



**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE EDUCAÇÃO**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO  
EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**DISSERTAÇÃO**

**Além do Reator: Desafios na Cidade Radioativa -  
Ensinando Física Nuclear e das Radiações Através do  
Jogo**

**TÁBATHA CRISTINA DE AMORIM  
FERREIRA SAMPAIO**

**2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**

**INSTITUTO DE EDUCAÇÃO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**Além do Reator: Desafios na Cidade Radioativa - Ensinando  
Física Nuclear e das Radiações Através do Jogo**

**TÁBATHA CRISTINA DE AMORIM FERREIRA SAMPAIO**

*Sob orientação dos professores*  
**Cláudio Maia Porto**  
**Francisco Antônio Lopes Laudares**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Educação em Ciências e Matemática, no Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática.

Área de concentração: Ensino e Aprendizagem de Ciências e Matemática

Linha de Pesquisa: Linguagens, tecnologias e inovações nos processos de ensino e de aprendizagem

Projeto de Pesquisa: A Física no Cotidiano: produção de materiais e módulos experimentais didáticos para o ensino de Física

Seropédica, RJ

Março, 2025



Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S191a Sampaio, Tábatha Cristina de A.F, 1991-  
Além do Reator: Desafios na Cidade Radioativa -  
Ensinando Física Nuclear e das Radiações Através do  
Jogo / Tábatha Cristina de A.F Sampaio. - Nova  
Iguáçu, 2025.  
375 f.: il.

Orientador: Cláudio Maia Porto.  
Coorientador: Francisco Antônio Lopes Laudares.  
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA, 2025.

1. Ensino de Nuclear. 2. Ensino Lúdico. 3. Ensino  
de Física. 4. Jogos no Ensino de Física. I. Porto,  
Cláudio Maia , 1968-, orient. II. Laudares, Francisco  
Antônio Lopes , 1973-, coorient. III Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro. PROGRAMA DE PÓS  
GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA. IV.  
Título.



Firefox



[https://sipac.ufrrj.br/sipac/protocolo/documento/documento\\_visualizacao...](https://sipac.ufrrj.br/sipac/protocolo/documento/documento_visualizacao...)



**ATA Nº 1314 / 2025 - PPGEDUCIMAT (12.28.01.00.00.00.18)**

**Nº do Protocolo: 23083.019756/2025-11**

**Seropédica-RJ, 15 de abril de 2025.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**  
**INSTITUTO DE EDUCAÇÃO**

**TÁBATHA CRISTINA DE AMORIM FERREIRA SAMPAIO**

Dissertação/Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Educação em Ciências e Matemática**, no Curso de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, área de Concentração Ensino e Aprendizagem de Ciências e Matemática.

DISSERTAÇÃO (TESE) APROVADA EM 31 / 03 / 2025

Claudio Maia Porto. Dr. UFFRJ  
(Orientador)

Francisco Antonio Lopes Laudares. Dr. UFFRJ  
(Coorientador)

Gisela Maria da Fonseca Pinto. Dr. UFFRJ

Viviane Morelle de Almeida. Dr. UFFRJ

Sergio Eduardo Silva Duarte. Dr. CEFET/RJ

*(Assinado digitalmente em 17/04/2025 10:53 )*  
CLAUDIO MAIA PORTO

*(Assinado digitalmente em 17/04/2025 12:27 )*  
FRANCISCO ANTONIO LOPES LAUDALES



Firefox

[https://sipac.ufrrj.br/sipac/protocolo/documento/documento\\_visualizacao...](https://sipac.ufrrj.br/sipac/protocolo/documento/documento_visualizacao...)

*COORDENADOR CURS/POS-GRADUACAO*  
CoordCGFis (12.28.01.00.00.56)  
Matrícula: 1168136

*PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR*  
DeptF (12.28.01.00.00.62)  
Matrícula: 1374365

(Assinado digitalmente em 16/04/2025 08:23 )  
GISELA MARIA DA FONSECA PINTO  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
ICE (12.28.01.23)  
Matrícula: 1604226

(Assinado digitalmente em 28/04/2025 23:08 )  
VIVIANE MORCELLE DE ALMEIDA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DeptF (12.28.01.00.00.62)  
Matrícula: 1921779

(Assinado digitalmente em 16/04/2025 19:00 )  
SÉRGIO EDUARDO SILVA DUARTE  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 967.081.907-53

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp>  
informando seu número: **1314**, ano: **2025**, tipo: **ATA**, data de emissão: **15/04/2025** e o código  
de verificação: **440dd02da0**



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por nunca me deixar desistir, mesmo nos momentos mais difíceis. Aos meus pais, por todo o apoio e incentivo ao longo dessa jornada. Sem vocês, nada disso seria possível. À minha mãe, em memória, que tenho certeza estaria muito orgulhosa... essa conquista também é sua. Ao meu irmão, que, com seu jeitinho único, sempre me motivou e esteve por perto, torcendo por mim.

Aos meus amigos que me acompanharam nessa caminhada, meu muito obrigado por cada palavra de apoio, cada gesto de carinho. E, claro, ao meu companheiro Júlio Cesar, que esteve ao meu lado em todos os momentos. Obrigada por me incentivar, por me apoiar em tudo e por nunca soltar a minha mão.

Por fim, aos meus orientadores, Cláudio Maia e Francisco Laudares, que me acompanharam de perto, oferecendo apoio, conselhos e dedicação em cada etapa desse projeto, meu sincero agradecimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. "This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"



## RESUMO

SAMPAIO, Tábatha. **Além do Reator: Desafios na Cidade Radioativa - Ensinando Física Nuclear e das Radiações Através do Jogo. RJ. 2025.** Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática). Instituto de Educação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2025.

Esta pesquisa visa a tratar da questão de como promover um ensino significativo e eficaz de Física Moderna e Contemporânea, em particular da Física Nuclear, por meio de uma metodologia ativa centrada em jogos. O tema foi escolhido com base na sua relevância, sobretudo em termos de implicações sociais, tal como estabelecida na abordagem CTS. Para o desenvolvimento do projeto foi realizada primeiramente uma pesquisa bibliográfica sobre os temas das diferentes versões da proposta CTS, sobre a questão da transposição didática de conhecimentos científicos mais avançados e sobre o uso de metodologias ativas centradas em jogos. Em seguida, fizemos uma pesquisa qualitativa focalizada na construção de um entendimento aprofundado da estrutura do jogo, enquanto um objeto educacional. O resultado dessa investigação foi a proposta de um jogo de tabuleiro de caráter colaborativo, explorando o tema da radioatividade e da contaminação nuclear, a ser oferecido aos professores como oportunidade de atividade lúdica de aprendizagem.

**Palavras-chave:** Ensino de Nuclear; Ensino Lúdico; Ensino de Física; Jogos no Ensino de Física;



## ABSTRACT

This research aims to address the issue of how to promote meaningful and effective teaching of Modern and Contemporary Physics, particularly Nuclear Physics, through an active methodology centered on games. The theme was chosen based on its relevance, especially in terms of social implications, as established in the STS(science technology and society) approach. For the project development, a bibliographic research was initially conducted on the themes of the different versions of the STS proposal, on the issue of the didactic transposition of more advanced scientific knowledge, and on the use of active methodologies centered on games. Subsequently, we conducted a qualitative research focused on building a deep understanding of the game structure as an educational object. The result of this investigation was the proposal of a collaborative board game, exploring the theme of radioactivity and nuclear contamination, to be offered to teachers as an opportunity for playful learning activity.

Figura 1- Meios, na internet, mais utilizados para obter informações sobre C&T .....	6
Figura 2- Conhecimento sobre instituições de pesquisa no Brasil.....	7
Figura 3- Frequência que brasileiros participam de manifestações relacionadas a ciências e tecnologia.....	16
Figura 4- Metodologias Ativas.....	38
Figura 5- O Tabuleiro.....	55
Figura 6- Quarto do Cientista .....	57
Figura 7- Modelo de situação problema: Exemplo de pergunta de maneira indireta.	59
Figura 8- Exemplo de pergunta de maneira direta .....	59
Figura 9- Exemplo de Elementos Extras.....	70
Figura 10-Carta consequênciapositiva: acesso a locais especiais .....	71
Figura 11-Carta consequênciapositiva: Carta Curinga.....	72
Figura 12-Contador Geiger .....	73
Figura 13-Roupas de proteção especial.....	73
Figura 14-Requisitos de Entrada completos.....	74
Figura 15-O Mapa de Saída – Emergência .....	75
Figura 16- Pergunta indireta- Palavras cruzadas.....	79
Figura 17- Contador Geiger .....	80
Figura 18- Carta enviada entre os cientistas.....	84



TABELA 6-1 Aspectos Pedagógicos (1.1) .....	87
TABELA 6-2 Aspectos Pedagógicos (1.2) .....	88
TABELA 6-3 Aspectos Pedagógicos (1.4) .....	89
TABELA 6-4 Dinâmica e Jogabilidade (2.1) .....	89
TABELA 6-5 Dinâmica e Jogabilidade (2.2) .....	90
TABELA 6-6 Dinâmica e Jogabilidade (2.3) .....	90
TABELA 6-7 Impacto no Aprendizado (3.1) .....	91
TABELA 6-8 Impacto no Aprendizado (3.2) .....	91
TABELA 6-9 Aspectos Físicos do Jogo (5.1) .....	92
TABELA 6-10 Aspectos Físicos do Jogo (5.2) .....	93
TABELA 6-11 Aspectos Físicos do Jogo (5.3) .....	93
TABELA 6-12 Aspectos Físicos do Jogo (5.4) .....	94
TABELA 6-13 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.1) .....	95
TABELA 6-14 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.2) .....	95
TABELA 6-15 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.3) .....	96
TABELA 6-16 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.4) .....	96
TABELA 6-17 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.5) .....	97
TABELA 6-18 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.6) .....	97
TABELA 6-19 Avaliação do Mapa do Jogo (7.2) .....	99
TABELA 6-20 Avaliação do Mapa do Jogo (7.4) .....	100
TABELA 6-21 Avaliação das Cartas do Jogo (8.1).....	100
TABELA 6-22 Avaliação das Cartas do Jogo (8.2).....	101
TABELA 6-23 Avaliação das Cartas do Jogo (8.3).....	101
TABELA 6-24 Avaliação das Cartas do Jogo (8.4).....	102
TABELA 6-25 Avaliação das Situações Apresentadas no Jogo (9.1) .....	102
TABELA 6-26 Avaliação das Situações Apresentadas no Jogo (9.2) .....	103
TABELA 6-27 Avaliação das Situações Apresentadas no Jogo (9.3) .....	103
TABELA 6-28 Avaliação das Situações Apresentadas no Jogo (9.4) .....	104
TABELA 6-29 Avaliação das Imagens Utilizadas no Jogo (10.1) .....	105
TABELA 6-30 Avaliação das Imagens Utilizadas no Jogo (10.2) .....	105
TABELA 6-31 . Avaliação da Descrição dos Locais no Jogo (11.1) .....	106
TABELA 6-32 . Avaliação da Descrição dos Locais no Jogo (11.2) .....	106
TABELA 6-33 . Avaliação da Descrição dos Locais no Jogo (11.3) .....	107



