano após o fim do racionamento, o Governo Federal lançou, em 2003, o “Programa Luz para Todos”. Este programa foi responsável por levar a energia elétrica para regiões que ainda não eram atendidas e serviu como forma de aumentar a popularidade do presidente à época. Para garantir aceitação popular, o governo investiu na diversificação da matriz energética brasileira.

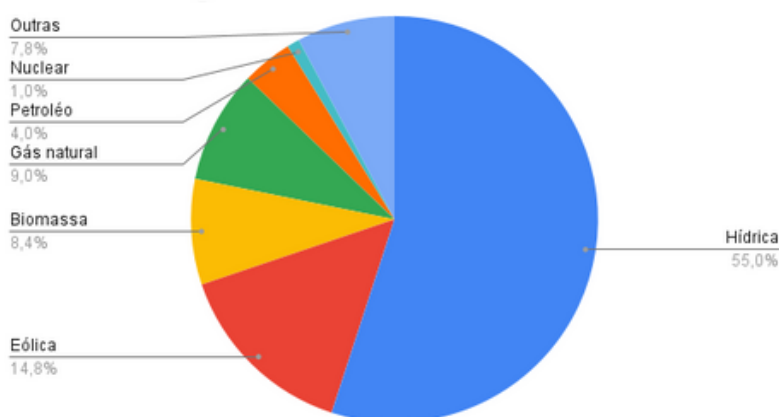
MATRIZ ENERGÉTICA E RECURSOS NATURAIS

A matriz energética pode ser entendida como todas as diferentes formas de energia que um país desenvolve para usar nas suas atividades econômicas e sociais. Comumente a palavra energia é automaticamente associada à energia elétrica, mas vale destacar que a matriz energética incorpora outras formas de energia, sendo assim, uma forma de entender quais recursos têm sido utilizados para a geração de energia e como um país tem explorado seus recursos naturais.

A energia pode ser observada em diferentes tipos: elétrica, térmica, luminosa, cinética, solar, nuclear etc. e o interessante de trabalhar com a energia é que ela pode se transformar e se conservar entre os diferentes tipos de que falamos. A figura 1 apresenta uma distribuição das principais fontes de energia que são convertidas para energia elétrica no Brasil

Voltando ao contexto brasileiro do início do séc. 21, o governo precisou estudar como desenvolver as tecnologias do país e diversificar nossas fontes de energia, encontrando motivações para desenvolver um projeto que há muito tempo é deixado de lado: a energia nuclear brasileira. Apesar de não ser renovável, a energia nuclear aparece nesta questão como uma opção viável e uma forma de diminuir a contribuição humana na degradação ambiental.

Matriz de energia elétrica no Brasil em 2024



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

Figura 1. Participação de diferentes fontes de energia na matriz elétrica brasileira.

Os recursos para usar a energia nuclear ainda são abundantes e suas aplicações não emitem gases que contribuem para o efeito estufa. Mas de onde vem a energia nuclear? O Brasil dá conta de produzir esse tipo de energia? O que a população poderia ganhar com isso?

ENERGIA NUCLEAR

A energia nuclear foi descoberta pelos cientistas Enrico Fermi (1901-1954), Otto Hahn (1879-1968), Lise Meitner (1878-1968) e Fritz Strassmann (1902-1980), que conseguiram dividir núcleos atômicos e foram capazes de extrair a energia contida neles. Mas de que forma isso foi feito? No seu laboratório em Roma, os cientistas envolvidos no grupo de pesquisa de Fermi realizaram experimentos bombardeando uma amostra de urânio metálico com partículas sem carga elétrica e ficaram entusiasmados e surpresos com o que observaram: o surgimento de um novo material que não era mais formado apenas por urânio.

Na figura 2, podemos ver que resultados chegaram até Berlim para Hahn e Strassmann, mas a virada de chave veio da pesquisadora Lise Meitner que decifrou definitivamente o fenômeno da divisão de núcleos atômicos.