TABELA 6-34 . Avaliação do Diário do Cientista (12.1) .....	108
TABELA 6-35 . Avaliação do Diário do Cientista (12.2) .....	108
TABELA 6-36 . Avaliação do Diário do Cientista (12.3) .....	109
TABELA 6-37 . Avaliação do Diário do Cientista (12.4) .....	109
TABELA 6-38 . Avaliação do Diário do Cientista (12.5) .....	109
TABELA 6-39 . Avaliação do Diário do Cientista (12.6) .....	110



## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. A ABORDAGEM CTS E O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR .....</b>	<b>4</b>
2.1    Como entender a tecnologia para a utilização dentro do CTS .....	4
2.2    O Ensino e o CTS.....	8
2.3    Abordagens CTS e os temas atuais.....	9
2.3.1    O enxerto CTS .....	10
2.3.2    Ciéncia e Tecnologia através do CTS .....	12
2.3.3    CTS Puro.....	13
2.4 CTS e o Ensino de Física.....	14
2.4    A Importânciа do CTS para sociedade e a física nuclear e das radiações .....	16
2.6    A Proposta CTS que Será Utilizada e a Escolha do Tema .....	17
2.7. O Ensino de física nuclear e das radiações .....	18
2.8. A BNCC e o Ensino de Física .....	20
2.9.    A Física Nuclear, apropriação das pessoas sobre o tema e a mídia.....	21
<b>3. TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA, JOGOS E O ENSINO DE FÍSICA .....</b>	<b>26</b>
3.1. A transposição didática .....	26
3.2 Teoria da Aprendizagem Lúdica .....	29
3.3. Evolução dos Jogos para Jogos Didáticos .....	30
3.4    O Uso de Jogos na Educação: Transformando Aprendizado e Engajamento .....	32
3.5    Jogos Como Métodos Para a Transposição Didática .....	33
3.6    Exemplos de transposição didática feitas para o produto educacional .....	34
3.7    Metodologia Ativa e Abordagem com o Uso de Jogos Didáticos .....	37
3.7.1    Aprendizagem Baseada em Problemas (Problem-Based Learning – PBL).....	39
3.7.2    A Teoria do Aprendizado em Jogos (Game-Based Learning- GBL) .....	41
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>43</b>
4.1 Tipos de pesquisas .....	45
4.2 Validação do produto e a abordagem quantitativa.....	45
4.2.1 Validação de Jogos Educacionais por Meio Avaliativa.....	45
4.2.2    Validação em Grupos de Educadores .....	46



4.2.3 Validação por Especialistas .....	47
4.3 Procedimentos Metodológicos .....	47
4.4 Resumo das Características da Pesquisa Quantitativa e Métodos de Análise .....	48
4.5 Processo de Validação do Jogo .....	49
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
5.1 PROPOSTA DO PRODUTO DIDÁTICO .....	51
5.1. Elaboração e construção do jogo .....	51
5.2. A abordagem geral do jogo .....	52
5.3. O funcionamento do Jogo .....	53
5.4. A construção do ambiente do jogo .....	53
5.5. Elementos do Jogo .....	54
5.5.1 Tabuleiro/ Mapa .....	54
5.5.2 Descrição dos locais .....	55
5.5.3 As ações do jogo- Perguntas .....	58
5.5.4 Dinâmica do Tempo do jogo .....	60
5.5.5 O papel do mestre (orientador).....	63
5.5.7. Livro do orientador (Mestre).....	63
5.5.8. Livro de Regras .....	64
5.5.9. Diário do cientista .....	64
5.5.10. Fases e perguntas.....	65
5.5.11. Estrutura das Fases e Contextos.....	66
5.5.12. Componentes de Cada Local .....	66
5.5.13. Organização das Informações no Jogo .....	67
5.5.14. Contextos .....	67
5.5.15 Elementos Extras.....	69
5.5.16 A tabela (Prontuário).....	75
5.5.17 Material para Impressão .....	76
5.6. Vamos jogar? .....	76
5.7 Sugestão de Avaliação do aprendizado dos alunos.....	85



6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS: VALIDAÇÃO DO PRODUTO .....	86
7. CONCLUSÃO .....	115
8. REFERÊNCIAS.....	118
<b>APÊNDICE A - APRESENTAÇÃO DO JOGO EDUCATIVO – ALÉM DO REATOR .....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>143</b>
1.1. Questionário de Validação do Jogo Educativo sobre Física Nuclear e das radiações	
	143



## 1. INTRODUÇÃO

O ensino de física enfrenta desafios significativos na transmissão de conceitos complexos de uma maneira que sejam compreensíveis e engajadores para os alunos. De um modo geral, o ensino dessa disciplina tem se baseado em métodos expositivos, que são centrados no professor, o que pode resultar em um distanciamento dos estudantes e em uma menor retenção do conhecimento. Neste contexto, a busca por metodologias inovadoras que possam melhorar a eficácia do ensino e promover um aprendizado mais ativo e participativo é cada vez mais utilizada. É nesse cenário que esta dissertação se insere, explorando a utilização de jogos educativos em combinação com metodologias ativas de ensino, como a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), assim como o uso do modelo Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Como abordagem para este trabalho utilizamos o modelo Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS)(Campos,2017), que propõe uma abordagem integradora, procurando situar o conhecimento científico e tecnológico dentro de um contexto social, cultural e ético. Este modelo enfatiza a conexão entre ciência, tecnologia e suas implicações sociais, encorajando os estudantes a refletirem sobre o impacto da ciência e da tecnologia em suas vidas e na sociedade como um todo. Assim sendo, a abordagem sugere um elenco de temas a serem explorados no ensino de ciências, dada sua relevância para o debate social. A física nuclear, em particular as questões relacionadas à radioatividade, situa-se nessa lista de temas sugeridos. Deste modo, ao adotar-se o modelo CTS no ensino de Física Nuclear, busca-se não apenas transmitir os conhecimentos científicos propostos dentro do ensino, mas também desenvolver uma consciência crítica sobre o papel e as consequências da ciência nuclear na sociedade contemporânea.

Por sua vez, a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) ((Lovato et al., (2018)) é uma metodologia que coloca os estudantes no centro do processo educativo, desafiando-os a resolver problemas reais ou simulados de maneira colaborativa. Esta abordagem não apenas estimula o desenvolvimento do pensamento crítico e da capacidade de resolver problemas, mas também promove uma maior retenção do conhecimento, já que os estudantes são ativos no seu próprio aprendizado.

Como ferramenta para colocar em prática as metodologias ativas, foram utilizados os jogos didáticos, que têm demonstrado um potencial significativo na facilitação do aprendizado, proporcionando um ambiente interativo e motivador que pode tornar conceitos abstratos mais



concretos e acessíveis. No contexto do ensino de Física Nuclear e das radiações, os jogos podem servir como ferramentas muito úteis para ilustrar princípios teóricos complexos, simular fenômenos que não podem ser observados diretamente e permitir que os estudantes experimentem e descubram conceitos por meio de uma prática didática de caráter lúdico.

Por fim, este trabalho teve sempre em mente o aspecto da transposição didática. Esta última é uma metodologia que visa adaptar o conhecimento científico a uma exposição mais simples, de maneira que seja comprehensível e ensinável aos estudantes. No contexto desta dissertação, a transposição didática é utilizada para converter conceitos complexos de Física Nuclear e das radiações em conteúdos acessíveis, que possam ser explorados de maneira eficaz por meio de jogos educativos e da metodologia de PBL.

Esta dissertação tem como problema de pesquisa investigar como promover uma abordagem eficaz e significativa do ensino de física nuclear e das radiações baseado em uma metodologia ativa centrada em jogos, desenvolvendo um jogo didático fundamentado em metodologias ativas como a de aprendizagem baseada em problemas. Em sintonia com os princípios da abordagem CTS, e com as temáticas consideradas relevantes, o objetivo é desenvolver um jogo didático voltado para o ensino de física nuclear e das radiações, priorizando seu processo de criação, estruturação e implementação como um recurso educacional inovador. O foco principal é a elaboração de um produto educacional que facilite a compreensão desses conceitos complexos de forma lúdica e acessível, promovendo maior engajamento dos estudantes e possibilitando sua futura aplicação no contexto escolar. Dessa forma, buscamos tornar o ensino de física nuclear mais comprehensível e preparar os estudantes para atuar em sociedade de maneira crítica e colaborativa, sendo capazes de refletir e decidir sobre as implicações sociais da ciência, de modo geral, e das questões envolvendo a física nuclear e das radiações, em particular.

Como resposta a esse problema, fundamentado nas metodologias estudadas, desenvolvemos um produto didático na forma de um jogo, que apresenta uma proposta original dentro do ensino de física nuclear e das radiações, com o intuito de facilitar o aprendizado desses temas. Trata-se de um jogo de tabuleiro que visa promover a imersão dos alunos em um ambiente onde a aplicação de conceitos de física nuclear é necessária incentivando a resolução de problemas de maneira colaborativa. Durante o jogo, os estudantes serão desafiados a enfrentar situações-problema que exigem a aplicação dos conceitos aprendidos, promovendo assim uma compreensão mais profunda e prática do conteúdo de física nuclear e das radiações.



O capítulo 2 apresenta a relação entre CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e o ensino de física, com ênfase no ensino de física nuclear e das radiações. Inicialmente, discutimos a abordagem CTS, analisando sua conexão com temas contemporâneos, suas principais vertentes atuais e sua aplicação no ensino. Além disso, destacamos como a escolha do tema deste trabalho foi fundamentada nesses princípios. A partir disso, realizamos uma revisão teórica sobre o ensino de física nuclear e das radiações no nível médio, abordando seus impactos na sociedade. Serão apontados alguns dos preconceitos comuns em relação ao tema, muitas vezes decorrentes do desconhecimento, bem como a influência da mídia na construção dessas percepções, muitas vezes de forma negativa.

No Capítulo 3, abordamos a transposição didática e sua aplicação em jogos didáticos. Inicialmente, exploramos a transposição didática por meio da literatura, destacando suas principais características e sua importância fundamental no ensino de física. Em seguida, discutimos como os jogos didáticos podem ser utilizados para facilitar o ensino de física, assim discutindo a integração dessa abordagem com outras metodologias. Também investigamos como diferentes objetivos de jogos, originalmente não necessariamente didáticos, podem ser adaptados e aplicados a contextos educacionais.

No Capítulo 4 é apresentada a metodologia escolhida para a criação do jogo didático, com base nas concepções abordadas nos capítulos anteriores. Serão detalhadas as metodologias empregadas, os tipos de pesquisa utilizados, e método de validação do produto.

No capítulo 5, apresentamos a discussão dos resultados, detalhando a proposta do produto educacional, seu funcionamento e processo de elaboração. Além disso, realizamos uma análise dos resultados obtidos a partir da validação do produto.

Por fim são trazidas as considerações finais sobre o trabalho, com uma rápida reflexão do impacto da implementação dessa proposta.



## **2. A ABORDAGEM CTS E O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR**

Esse capítulo tem como objetivo apresentar a abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), suas diretrizes, suas vertentes, os temas por ela sugeridos e suas relações com o ensino de física. Também será abordado o ensino de física nuclear e das radiações, bem com os impactos e desafios do tema na sociedade.

### **2.1 Como entender a tecnologia para a utilização dentro do CTS**

Dificilmente podemos conceber o ensino sem pensar nos processos tecnológicos de que se dispõe atualmente. Por isso, essas perspectivas, a saber, ensino e tecnologia, devem estar interligadas. Compreender como a evolução tecnológica impacta a vida das pessoas e contextualizar o conhecimento é de extrema importância para uma convivência democrática na sociedade.

Sociedades/cidadãos mais esclarecidos quanto a Ciência e Tecnologia estão mais aptos a solicitar explicações mais efetivas sobre o porquê e sobre os resultados de projetos de base tecnocientíficos. Podem questionar os valores que fundamentam os objetivos das políticas públicas (manifestação da vontade de fazer dos governos), tanto quanto são capazes de questionar sobre as consequências das tecno ciências a curto médio e longo prazos (Chrispino,2009, p.15).

O tema tecnologia, com todas as invenções e facilidades que ela traz, parece estar mais presente na vida das pessoas do que a pesquisa, o laboratório, a ciência em si e suas aplicações menos imediatas. Em geral, as pessoas não estabelecem uma correlação entre as tecnologias e os métodos científicos, sendo mais frequente se considerar a tecnologia como algo isolado (Freire, 2007).

Atualmente, é crucial entender como as tecnologias estão diretamente conectadas às adaptações ao meio ambiente, ao contexto histórico, às necessidades e ao cenário social, bem como à natureza. Freire (2007) descreve um sistema tecnológico complexo que une empresas, pesquisa, estado e economia. A empresa é o local onde as tecnologias são aplicadas, a pesquisa serve como base para as inovações, os Estados são o fomento – uma vez que é a partir deles que se desenvolvem pesquisas, por meio de programas de inovação e desenvolvimento (I+D), enquanto a economia, como era de se esperar, contribui com os estímulos financeiros para as



inovações tecnológicas. Portanto, o processo de desenvolvimento e incorporação da tecnologia é complexo, e a sociedade deve se conscientizar de que não deve ser apenas uma receptora de decisões, mas sim participar de forma ativa das decisões que envolvem o desenvolvimento de tecnologia.

Nesse sentido, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)<sup>1</sup> realizou uma pesquisa junto ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), com um total de 2.200 pessoas entrevistadas de idade superior aos 16 anos, com “o intuito de conhecer a visão, o interesse e o grau de informação da população em relação à ciência e tecnologia (C&T) no País”. A partir disso foram tirados dados importantes (Brasil,2019).

A primeira informação importante que pode ser tirada é como as pessoas se informam por meio da internet sobre C&T. Seguem abaixo os dados:

---

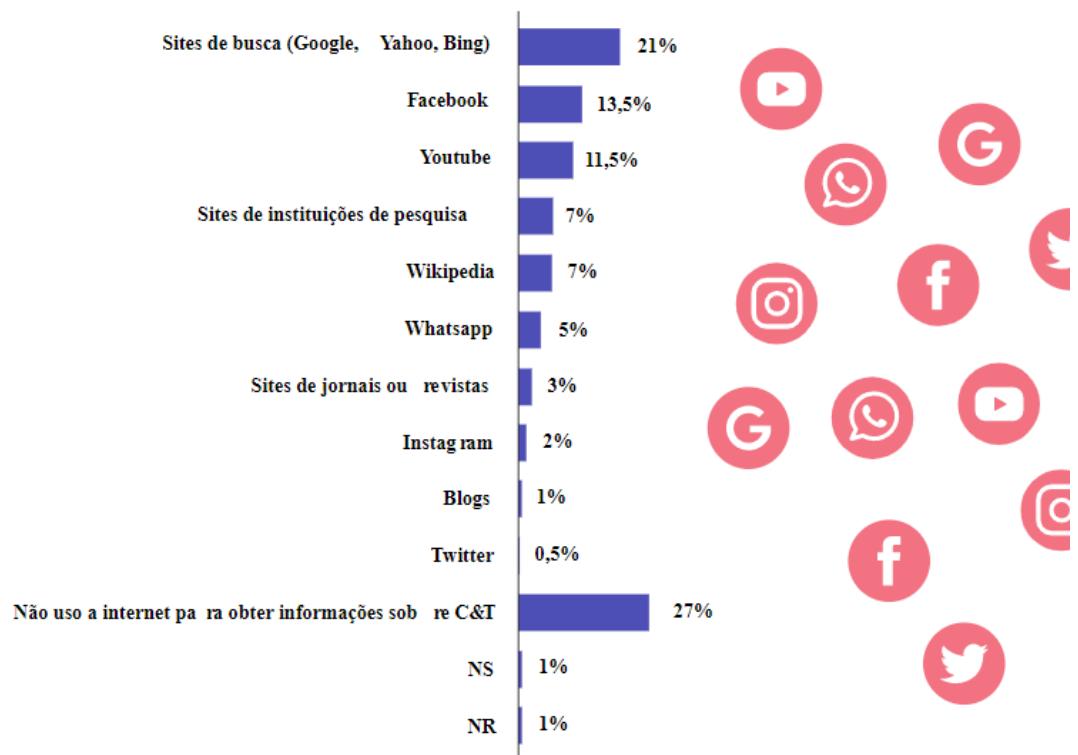
1 O CGEE é uma instituição brasileira vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) que tem como principal objetivo apoiar a formulação e implementação de políticas públicas nas áreas de ciência, tecnologia e inovação.

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) é uma associação civil sem fins lucrativos e de interesse público, qualificada como Organização Social pelo executivo brasileiro, sob a supervisão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Constitui-se em instituição de referência para o suporte contínuo de processos de tomada de decisão sobre políticas e programas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). A atuação do Centro está concentrada nas áreas de prospecção, avaliação estratégica, informação e difusão do conhecimento (INDUSTRIA 4.0,2021).

A instituição realiza estudos estratégicos e análises de impacto que buscam contribuir para o desenvolvimento do Brasil, focando em diversos setores, como saúde, educação, energia, e, claro, ciência e tecnologia. Na página do órgão é possível encontrar o que é definido como a missão da instituição “Subsidiar processos de tomada de decisão em temas relacionados à ciência, tecnologia e inovação, por meio de estudos em prospecção e avaliação estratégica baseada em ampla integração com especialistas e instituições do SNCTI” ( CGEE,2024).



**Figura 1- Meios, na internet, mais utilizados para obter informações sobre C&T**

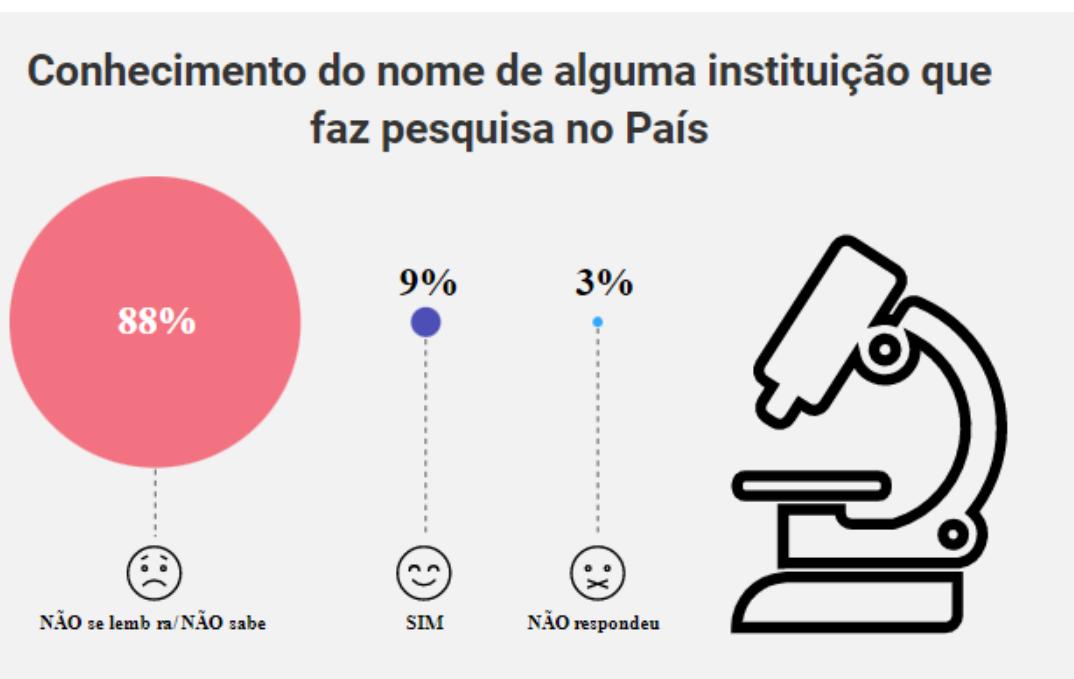


Fonte: Brasil, 2019

Segundo a pesquisa, na internet, a procura ou a obtenção de informações sobre Ciência e Tecnologia (C&T) pelos brasileiros é predominantemente realizada por meio de três canais: sites de busca e as plataformas Facebook e Youtube. Assim, a partir desses indicadores, é possível conduzir uma análise sobre o modo informal como os brasileiros buscam informações, o que não garante que as informações transmitidas sejam de fontes confiáveis.