Diferentemente da hipótese de Fermi, que acreditava ter formado átomos de elementos maiores que o urânio, no momento que a partícula neutra, ou como é conhecido o nêutron, atinge o núcleo do átomo do elemento urânio, ele perde estabilidade e acaba se dividindo em dois novos núcleos formando átomos de elementos menores como o bário e o criptônio! A este fenômeno foi dado o nome de fissão nuclear.

Logo, se perguntaram onde foi parar a energia que segurava esses dois núcleos juntos? A descoberta representou uma nova forma de gerar energia com potência elevada, mas com pequenas quantidades de material. Restava apenas saber como sustentar este processo a nível industrial, gerando energia térmica suficiente que

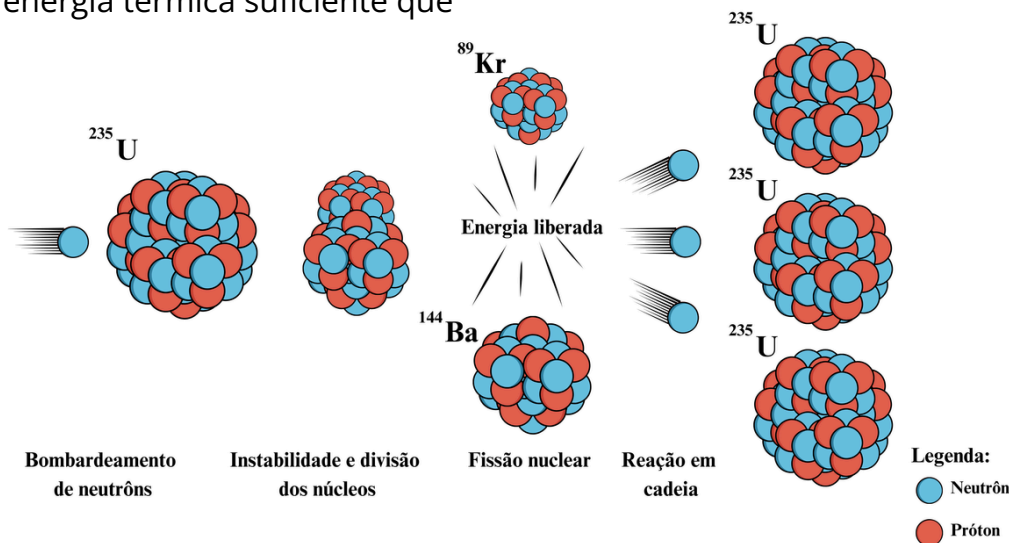


Figura 3. Representação do modelo proposto por Lise Meitner para a fissão nuclear.

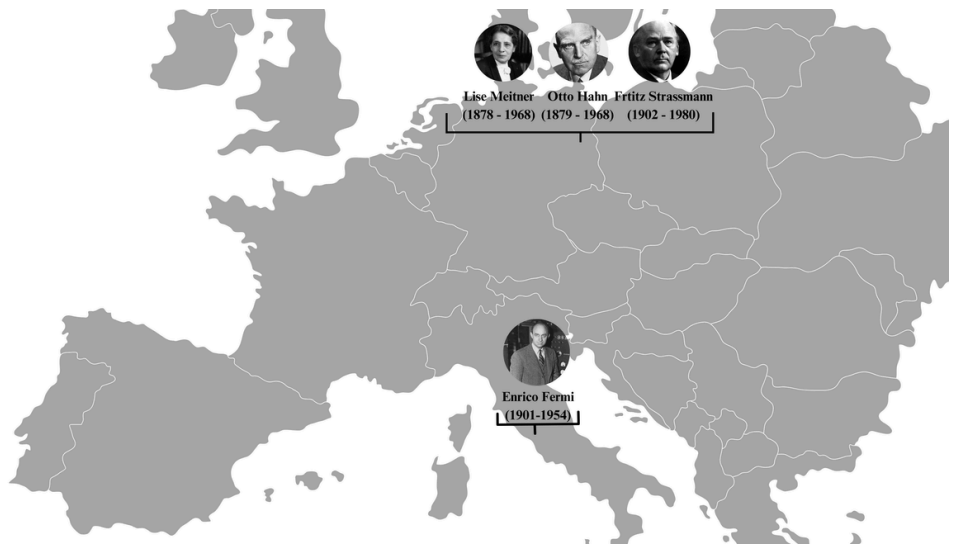


Figura 2. Alguns dos cientistas que contribuíram na descoberta da energia nuclear.

pudesse ser convertida em energia elétrica para abastecer grandes populações.

vizinhos, a reação aconteceria em cadeia e poderia ser automatizada.