Outro dado relevante evidenciado pela pesquisa é a falta de conhecimento dos brasileiros acerca de pesquisas científicas no país, incluindo como são conduzidas e por quem são realizadas. Mesmo as principais instituições responsáveis pela produção de conhecimento científico, ou seja, as universidades, foram pouco mencionadas, conforme descrito abaixo:

**Figura 2- Conhecimento sobre instituições de pesquisa no Brasil**



Saindo-se um pouco do tema tecnologia, outro aspecto interessante da pesquisa é como a população enxerga o cientista. Com uma abordagem breve e objetiva, este trabalho não tem a intenção de aprofundar-se nos diversos aspectos dessa questão. A visão negativa da sociedade em relação aos cientistas surge de uma união de fatores sociais, culturais e históricos, que incluem estereótipos estabelecidos, eventos históricos, influência da literatura, cultura popular e uma grande participação da mídia. Em nosso juízo, esta última desempenha um papel fundamental na perpetuação de uma visão distorcida, muitas vezes retratando os cientistas como pessoas excêntricas, obcecadas e desconectadas da realidade, como indivíduos afastados da sociedade, estranhos e, em alguns casos, até mesmo perigosos. Ribeiro (2018) argumenta que o ensino de ciências contribui para a perpetuação desses estereótipos:

O ensino de ciências também reforça a visão individualista e elitista de ciência, que imputa a construção de conhecimentos científicos a gênios isolados, inacessíveis, descartando-se, assim, a importância dos intercâmbios entre grupos de pesquisadorescientistas e dos corpos de conhecimentos existentes em período anterior a determinada investigação (Ribeiro, 2018, p.133).

Outro fator significativo para a perpetuação dos estereótipos é o desconhecimento sobre o processo de pesquisa e a falta de compreensão dos objetivos da investigação, o que leva à



desconfiança e ao medo do desconhecido. Eventos históricos, como o Projeto Manhattan, também contribuem para a perpetuação dessa percepção negativa dos cientistas pela sociedade.

É importante pontuar que a relação da sociedade com os cientistas não afeta apenas os profissionais da área, mas toda a sociedade em geral. Isso pode levar à desmotivação para os estudos das ciências, tornando a área menos atrativa, dificultando a obtenção de apoio público e financiamento e, principalmente, minando a confiança nas descobertas científicas. Quando o método científico deixa de ser valorizado, as pessoas tendem a basear seus conhecimentos em crenças pessoais, rejeitando evidências científicas estabelecidas.

Por sua vez, a tecnologia atua de maneira tão presente na realidade atual que já existem conceitos ligados a ela: a tecnofobia e a tecnofilia.

A tecnofobia é identificada quando se adota uma posição radicalmente contrária ao desenvolvimento, fomentando-se medidas veementes (individuais ou institucionais) de contenção do crescimento técnico e das bases estruturais que o sustentam. A tecnofilia, por sua vez, caracteriza-se por um culto desmedido ao progresso técnico, de modo que outras facetas da humanidade, igualmente importantes para garantir a subsistência humana, são colocadas em segundo plano (SILVA e COSTESKI, 2021).

É importante salientar que também o panorama de como a tecnologia é vista é definida pelo contexto social.

## 2.2 O Ensino e o CTS

A concepção Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) se desenvolveu a partir de um movimento surgido na década de 60, devido ao agravamento dos problemas ambientais pelo mundo, ligados diretamente ao desenvolvimento científico e tecnológico (CAMPOS, 2017). A base do movimento era a crítica “contra a visão da ciência como atividade neutra, desinteressada e sem responsabilidade em relação ao seu uso inadequado” Campos (2017, p.19).

No Brasil, o movimento CTS surgiu a partir da década de 70, com perspectivas de relacionar conhecimento científico a experiências cotidianas, propondo uma reflexão a partir de aspectos históricos, éticos, políticos e socioeconômicos envolvidos. Já em 1987, Paulo Freire evidenciava o que chamava de cultura do silêncio, isto é, a ausência da sociedade em processos decisórios (apud Auler, 2007). Contra isso, segundo Carvalho e Gil-Pérez (2016), a abordagem CTS tem como principal objetivo desenvolver uma compreensão crítica e reflexiva sobre as relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade. Essa perspectiva tem sido defendida por



pesquisadores e educadores de diversas áreas, que argumentam que a educação científica deve ir além da mera transmissão de informações e conceitos, buscando estimular o pensamento crítico e a participação cidadã dos estudantes (Bybee, 1997; Hodson, 2003; Reis, 2010).

Assim, a perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) tem sido cada vez mais discutida na educação, com o objetivo de proporcionar aos estudantes uma formação mais crítica e consciente em relação aos avanços científicos e tecnológicos. A adoção dessa perspectiva no ensino de física pode, pois, contribuir para que os estudantes compreendam não apenas as teorias e conceitos físicos, mas também as relações entre a ciência, a tecnologia e as várias dimensões da vida social.

Campos (2017, p.21) descreve que o CTS é importante pois:

Somente uma sociedade esclarecida e capacitada a compreender o desenvolvimento da ciência e da tecnologia está apta a questionar as decisões tomadas nesses desenvolvimentos e participar dos processos decisórios. É preciso, portanto, que a sociedade seja capaz de avaliar as consequências sociais e ambientais a curto, médio e longo prazo, bem como os benefícios que determinada tecnologia irá proporcionar. Para isto, é preciso conhecer e compreender a ciência e a tecnologia, ou seja, a sociedade precisa estar alfabetizada tecnocientificamente.

Já para Auler (2007), uma formação baseada no CTS deveria criar dinâmicas em sala de aula, a fim de solucionar problemas que envolvam “...cenários democráticos propícios para fomentar a participação pública” (2007, p.3). As atividades didáticas devem trabalhar a partir de analogias com problemas reais, que serão resolvidos com os melhores argumentos, ou seja, com base em conhecimentos científicos.

Para efetiva utilização do enfoque (CTS) como metodologia de ensino, é essencial que a abordagem envolva a investigação de um problema aberto. Esse processo inclui a resolução do problema em diversas dimensões, resultando, por fim, em um processo de tomada de decisão.

### **2.3 Abordagens CTS e os temas atuais**

Dentro da abordagem CTS, mencionada anteriormente, surgem algumas vertentes educacionais, que refletem a complexidade das interações entre ciência, tecnologia, sociedade e ensino. Dentro dessa perspectiva, despontam três modelos distintos: o “Enxerto CTS”, a “Ciência por meio de CTS” e o “CTS Puro”. O Enxerto CTS surge como uma tentativa de integrar considerações sociais e éticas em disciplinas tradicionais, como biologia e física, de forma



ampla. Já o CTS Puro adota uma abordagem mais radical, buscando uma integração completa e interdisciplinar dos domínios da ciência, tecnologia e sociedade. Por fim, a Ciência por meio de CTS propõe uma reflexão mais profunda sobre a natureza da própria ciência e da tecnologia, implicando uma mudança na forma como o conhecimento científico é construído e compreendido. Para uma compreensão abrangente de cada abordagem, cada uma delas será discutida detalhadamente a seguir, a fim de se buscar determinar qual é a mais adequada para o trabalho aqui proposto.

### 2.3.1 O enxerto CTS

O conceito de enxerto CTS surge na educação como uma abordagem pedagógica que busca integrar os conhecimentos científicos e tecnológicos com questões sociais, éticas, políticas e ambientais, promovendo uma educação mais contextualizada e relevante, que tem como objetivo não apenas transmitir informações científicas, mas também incentivar os alunos de forma direta a refletir sobre as diferentes implicações desses conhecimentos. Isso pode ser realizado por meio da incorporação de temas e problemas do mundo real em atividades de ensino e aprendizagem, que permitam aos alunos explorar como a ciência e a tecnologia influenciam diretamente na sociedade, mas também são influenciadas por ela (ALMEIDA E SILVA ,2020). Os alunos são incentivados a questionar, analisar e discutir questões complexas relacionadas à ciência e à tecnologia, como, por exemplo, os impactos da biotecnologia na agricultura, a física médica e o diagnóstico por imagens, a discussão sobre energias renováveis e a sustentabilidade, a radioatividade no nosso cotidiano, a ética da engenharia genética, as consequências ambientais da exploração de recursos naturais, entre tantos outros. Em outras palavras, segundo Santos e Moreira (2018), essa concepção do Enxerto CTS na Educação propõe uma articulação entre ciência, tecnologia e sociedade visando não apenas à transmissão de informações, mas também ao desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico, resolução de problemas e tomada de decisões informadas.

Uma vantagem dessa abordagem é sua busca de inserir os temas do CTS no currículo tradicional, incorporando-os em disciplinas específicas com o propósito de contextualização, mas sem uma alteração significativa na estrutura curricular, que tornaria sua adoção mais difícil. Pelo contrário, assim fazendo, essa metodologia conquista uma maior aceitação no processo educacional (Porto & Chapani, 2014). Fabri e Silveira (2013) concordam que essa abordagem



se torna mais fácil de ser adotada devido ao fato de que o currículo não sofre alterações diretas. Ainda assim, eles destacam que são abordados temas específicos, como os temas sociocientíficos, que visam promover a construção de conteúdos de forma crítica e reflexiva. Os autores afirmam que “trabalhar com enxerto facilita, pois, as ‘grades curriculares’ não precisam ser modificadas e/ou reestruturadas” (Fabri & Silveira, 2013, p. 82).