A resposta para isso veio na própria fissão: ao dividir um núcleo de urânio, ele libera também nêutrons como aquele que provocou a fissão do átomo de partida (Figura 3). Se conseguíssemos juntar material suficiente* para garantir que essas partículas neutras liberadas atingissem os átomos

MASSA CRÍTICA

*Após descobrir a fissão, o desafio era encontrar a massa crítica: a quantidade mínima de massa de urânio necessária para sustentar a reação nuclear em cadeia. Se a massa fosse insuficiente, os nêutrons escapariam sem provocar novas fissões.

Sob a liderança de Robert Oppenheimer (1904-1967), o Projeto Manhattan dos EUA conseguiu determinar a massa crítica, testando com sucesso a primeira bomba atômica em 1945, em Los Alamos, Novo México.

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA FISSÃO NUCLEAR

A conversão da energia nuclear em elétrica acontece nas chamadas usinas nucleares, onde a reação de fissão ocorre em cadeia. Um processo como este, devido a quantidade gigantesca de energia gerada, deve ser realizado sob controle rigoroso, com equipamentos específicos e operadores altamente capacitados. O histórico de alguns acidentes podem contribuir para acharmos que energia nuclear e perigo andam juntos, mas hoje em dia, os riscos que levam a um acidente em uma usina já são conhecidos e o ambiente é muito mais seguro do que pensamos.

Após quase um século de usinas em operação, a experiência revela que com responsabilidade, fiscalização e educação, o perigo que uma usina oferece para a população que vive longe de uma instalação nuclear é muito baixo. Os reatores de hoje incorporam tecnologias que respondem rapidamente ao menor indício de falhas. Dito isso, vamos entender como uma usina funciona?



Fonte: World Nuclear Association, 2023.

Figura 4. Porcentagem das reservas globais de urânio.

Para a usina funcionar é preciso produzir um combustível nuclear constituído de um material físsil, melhor dizendo, material que contém núcleos que, ao serem bombardeados, sustentam uma reação em cadeia de fissão, como por exemplo o urânio. Este tipo de combustível é produzido começando pela **extração de minérios de urânio da natureza**. A figura 4 mostra como está a distribuição global da mineração de urânio. O minério mais conhecido é a uraninita, composta por uma mistura de dióxido de urânio (UO_2) com octóxido de triurânio (U_3O_8) e outras impurezas.

A extração dos minérios nada mais é do que a separação dos minerais que compõem o solo de uma determinada região.

Depois da mineração, os minérios são moídos e triturados e, após transformarem-se num pó, são irrigados com soluções concentradas ácidas, alcalinas ou peróxidos para dissolver e remover os sais de urânio indesejados.

Após a secagem são formados grânulos amarelos com várias substâncias de urânio que ficou conhecido como **“yellowcake”**, mas até então, o urânio ainda não pode ser considerado pronto para passar pela fissão. O “yellowcake” passa por seguidos processos de purificação até que seja **convertido** no gás hexafluoreto de urânio (UF_6).

A próxima etapa é o famoso **enriquecimento de urânio**. Mas o que significa enriquecer o urânio?

Ao minerar o urânio na natureza, existem duas formas de átomos deste mesmo elemento que estão misturadas no minério, o urânio-235 e o urânio-238, mas apenas o U-235 é do interesse das usinas. Vamos lembrar que um átomo pode ser entendido como uma camada externa de elétrons e um núcleo formado por prótons e nêutrons. Átomos de um mesmo elemento químico podem ter diferentes números de nêutrons no seu núcleo, sendo chamados isótopos, e com o urânio não é diferente. O isótopo urânio-238 contém noventa e dois prótons e cento e quarenta e seis nêutrons no núcleo, enquanto o isótopo urânio-235 contém três partículas neutras a menos.