No contexto dessa abordagem, destaca-se o projeto SATIS (*Science and Technology in Society*), uma iniciativa educacional pioneira criada em 1980, na Inglaterra, que visa compreender o contexto social no qual a ciência e a tecnologia estão inseridas. Seu propósito é promover uma visão ampla e crítica do conhecimento científico e tecnológico, especialmente entre estudantes pré-universitários. De acordo com Almeida e Silva (2020), o Projeto SATIS promove a integração entre diferentes disciplinas e áreas do conhecimento, estimulando uma abordagem abrangente e interdisciplinar dos fenômenos científicos e tecnológicos.

Essa iniciativa pedagógica busca estabelecer parcerias entre escolas, universidades, instituições de pesquisa e organizações da sociedade civil, proporcionando aos alunos experiências de aprendizagem práticas e significativas fora do ambiente escolar tradicional.

Exemplos de temas propostos por esse projeto (SATIS) são encontrados em Chrispino (2009, p.8)

- Beber álcool
- O uso da radioatividade
- Os bebês de proveta
- Óculos e lentes de contato
- Produtos Químicos derivados do sal
- A reciclagem do alumínio
- A etiqueta ao avesso: uma olhada nas fibras têxteis
- A chuva ácida
- A AIDS

Dentro do PROFIS (Espaço de Apoio, Pesquisa e Cooperação de Professores de Física), localizado no site da USP e integrado à área de Ensino de Física do Departamento de Física Experimental do Instituto de Física daquela Universidade, é possível encontrar alguns desses temas. O PROFIS disponibiliza livretos com modelos para o desenvolvimento de aulas



temáticas. No entanto, é importante notar que esses livretos estão disponíveis apenas em inglês (PROFIS, 2020).

### 2.3.2 Ciência e Tecnologia através do CTS

Outra abordagem associada a esse movimento é a chamada “Ciência e Tecnologia através do CTS”. Nesse caso, a estruturação das disciplinas já é feita a partir da abordagem CTS, ou seja, os conteúdos científicos são selecionados a partir de situações-problema contextualizadas, o tema escolhido. Dessa forma, a abordagem também abrange a possibilidade de criação de atividades interdisciplinares (Porto e Chapani, 2014).

A abordagem por meio de CTS convida a pensar sobre como a ciência e a tecnologia evoluem e interagem com a vida social. Ao contrário da visão de que a ciência busca sempre uma verdade politicamente neutra, essa abordagem reconhece que o conhecimento científico é construído socialmente e está sujeito a influências culturais, políticas e econômicas. Sendo assim, essa vertente também busca integrar questões científicas a aspectos ambientais, políticos e culturais, analisando as consequências da ciência e da tecnologia nos diversos planos da vida social.

No entanto, há uma diferença metodológica importante dessa abordagem em relação ao Enxerto CTS: enquanto esse último busca incluir diretamente esses temas no currículo, a abordagem por meio de CTS vai além, atravessando o currículo e abordando os conceitos por meio dos temas e situações-problema propostos, já mencionados, destacando suas relações com os respectivos contextos sociais. Explora-se, assim, como os conceitos de física estão intimamente ligados à vida cotidiana, bem como é importante compreender como a maioria das descobertas científicas não ocorre por acaso, mas são impulsionadas por desafios reais enfrentados pela sociedade. Um exemplo prático dessa abordagem seria uma atividade em que os alunos investigassem como os interesses comerciais influenciam a pesquisa científica. Eles poderiam analisar estudos financiados por empresas e discutir como os conflitos de interesse podem afetar a objetividade da ciência. Além disso, os alunos seriam incentivados a considerar as implicações sociais, éticas e políticas dessas influências.

Como exemplo desse modelo existe o programa PLON (Projeto de Desenvolvimento Curricular em Física) e APQUA (Aprendizagem de Produtos Químicos, seus usos e aplicações). O PLON utiliza problemas relevância social e como os estudantes serão inseridos na sociedade



como cidadãos, consumidores e como profissionais. Nessa linha, alguns temas propostos por Chrispino (2009, p.9) são:

- Gelo, água e vapor
- Pontes
- Água para a Tanzânia
- A energia em nossos lares
- Trânsito e segurança
- Esquentando e isolando
- Máquinas e energia
- Armas nucleares e segurança
- Radiações ionizantes.

### 2.3.3 CTS Puro

Por fim, o CTS Puro adota uma abordagem mais abrangente e interdisciplinar, buscando integrar completamente os domínios da ciência, da tecnologia e da sociedade em currículos e práticas educacionais. Essa abordagem reconhece que os problemas contemporâneos muitas vezes exigem uma compreensão mais ampla, que ultrapassa os limites disciplinares convencionais.

Nesse modelo CTS, busca-se uma modificação mais profunda no ensino, uma nova maneira de organização do currículo. Seguindo as ideias de Pinheiro, Matos e Bazzo (2007), o CTS puro se distingue por sua abordagem única, na qual o conteúdo científico é tratado de maneira secundária, atuando como uma ferramenta para examinar questões sociais e éticas. Portanto, o principal foco reside na análise crítica das interações entre ciência, tecnologia e sociedade. Em outras palavras, os conteúdos científicos são aplicados de maneira a nortear o ensino dos problemas sociais, a tecnologia, e as decisões envolvendo a sociedade. Nessa perspectiva do CTS Puro, o ensino é tratado de maneira a priorizar o que está diretamente ligado à realidade do aluno, assim como no aprendizado socialmente contextualizado e globalizado (Porto e Chapani, 2014).

Como exemplos de projetos CTS puro temos: SISCON in the Schools (*Science in a Social Context*), IST (*Innovations: The social consequence of Science and*



*Technology), S in S (Science in Society).* Trata-se de uma adaptação para a educação secundária do programa universitário britânico SISCON (ciência no contexto social). Na educação secundária SISCON é um projeto que usa a história da ciência e da sociologia da ciência e também da tecnologia para mostrar como foram abordadas no passado questões sociais vinculadas à ciência e à tecnologia, ou como se chegou a uma certa situação problemática no presente (Chrispino, 2009, p.10).

Este método é complexo porque busca construir conhecimento por meio de projetos não limitados aos currículos tradicionais, muitas vezes integrando-se a iniciativas que visam a uma reformulação completa da educação. Sua dificuldade é constatada por uma pesquisa conduzida por Eugenio e Santos (2022), que visa “investigar as tendências das práticas de ensino com foco em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) no Brasil”. Essa pesquisa, realizada por meio de uma revisão sistemática da literatura abrangendo o período de 2010 a 2020, constatou que 60% dos trabalhos analisados foram caracterizados como "Enxerto CTS", 40% foram identificados como "Ciência por meio de CTS", e nenhum trabalho foi classificado como "Programas Puros CTS". Esses resultados indicam que a implementação do CTS puro na realidade brasileira é ainda mais difícil do que talvez se imagine (EUGENIO; SANTOS, 2022, p.74), e sua integração às práticas educacionais brasileiras enfrenta desafios significativos, devido a questões como a estrutura curricular existente, às características da formação de professores e a resistências a mudanças no sistema educacional. Uma vez que o ensino atualmente ainda é muito pautado na aprendizagem de conteúdos científicos curriculares, o CTS Puro é a abordagem mais difícil de ser utilizada.

Além das vertentes já expostas, recentemente surgiu uma derivação da abordagem CTS que é o CTS + A ou CTSA: Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, que focaliza, de forma mais específica, a preocupação de como o uso de novas tecnologias pode impactar de forma direta o meio ambiente, se não utilizada de forma consciente. Essa vertente resgata muito da essência do movimento, cujo início esteve muito relacionado à preocupação com os impactos tecnológicos no meio ambiente.

## 2.4 CTS e o Ensino de Física

Seguindo as diretrizes mais gerais do movimento, o ensino de física baseado na perspectiva da CTS propõe que os estudantes não apenas aprendam conceitos e teorias físicas, mas que também sejam capazes de refletir criticamente sobre as implicações desses conceitos em suas vidas e na sociedade como um todo. Isso significa que o ensino de física deve abordar, por

exemplo, temas como energia, meio ambiente, saúde, tecnologia e inovação, de forma a promover a compreensão das relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade. Por exemplo, ao estudar a termodinâmica, os estudantes podem ser incentivados a refletir sobre a importância da eficiência energética e do uso sustentável dos recursos energéticos para a preservação do meio ambiente e para o desenvolvimento social e econômico (Albuquerque et al., 2015). Da mesma forma, ao estudar a física dos materiais, os estudantes podem ser orientados a refletir sobre os impactos das diferentes tecnologias e materiais na saúde e no bem-estar das pessoas (Loureiro, 2014).

Segundo Gil-Pérez et al. (2002), a abordagem CTS no ensino de física deve ser caracterizada por atividades práticas, discussões em grupo, análise de casos reais, debates e projetos de investigação, de forma a estimular o envolvimento dos estudantes nas questões científicas e tecnológicas que afetam a sociedade. Para que se implemente essa concepção de ensino, é necessária uma capacitação dos professores de física, de modo que sejam capazes de utilizar em suas aulas metodologias e recursos que estimulem a reflexão crítica e a participação ativa dos estudantes. Além disso, é necessário que as políticas educacionais respaldem a adoção dessa perspectiva CTS no ensino de física, por meio da formação de professores e da elaboração de materiais didáticos.

Um exemplo de como o enfoque CTS pode ser escolhido com base na realidade dos alunos é o estudo de Silva Junior, Vianna e Moraes, apresentado no artigo “*Quem Paga o Gato?: Ensino da Eletricidade com Enfoque CTS para Promover a Alfabetização Científica*” (SILVA JUNIOR; VIANNA; MORAES, 2023). Os autores propuseram atividades que estimulassem o debate sobre a física envolvida nos “gatos elétricos” e suas consequências. Essa abordagem foi baseada em uma perspectiva CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), relacionando os temas científicos e tecnológicos ao contexto social dos estudantes. O estudo foi implementado em uma escola pública do Rio de Janeiro que atende alunos do Ensino Médio provenientes de comunidades de baixa renda. O principal objetivo foi tornar as aulas de eletricidade mais dinâmicas, reativar o laboratório de ciências e aumentar o engajamento dos estudantes. Para isso, foram desenvolvidas atividades práticas que incentivavam os alunos a construir circuitos elétricos, ler e discutir textos, além de elaborar estratégias para a resolução de problemas por meio de debates. Os autores também discutem o resultado das atividades, afirmando que houve um significativo engajamento dos alunos, que passaram a relacionar o conteúdo aprendido em sala de aula com situações reais de seu cotidiano, contribuindo para uma formação mais crítica e consciente (SILVA JUNIOR; VIANNA; MORAES, 2023).



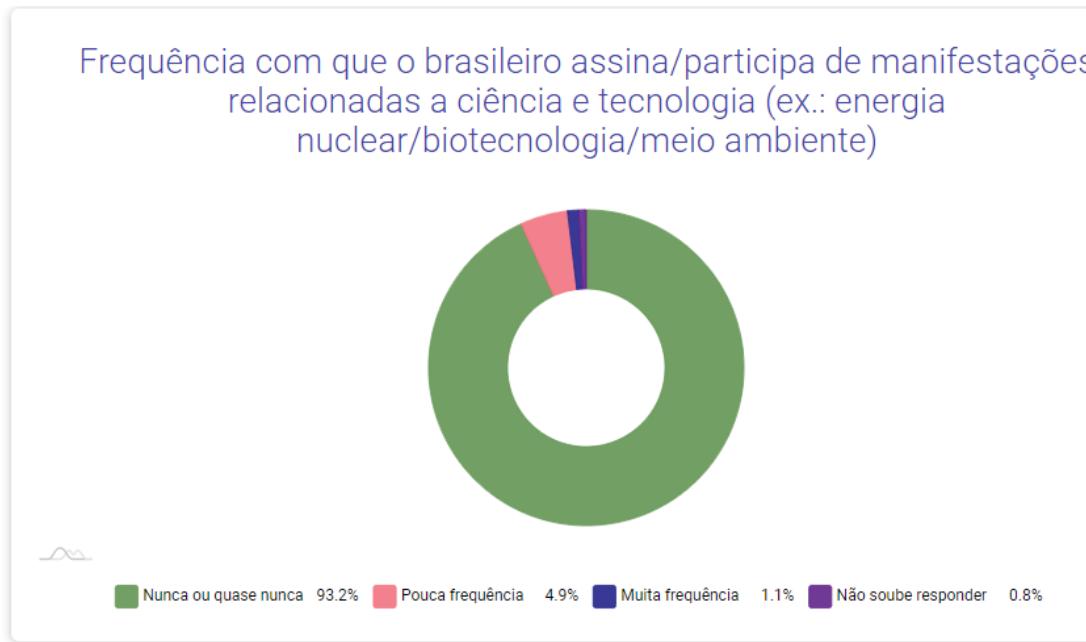
## 2.4 A Importância do CTS para sociedade e a física nuclear e das radiações

A participação da sociedade nas decisões relacionadas à evolução da tecnologia nuclear é fundamental para garantir a segurança e a sustentabilidade do uso dessa tecnologia. Com efeito, as questões relacionadas à energia nuclear e à radioatividade têm implicações significativas para a saúde pública, o meio ambiente e a segurança nacional. Portanto, é essencial que as comunidades locais, os governos e outras partes interessadas sejam envolvidos no processo de tomada de decisão nesse campo.

Um dos principais meios pelos quais a sociedade pode participar desse processo é por mecanismos democráticos, como audiências públicas e debates sobre políticas públicas. Nesses contextos, os cidadãos podem expressar suas opiniões e preocupações sobre o uso da tecnologia nuclear, e os governos podem coletar *feedback* e informações importantes para tomar decisões informadas.

Entretanto, a pesquisa, anteriormente citada, realizada pelo CGEE (2019), mostra que os brasileiros não são acostumados a participar de forma democrática nas decisões. Na pesquisa, havia uma pergunta sobre a “frequência com que o brasileiro assina/participa de manifestações relacionadas a ciência e tecnologia (ex.: energia nuclear/biotecnologia/meio ambiente)”. A figura abaixo mostra os resultados da pesquisa:

**Figura 3- Frequência que brasileiros participam de manifestações relacionadas a ciências e tecnologia.**





Como já dissemos, a educação e a conscientização pública sobre a tecnologia nuclear e a radioatividade são cruciais para permitir que a sociedade compreenda as implicações dessa tecnologia e participe ativamente do debate sobre seu uso. Isso inclui fornecer informações precisas e compreensíveis sobre os aspectos dos riscos potenciais e das medidas de segurança necessárias relacionadas a esse tipo de tecnologia.

## **2.6 A Proposta CTS que Será Utilizada e a Escolha do Tema**

Ao se utilizar o modelo Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) para estudar a radioatividade, tema de nosso trabalho, é possível investigar uma série de questões relacionadas a ela. Por exemplo, podem ser explorados os impactos ambientais causados pela exploração e utilização de fontes radioativas, a segurança das usinas nucleares e os diferentes usos da radioatividade na medicina, entre outros aspectos. Essa abordagem ampla permite uma análise mais abrangente e contextualizada, indo além dos aspectos puramente científicos. Ao integrarem elementos da tecnologia e considerarem as implicações sociais da radioatividade, os estudantes são capazes de compreender melhor não apenas os aspectos técnicos do tema, mas também suas ramificações sociais, éticas e ambientais, promovendo uma compreensão mais completa e crítica da radioatividade e seu papel na sociedade contemporânea.

Pensando no contexto do ensino no Brasil, e com o objetivo de atingir um público mais amplo, este trabalho optará por adotar a abordagem centrada no enxerto CTS, tendo em vista as facilidades que apresenta, conforme mencionamos anteriormente. Isso significa que serão integrados conteúdos e aprendizados que ofereçam aos alunos um conhecimento mais contextualizado sobre o tema da radioatividade, sem que isso demande alterações na estrutura curricular já estabelecida na escola onde a metodologia seja eventualmente aplicada.

A escolha do tema para o trabalho em questão está em conformidade com o projeto SATIS (*Science, Technology and Innovation in Society*), citado anteriormente, que tem como um dos temas centrais o "uso da radioatividade", estando, portanto, em sintonia com os objetivos e áreas de estudo desse projeto.



## 2.7. O Ensino de física nuclear e das radiações

Mais do que proporcionar aprendizado sobre as diferentes áreas do conhecimento e que esclarecer os alunos sobre os diversos campos de atuação, auxiliando, assim, nas escolhas profissionais futuras, o currículo escolar deve ser capaz de formar cidadãos que consigam reconhecer como os conhecimentos adquiridos durante a formação acadêmica estão atrelados a sua vida e podem interferir nela. Entretanto, existe uma enorme diferença entre o que os alunos aprendem na escola, e o mundo no qual estão inseridos. Por exemplo, Sasseron (2010) cita a forma científicamente já ultrapassada como alguns conceitos ainda são transmitidos na escola, durante o ensino de física: “O espaço e tempo ainda são grandezas absolutas; o átomo ainda é um “pudim de passas” formado pelos indivisíveis prótons, nêutrons e elétrons; a eletricidade e o magnetismo quase não se unem [...]” (Sasseron 2010, p. 1). Por consequência, como esperar que o aluno seja capaz de compreender e julgar situações que exijam uma formação científica básica de forma crítica e responsável perante a sociedade?

O ensino nas escolas do Brasil da Física nuclear, que estuda as propriedades e interações dos núcleos atômicos, é um tema bastante relevante, considerando-se a importância dessa área de conhecimento para a sociedade, uma vez que suas muitas aplicações incluem a geração de energia nuclear, usos médicos e industriais, entre outras. No entanto, ao pesquisarmos sobre o ensino de física moderna e contemporânea (FMC) na educação básica, a maior dificuldade que tivemos foi encontrar trabalhos recentes que abordem a questão nuclear de forma satisfatória, principalmente dentro da área específica da física. Ou seja, pode-se dizer que esse ainda é um conteúdo pouco abordado e pesquisado.

De uma forma mais ampla, Sousa (2012) aborda a questão de o quanto ensinar FMC é importante na formação de um cidadão consciente e participativo, além de que, para ele, quando o aluno aprende algo contemporâneo, o interesse em aprender se torna maior. Entretanto, quando se trata especificamente do ensino de física nuclear, o que ocorre é uma “transmissão de conhecimento e não sua construção de modo gradativo e contextualizado” (SOUZA, 2012, p.14).

Observa-se de maneira geral nas escolas uma abordagem da FMC que dificulta a compreensão do aluno. Isso ocorre porque, além de os temas serem abordados de maneira superficial, não há um diálogo efetivo com a realidade do estudante. Essa situação muitas vezes está relacionada à formação do docente, especialmente no que diz respeito às características



socioeducacionais essenciais para abordar o tema de maneira mais abrangente, como apontado por Alves e Silva (2014).

No que se refere especificamente à física nuclear, Valente et al (2008) constataram que ela é, de fato, pouco abordada nos livros do ensino médio. Os autores também apontam que há uma tendência de que o tema seja tratado com pouco aprofundamento teórico e conceitual nos livros e nas escolas. Nesse mesmo sentido, Adornes et al. (2018) argumentam que, quando se trata do desenvolvimento da tecnologia nuclear no país, a sociedade brasileira atualmente vive de maneira coadjuvante em relação à própria realidade. Para corrigir esse problema, a conscientização sobre a importância do avanço tecnológico nacional deve passar a nortear o ensino de ciências (Adornes et al., 2018).