No geral, átomos que tem um número par de prótons e nêutrons conseguem balancear a perturbação causada pelo nêutron bombardeado e não dão início à fissão.

A diferença de número de partículas no núcleo faz com que o urânio-238 seja mais pesado, tornando possível separar os dois e aumentar a concentração de urânio físsil na amostra. Ao submeter o hexafluoreto de urânio a rotações em velocidades extremamente altas, os isótopos são separados e o hexafluoreto de urânio fica concentrado com U-235, então chamado **enriquecido**, garantindo que os produtos da fissão atinjam átomos vizinhos e próprios para seguir no preparo de combustível.

O processo já está quase terminando. Com os diferentes

isótopos de urânio separados, podemos pegar o urânio enriquecido e submetê-lo à uma última **reconversão** em dióxido de urânio. Agora sim, resta apenas formar pastilhas com o dióxido de urânio e mandá-las para os reatores da usina nuclear, finalizando o chamado **ciclo do combustível nuclear (Figura 5)**.

Diferentemente de uma bomba, a reação em cadeia na usina é feita totalmente sob controle! Toda usina nuclear conta com um reator que pode ser do tipo térmico ou rápido, mas a maioria das centrais elétricas nucleares utiliza reatores térmicos, pois eles são mais seguros, apresentando menos riscos. Reatores do tipo térmico utilizam de um meio moderador para desacelerar os nêutrons que são produtos da fissão, enquanto um reator rápido conta com a desaceleração natural dos nêutrons como forma de controle da reação.

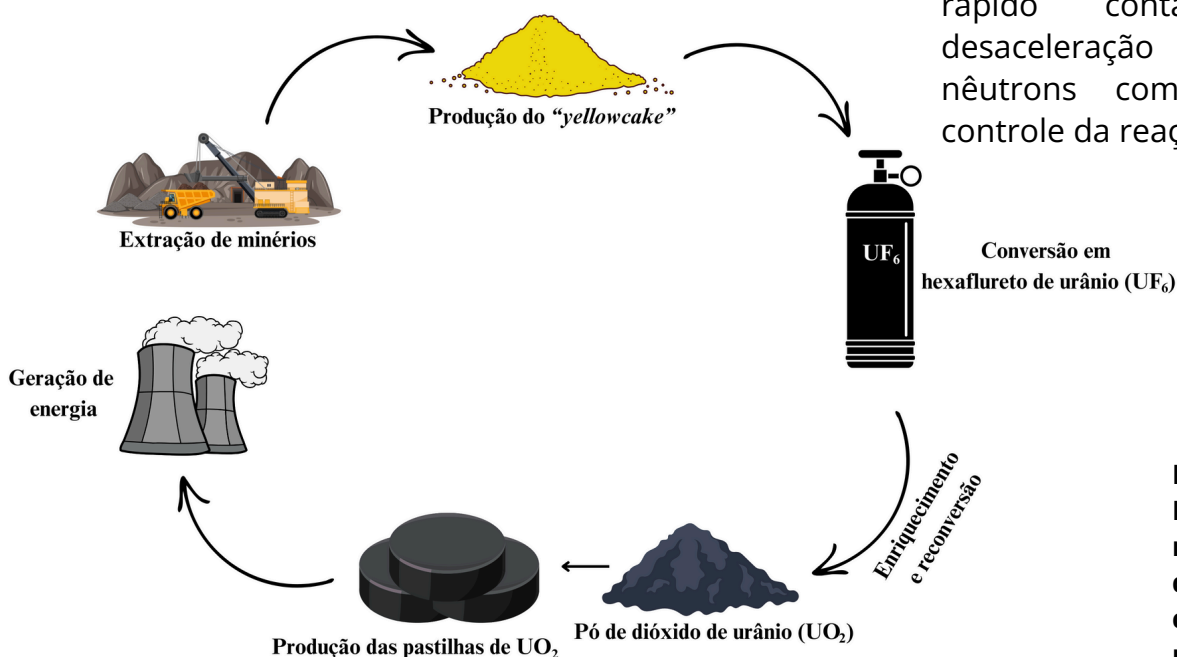


Figura 5.
Esquema representacional do ciclo do combustível nuclear.