Na década de 90, Vieira (1999) afirmava que o Brasil desenvolve a ciência nuclear e as ciências de maneira predominantemente teórica, devido aos custos mais baixos dessa abordagem, ou seja, a limitação financeira faz com que exista uma abordagem mais teórica do que prática. O autor também destacava a desinformação no país como um fator que contribuía para essa limitação, mas apontava que, também nos EUA, em 1999, a população revelava desinformação sobre o funcionamento das usinas nucleares, manifestando temores em relação às fontes dessa energia, sem reconhecer propriamente os benefícios e riscos do seu uso. Já na Suécia, por exemplo, onde havia um programa de informação sobre o tema, a aprovação da energia nuclear alcançava 50%. Vieira também apontava que o futuro da energia nuclear no Brasil dependeria da mudança na percepção global sobre essa forma de energia. Portanto, campanhas contra desinformação, incluindo alterações em livros didáticos, são importantes. Contudo, observa-se no país que, ao longo dos anos, esse cenário permanece inalterado, com a população ainda desinformada sobre o tema dos processos nucleares, principalmente em relação aos seus benefícios. Diante desse problema, foram conduzidas pesquisas para compreender como os estudantes lidavam com a física nuclear e das radiações ,e seus conceitos.

Uma dessas pesquisas (Alves, 2012), realizada com alunos do município de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro, onde estão localizadas as únicas usinas nucleares do Brasil, mostrou como o ensino sobre física nuclear, fontes de energia e suas possibilidades é negligenciado na sociedade atual. Utilizando um questionário, a pesquisa revelou que a maioria dos alunos possui escasso conhecimento sobre o tema. Foram entrevistados 143 alunos, e, ao serem questionados sobre sua visão sobre a radioatividade, 37% associaram-na a perigo, 29% não souberam comentar, e apenas 5% mencionaram que pode estar relacionada a energia (ALVES, 2012). Outro ponto relevante dos resultados da pesquisa é que, para a maioria dos alunos, os



acidentes nucleares são considerados de efeitos momentâneos, ou seja, não resultam em contaminações, riscos a longo prazo ou quaisquer outras consequências duradouras. Assim é possível afirmar que não existe uma contextualização relacionando o ensino à realidade dos alunos; os mesmos não tinham conhecimento sobre a física nuclear, embora seja um tema diretamente presente em suas vidas (Alves, 2012).

## 2.8. A BNCC e o Ensino de Física

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece as diretrizes para o ensino de Física dentro da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (BNCC, 2018). No Ensino Médio, a BNCC propõe um ensino mais contextualizado e interdisciplinar, incentivando a experimentação, a resolução de problemas e a conexão com situações do cotidiano. O objetivo é que os estudantes desenvolvam o pensamento crítico e compreendam como os fenômenos físicos influenciam a sociedade e a tecnologia. Dessa forma, a BNCC apresenta competências específicas, que buscam desenvolver nos alunos a capacidade de dialogar sobre decisões e escolhas com base no conhecimento científico. Isso significa formar cidadãos capazes de opinar e atuar na sociedade de maneira consciente e embasada. Dentre as competências estabelecidas para as Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio destacam-se:

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.
2. Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.
3. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BNCC, 2018, p. 539).

No contexto da Física Nuclear e das Radiações, a BNCC enfatiza a relação entre ciência, tecnologia e sociedade. Dentro dessa perspectiva, a competência específica 1 aborda diretamente os fenômenos físicos e seus impactos:

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ ou global. Essa competência permite avaliar as



potencialidades limites e riscos do uso de diferentes materiais e tecnologias, auxiliando na tomada de decisões responsáveis diante dos desafios contemporâneos. Entre os temas abordados, destacam-se: estrutura da matéria, transformações químicas, leis ponderais, princípios da conservação da energia, fissão e fusão nucleares, espectro eletromagnético e efeitos biológicos das radiações ionizantes (BNCC, 2018).

Além das competências, a BNCC também define habilidades específicas para o ensino de Física Nuclear e das Radiações, como: “(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, na indústria e na geração de energia elétrica” (BNCC, 2018, p. 541).

Dessa forma, a BNCC promove um ensino de Física baseado no desenvolvimento de competências e habilidades, garantindo que os alunos adquiram:

- Compreensão de conceitos físicos fundamentais.
- Aplicação da Física para interpretar fenômenos naturais e tecnológicos.
- Uso de modelos e representações matemáticas para explicar fenômenos físicos.
- Relação da Física com outras áreas do conhecimento e suas implicações éticas e sociais.

No entanto, embora a BNCC possibilite a adaptação dos conteúdos por redes de ensino e professores, a Física Contemporânea, onde estão inseridos temas como Física Nuclear e Radiações, geralmente é abordada apenas no 4º bimestre. Infelizmente, devido a diversos fatores, como a limitação do tempo letivo e a carga horária reduzida, essa parte do currículo muitas vezes acaba sendo negligenciada. Essa lacuna no ensino impacta diretamente o aprendizado dos alunos, pois impede uma compreensão aprofundada da Física Nuclear e de suas aplicações. Assim, apesar das diretrizes estabelecidas pela BNCC, na prática, a abordagem desses conteúdos ainda enfrenta desafios dentro do ambiente escolar.

## **2.9. A Física Nuclear, apropriação das pessoas sobre o tema e a mídia.**

Os temas da energia nuclear e da radioatividade estão muito entrelaçados no imaginário da sociedade com questões militares e bélicas. Dias (2019) sustenta a ideia de que o pouco conhecimento sobre energia nuclear está muitas vezes associado às bombas nucleares lançadas sobre as cidades de Hiroshima e Nagasaki em 1945, o que prejudica uma discussão equilibrada



sobre os benefícios e riscos dessa forma de energia. O autor destaca que diversas tecnologias, associadas a diferentes áreas de conhecimento, têm sido empregadas tanto para fins pacíficos como bélicos; o caso da energia nuclear não é diferente. Por sua vez, Rosa (2005) aborda a evolução da física e da ciência como algo intrinsecamente ligado às necessidades econômicas e sociais, incluindo aplicações militares. Ele aponta para a priorização dada à física nuclear após a Segunda Guerra Mundial, destacando o desenvolvimento de armas nucleares, mas também a "esperança" no processo de fissão e fusão como fontes de energia. Dessa forma, não haveria justificativa para reduzir a física nuclear a uma ciência exclusivamente utilizada para fins bélicos.

Dias (2019) fez uma pesquisa com 372 pessoas, de diversos níveis de escolaridade, na cidade de Araguaína no estado do Tocantins. A primeira pergunta proposta tinha o objetivo de reconhecer se as pessoas possuíam conhecimento sobre o que seria a física nuclear. Quando perguntadas, 61% citaram acidentes nucleares. Desses 61%, 86%, afirmaram que se informaram sobre o tema através da mídia. Os 39% restantes lembraram de núcleo atômico, radiação, energia nuclear e tecnologias nucleares. Desses, 92% relataram ter adquirido o conhecimento de maneira didática, em escolas ou universidades. Desse modo, é fácil concluir o quanto a informação transmitida de maneira correta interfere no posicionamento das pessoas. Também é importante analisar que:

Outro fator que merece reflexão é que, dos 64 entrevistados que se posicionaram contrário o estudo ou utilização da Física Nuclear, 44 pessoas conheceram o tema na mídia; 18 na internet e apenas 2 na escola.

Destaca-se ainda, que quando questionados sobre “Quando você pensa em Física ou Energia Nuclear, o que vem à mente?”, 53,0% associam a bomba atômica, 41,0% forneceram outras afirmativas, como acidente nuclear, irradiação e poluição nuclear, e somente 6,0% relacionam à produção de energia, [...]. A outra pergunta da entrevista foi se as pessoas acreditam ter diferença entre energia gerada por fontes mais conhecidas como hidrelétrica ou térmica e energia nuclear, 88,4% acreditam que não (Dias, 2019, p.31).

Gomes (2015) também fez uma pesquisa, em forma de diálogo, com os alunos dos 2º anos do EM, em uma escola localizada no interior de São Paulo, envolvendo o tema radioatividade e as suas percepções. No geral, quando questionados sobre o tema, os alunos não tinham qualquer conhecimento, ou então esse conhecimento era bem reduzido. Quando o professor exibiu o símbolo da radioatividade, alguns estudantes se pronunciaram, e as respostas fornecidas por eles ao serem questionados sobre a origem desse conhecimento foram:



[...]alguns viram em desenhos animados (por exemplo, Os Simpsons; Johnny Test; As Terríveis Aventuras de Billy e Mandy; Meninas Superpoderosas, entre outros) [...]

Os alunos relataram sobre a aquisição de superpoderes, forças sobre-humanas, deformações, aumento de tamanho, depois do contato dos personagens dos desenhos com a radioatividade (Gomes, Júnior, Delarole, 2015, p. 14).

Assim, além de o conhecimento da população em geral ser limitado, as crianças adquirem informações sobre os temas principalmente por meio de mídias comerciais, especialmente através de desenhos animados. Por sua vez, uma busca rápida no site de pesquisa *Google* revela como os desenhos abordam o tema da radioatividade e suas consequências. No caso do seriado "Os Simpsons", a usina nuclear da cidade de Springfield é retratada como um ambiente complexo, onde Homer Simpson, o personagem principal, desempenha o papel de inspetor de segurança no setor 7G. Nos episódios, fica evidente que a usina é considerada perigosa, frequentemente sofrendo desastres, muitas vezes devido à negligência do próprio inspetor. Além disso, a usina descarta resíduos radioativos de maneira ilegal, em áreas de preservação ambiental.

Explorando ainda mais os impactos provocados pela mídia quando se trata de assuntos nucleares, especialmente abordando os acidentes envolvendo gerações de energia, como Three Mile Island (TMI) em 1978, Chernobyl em 1986 e Fukushima em 2011, Kamioji (2018) destaca como ela pode influenciar negativamente as pessoas. Um exemplo citado é o da Folha de São Paulo, em 2011, durante a cobertura do acidente de Fukushima, quando as notícias foram excessivamente alarmistas, não focalizando adequadamente a causa do acidente, a saber, o tsunami que atingiu a cidade e, consequentemente, a usina. Em vez disso, a ênfase recaiu na radiação emitida pela usina nuclear, embora essa radiação não tenha causado fatalidades à população.