Se o meio moderador for a água, como no caso dos reatores brasileiros, a energia que a água absorve por frear os nêutrons emitidos eleva a temperatura da água, formando um vapor d'água que à temperatura e à pressão adequadas consegue girar uma turbina associada a um gerador elétrico, produzindo eletricidade de forma semelhante às termelétricas, porém sem envolver a queima de combustíveis fósseis. Essa energia é reservada e levada para distribuição em seus diferentes usos.

Em resumo, quando falamos em energia nuclear, estamos nos referindo exatamente a energia contida nos núcleos atômicos e como podemos extrai-la nas usinas nucleares para gerar outras formas de energia que são usadas em diversos processos tecnológicos. Mas a outra pergunta ainda continua, o Brasil dá conta de fazer isso?

O BRASIL NA CORRIDA NUCLEAR

Atualmente, o Brasil tem três centrais nucleares, localizadas em Angra dos Reis no Rio de Janeiro, que funcionam a base de urânio e água pressurizada. Em vista de colocar o Brasil na corrida pela geração de energia nuclear, o governo militar brasileiro promoveu a construção da primeira central elétrica do país ainda em 1970. O acordo foi fechado com uma empresa estadunidense e a primeira unidade nuclear ficou conhecida como Angra 1 (Figura 6).

Em 1981, o Programa Nuclear Brasileiro sofreu duras críticas à construção da primeira usina. O atraso das obras, a falta de combustível e de mão de obra capacitada não foram bem recebidos. Mesmo assim, foi aprovada a construção de novas centrais nucleares que ficariam conhecidas como Angra 2 e Angra 3. A segunda usina começou a operar apenas em 2001, enquanto até hoje as obras de Angra 3 não terminaram. Quando finalizadas, as três usinas nucleares serão responsáveis por abastecer 60% de todo o Estado do Rio de Janeiro.



Foto: Divulgação/Mike Peel.

Figura 6. Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto. Angra 1 localizada à esquerda, Angra 2 à direita e Angra 3 ao fundo.

Quando o assunto é energia nuclear, apontar o subdesenvolvimento do programa brasileiro é algo comum, mas quando será que o problema começou? Seria justo pensarmos que a única justificativa é a má gestão dos governantes brasileiros?

Não podemos falar sobre a história da energia nuclear no Brasil sem falar do Almirante Álvaro Alberto da Mota e Silva (1889-1976). Com o início da corrida mundial para o desenvolvimento e aplicação da energia nuclear, o Brasil enfrentava obstáculos de qualificação e ensino superior de qualidade que pudessem formar pessoas capazes de operar uma usina nuclear sem correr grandes riscos.

Com a articulação política de Álvaro Alberto (Figura 7), o Brasil criou o Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) e o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). Além disso, o Almirante foi o representante na Comissão de Energia Atômica das Nações Unidas.

O Almirante foi responsável por criar políticas nacionais aos moldes de países desenvolvidos para colocar o Brasil na corrida como um igual. O estímulo ao ensino superior da física nuclear, a estatização das reservas naturais do Brasil, a atribuição do programa nuclear brasileiro ao Estado e as relações de exportação foram frutos de sua administração do CNPq.

Por haver um déficit tecnológico no Brasil, o país não conseguia enriquecer urânio em seu próprio território. A tecnologia do enriquecimento representava uma ameaça na política internacional caso fosse usada para fins bélicos e era um segredo guardado a sete chaves por cada país que a dominava. Desse jeito, a busca

por parcerias que ajudassem o desenvolvimento autônomo e nacional de enriquecimento de urânio enfrentou barreiras diplomáticas severas, principalmente com os Estados Unidos.

Perto do final da Segunda Guerra, o Brasil havia estabelecido um acordo com os EUA a fim de exportar monazita, mineral rico em material físsil. Este acordo foi vetado em 1945 após as explosões em Hiroshima e Nagasaki, evitando manchar a imagem da diplomacia brasileira com uma associação ao massacre.

Foi em 1954 que o governo brasileiro tentou novamente negociar a exportação de minérios, mas desta vez sob a liderança de Álvaro Alberto. Com sua política em jogo, a negociação só aconteceria se respeitasse o princípio das compensações específicas. Mas como essa nova política poderia representar um avanço para o país? Desta vez, não era apenas dinheiro que estava em jogo. O valor pago no fornecimento de minérios deveria ser compensado com a transferência de conhecimento e tecnologias que ajudassem o Brasil a desenvolver sua própria produção de energia nuclear.

Pela possível aplicação militar, o governo dos EUA se opôs a concordar com tais termos. Assim, o governo brasileiro precisou procurar novos parceiros e recorreu ao continente europeu, principalmente com a França e com a Alemanha, comprando deste último quatro ultracentrífugas por 80 mil dólares. A reação norte-americana foi imediata: por fazer parte das forças que ocupavam e lideravam a Alemanha derrotada pós-guerra, vetou a construção dos equipamentos comprados pelo Brasil e impediu a finalização da compra. O preço já havia sido pago e o Brasil só recebeu as ultracentrífugas dois anos depois, quando a Alemanha recuperou sua soberania e a tecnologia já havia sido superada.



Figura 7.
Almirante
Álvaro Alberto
da Mota e
Silva.

Considerando isso, é inegável que esses vetos aplicados ao Brasil e a dificuldade de negociação entre os países atrasou o nosso desenvolvimento como nação autônoma. Com a saída de Getúlio Vargas do Poder Executivo, a oposição que assumiu o poder buscava uma melhor relação diplomática com os EUA e expressaram críticas sobre a administração de Álvaro Alberto.

Em 1955, após uma forte resistência que duvidava da competência do Almirante e a articulação de documentos que o acusavam de má administração, Álvaro Alberto pediu exoneração do seu cargo. Em novembro do mesmo ano, o Brasil assinou um acordo que finalmente agradou aos EUA: a exportação de monazita em troca de trigo.

A importação de urânio enriquecido foi uma realidade sem perspectiva de superação por muito tempo. Foi apenas em 1987 que o presidente José Sarney anunciou que o Brasil havia desenvolvido tecnologia 100% nacional que permitia o enriquecimento no território brasileiro. Com esta conquista o país alcançava autonomia, mesmo que por passos pequenos, em uma das questões de maior confidencialidade das potências nucleares do norte global.

Atualmente, a produção de urânio enriquecido está concentrada no Rio de Janeiro com tecnologias desenvolvidas pelo Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP) em parceria com o

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN /CNEN), colocando o Brasil entre um dos menos de 20 países do mundo que detém tal tecnologia.

PERSPECTIVAS DE FUTURO

O Plano Nacional de Energia prevê para 2030 a implementação de mais quatro usinas novas em Pernambuco e Minas Gerais, mas como falar em expandir a energia nuclear e instalação de novas usinas para acompanhar o ritmo internacional se o país ainda enfrenta demandas do século passado?

O governo do atual presidente Lula colocou as obras de Angra 3 em pauta novamente no começo de 2024.

Com a visita do presidente francês Emmanuel Macron ao Brasil, o presidente brasileiro buscou fechar um novo acordo que pudesse finalizar as obras de Angra 3 em troca da exportação de urânio. A matriz energética francesa é altamente dependente da energia nuclear e em troca da exportação de combustível, a França financiaria a finalização das obras da usina nuclear. Mesmo parecendo promissor para os dois lados, o acordo não foi para frente.



Foto: CNN Brasil.

Figura 8. Passagem do presidente francês no Brasil.

TECNOLOGIA NUCLEAR, PARA QUÊ?

Apesar de ser uma opção viável para outros países, o Brasil não é um dos maiores emissores de gases do efeito estufa, assim como não tem uma matriz energética escassa de energia limpa. Em conclusão, o futuro da participação nuclear na matriz energética brasileira ainda é incerto e enfrenta problemas de infraestrutura. A verdade é que incluir a energia nuclear na matriz energética depende diretamente da demanda e das necessidades da população. Com o funcionamento de Angra 3, a energia nuclear representaria apenas 3% da matriz energética brasileira. Por que então investir em tecnologia nuclear?

Com tudo apresentado até aqui, pode parecer que o desenvolvimento da tecnologia nuclear brasileira é um projeto que estará sempre atrasado e que não merece atenção. Entretanto, precisamos entender que a tecnologia nuclear vai muito além da energia elétrica!

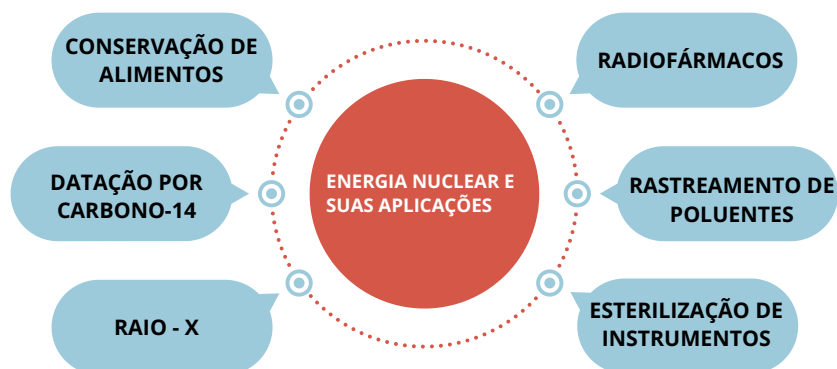
A Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, é responsável por estudar outras aplicações de substâncias radioativas no nosso dia a dia. Você já ouviu falar dos radiofármacos?

Apesar de parecer que a energia nuclear é uma vilã que faz mal, a radioatividade é constantemente usada na medicina. Os radiofármacos são usados nos exames de imagem que auxiliam

o diagnóstico que só pode ser concluído graças à radioatividade.

Ao realizar uma cirurgia, por exemplo, os profissionais da saúde precisam garantir que todo o procedimento seja seguro. Alguns dos materiais usados no ambiente hospitalar como luvas cirúrgicas, seringas e outros só podem ser esterilizados através da irradiação de radioatividade que também incorpora tecnologia desenvolvida pela CNEN.

Alguns alimentos também passam por irradiação para eliminar microrganismos que contribuem no processo de decomposição. Esse processo não torna o alimento radioativo e nem o torna tóxico, mas garante que sejam conservados por mais tempo. A lista de aplicações não para por aí. Poderíamos falar sobre os processos de rastreamento de poluentes no meio ambiente, o controle de qualidade de algumas indústrias, a datação de fósseis e outros procedimentos que só são realizados com excelência quando um país domina a tecnologia nuclear



Não é segredo que a energia nuclear exerce influência na política internacional. O Brasil detém a oitava maior reserva de urânio do mundo e é um agente ativo nas negociações internacionais de energia nuclear. Além de diversificar a matriz energética, o avanço da tecnologia nuclear nacional significa a consolidação da soberania brasileira como uma potência científica.

É inegável que nosso avanço ainda sofre do subdesenvolvimento causado por séculos de exploração, mas a história nos mostra como o Brasil se reergueu e conseguiu alcançar uma posição respeitável através de uma política de Estado que valorizava a capacitação e produção de ciência nacional. O futuro ainda é incerto, mas não podemos ficar para trás. Finalizar as obras de Angra 3 ainda parece distante, mas é preciso seguir em frente para garantir a manutenção do bem-estar social e a superação dos obstáculos tecnológicos.