Também quando exploramos filmes com temáticas relacionadas à radiação, nos deparamos com uma variedade de gêneros. No entanto, em sua maioria, esses filmes abordam de alguma forma acidentes nucleares e como eles impactam a vida das pessoas. A representação da radioatividade, na maioria das vezes, é negativa e frequentemente associada a grandes catástrofes. Abaixo estão alguns filmes listados:

- Operação Búfalo (2020)
- Chernobyl (2019)
- Atômica: Ameaça Oculta (2017)
- Os Últimos na Terra (2015)



- The Half Life of Timofey Berezin (2006)
- Chernobyl: Sinta a Radiação (2012)
- K-19: O Fazedor de Viúvas (2002)
- O Dia Seguinte (1983)
- Fukushima: Ameaça Nuclear (2020) (FILMES, 2021).

Sendo assim, é importante fazer uma reflexão sobre como as pessoas têm se apropriado do tema e como isso vem influenciando a percepção sobre o assunto. Se fosse realizado um censo com a população brasileira sobre “ser contra ou a favor da utilização dos fenômenos nucleares e seus desdobramentos, como a energia nuclear”, para Vieira (1999), as respostas seriam predominantemente negativas, e, provavelmente, também assim hoje em dia, não só pelos acidentes que ocorreram ao longo do tempo, como Chernobyl e Goiânia, mas sim pelo desconhecimento e a falta de informação da população sobre o que é e o que representa para o país a energia nuclear. Podemos dizer que, no Brasil a população, em grande medida, desconhece os benefícios do uso pacífico dos fenômenos nucleares, como por exemplo os rádio-fármacos, bem como os usos em culturas agrícolas e na preservação de alimentos.

Na época do acidente do Césio a temática radioatividade já estava presente no currículo do Ensino Médio. A questão que se coloca é a abordagem sobre esse assunto, a forma de transmissão, que faz com que os alunos não se apropriem dele de modo a utilizarem-no na sua vida. (Nunes, 2021). É bem provável que, atualmente, o mesmo acidente de Goiânia, com o Césio 137, acontecesse novamente, pelos mesmos motivos de desconhecimento sobre o assunto.

Em síntese, pode-se dizer que a maioria dos brasileiros, de uma forma ampla, infelizmente, não têm condições ideais para participar de maneira democrática e consciente em debates sobre a utilização da energia nuclear. A última pesquisa sobre isso foi conduzida pela BBC News, em novembro de 2011, revelando que 79% dos entrevistados no Brasil eram contrários à construção de novas usinas nucleares. Infelizmente, a pesquisa não fornece detalhes sobre a escolaridade ou nível de conhecimento dos entrevistados sobre o tema. Buscar informações precisas, detalhadas e atualizadas, sobre a relação dos brasileiros com o tema nuclear é sempre uma tarefa complexa. Ainda assim, quando encontradas, as pesquisas geralmente estão diretamente vinculadas à energia nuclear.

Por todo o exposto, podemos dizer que é crucial que os alunos se familiarizem com o tema de maneira consciente, sem influências tendenciosas, para formar posições



fundamentadas, seja a favor ou contra, mas embasadas em conhecimento teórico. Nesse sentido, a metodologia deste trabalho se orienta para um ensino direcionado ao movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), pelas razões que serão apresentadas na próxima seção.

### 3. TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA, JOGOS E O ENSINO DE FÍSICA

Este capítulo tem o objetivo de apresentar a transposição didática, caracterizando-a no contexto do ensino de física, e sua aplicação por meio de jogos didáticos. Inicialmente, são destacadas suas características e importância na literatura. Em seguida, discute-se como os jogos, adaptados a um contexto educacional e integrados a outras metodologias, podem contribuir para a transposição didática de conteúdos de física moderna; em especial o de física nuclear e das radiações.

#### 3.1. A transposição didática

Transposição didática refere-se ao processo pelo qual o conhecimento especializado, muitas vezes presente em campos acadêmicos ou científicos, é transformado em conteúdo didático adequado para o ensino em contextos educacionais. Essa adaptação é necessária porque o conhecimento técnico pode ser complexo e abstrato, tornando-se desafiador para a compreensão dos alunos. A transposição didática busca simplificar e organizar o material, tornando-o mais acessível e significativo para a aprendizagem.

O termo transposição didática foi desenvolvido pelo Sociólogo Michel Verret e articulado por Yves Chevallard, em 1985, através do seu livro *La Transposition Didactique*, no qual ele pontua como um saber se transforma quando é transposto do campo científico para o escolar (ALVES; BONZANINI; BALBINO, 2023). De forma simples, Chevallard conceitua “transposição didática” como mecanismos para fabricar um objeto de ensino, ou seja, produzir objeto que passe do saber produzido pelo saber<sup>2</sup> “sábio” (o cientista) para se tornar um objeto do saber escolar. A transposição didática, de forma simplificada, pode ser, então, definida como o processo no qual o saber sábio (informação científica obtida diretamente pelos cientistas) é transformado em conhecimento didático, presente nos livros didáticos, isto é, o saber ensinado (aquele que acontece de fato nas salas de aula) Chevallard (1991).



Um conteúdo do saber que foi designado como saber a ensinar sofre a partir daí, um conjunto de transformações adaptativas que vão torná-lo apto para ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O trabalho que transforma um objeto do saber a ensinar em objeto de ensino é denominado de transposição didática (Chevallard, 2001, p.20)

Segundo Brockington (2005), em sua obra, Chevallard busca que esses conhecimentos (saberes) não se reduzam meramente a simplificações do saber científico, retiradas do contexto, nem sejam tão simplificados a ponto de se tornarem descontextualizados e, por vezes, perdendo o sentido, tudo isso supostamente para facilitar o entendimento e transformar-se no saber ensinado. A expectativa é a construção de "novos" conceitos, capazes de transitar pelos dois domínios epistemológicos distintos: o da ciência e o da sala de aula. Sabe-se que, ao transferir um conceito de um domínio de conhecimento para outro, ocorrem modificações. Mesmo ao se manter o conceito original durante o ensino, ele adquire novos significados, que são próprios do ambiente em que estão inseridos, nesse caso o ambiente escolar.

Chevallard afirma que a transformação do saber acadêmico em saber escolar se faz em duas etapas: uma transposição externa, no plano do currículo formal e dos livros didáticos, e outra interna, no decorrer do currículo em ação, em sala de aula. (Polidoro; Stigar; 2010. p. 4).

Também Mello (2019), que define a relação da passagem do saber científico para o saber escolar como uma relação profunda entre elementos internos e externos, assim define:

Dentro do contexto das políticas editoriais, dos programas nacionais de produção de textos didáticos e da formulação de políticas públicas é de vital importância o modo como o conhecimento científico é transposto aos livros didáticos e como esse é efetivamente ensinado em sala de aula (Mello, 2019. p.2).

Para ele, um dos maiores problemas enfrentados pelo professor é o de atribuir um novo significado ao objeto de conhecimento (o objeto de estudo, objeto de ensino), para redimensioná-lo de forma prática discursiva para o outro, para o receptor, o aluno.

Outro aspecto a ser destacado é que há uma concepção equivocada de que o que precisa ocorrer no processo de transposição é apenas uma simplificação do conhecimento científico para torná-lo passível de ensino. Na realidade, o que se faz necessário é uma adaptação à realidade do aluno, não apenas uma simplificação do conteúdo a ser ensinado. Portanto, é crucial promover uma transposição de conceitos, buscando não apenas facilitar a aprendizagem, mas também adaptar-se à realidade do aluno. Conforme destacado por Brockington (2005), a maioria dos conceitos ensinados em sala de aula difere significativamente da aplicação na vida fora da escola, o que resulta na não utilização prática desses conceitos além das fronteiras da sala de aula. Ofugi (2001) detalha que certas simplificações envolvem "condições ideais" apresentadas

em livros, por meio de exercícios ou problemas que não refletem situações cotidianas. Entre os exemplos, estão observações que ocorrem com alta frequência ao longo da dinâmica no Ensino Médio, tais como:

- “exclua a resistência do ar;
- considere o plano perfeitamente liso e sem atrito;
- despreze as dimensões do corpo e;
- considere o valor de g constante durante o movimento” (Ofugi, 2001, p.65).

Por sua vez, Pereira e Freitas (2018) discutem o conceito de "criações didáticas", mencionando conteúdos elaborados como respostas à necessidade de se empregarem recursos que facilitem diferentes formas de aprendizado. Esses conteúdos são criados e têm utilidade exclusiva no ambiente escolar.

Durante o processo de adaptação do conhecimento acadêmico para o ensino há o risco de que o conhecimento original seja distorcido ou simplificado excessivamente, perdendo sua precisão e profundidade, e para que isso não ocorra: “Cabe então aos agentes do sistema de ensino, comunidade científica e, principalmente, o professor, por ser o ente mais direto no sistema, exercer a vigilância epistemológica para que essas distorções não ocorram.” (PEREIRA; FREITAS 2018, p. 45)

A transposição didática preserva a distância necessária entre o saber sábio e o saber escolar, ao mesmo tempo em que garante que tal separação não cause erros conceituais ao objeto de saber, como afirma Chevallard:

O conceito de Transposição Didática, enquanto refere-se à trajetória do saber sábio para o saber ensinado, e, portanto, a eventual distância obrigatória que os separa, testemunha o questionamento necessário, ao mesmo tempo em que se torna a sua primeira ferramenta. Para didática, é uma ferramenta que permite reconsiderar, examinar as evidências, colocar em xeque as ideias simples, se livrar de familiaridade enganosa de seu objeto de estudo. Em uma palavra, que lhe permite exercer sua vigilância epistemológica (CHEVALLARD, 1991, p.16. apud PEREIRA E FREITAS, 2008 p.95).

Conforme já vimos, segundo Chevallard (1991), a transposição didática ocorre em várias dimensões, definidas como transposição didática externa e interna. Dos Santos (2020) estabelece que o conhecimento se organiza por meio da comunidade científica, onde a divulgação é realizada por meio de artigos científicos, apresentando alta abstração e uma linguagem específica da comunidade. Assim, tal conhecimento é altamente específico, e na maioria dos casos sem utilização direta para a sociedade. Portanto, esses conhecimentos provenientes da



comunidade científica precisam passar pelo processo de transposição didática, para que os conceitos científicos sejam convertidos em linguagem e atividades apropriadas ao nível de compreensão dos alunos. Além disso, eles precisam passar por um refinamento que inclui uma seleção cuidadosa dos conteúdos a serem ensinados. Isso significa que não basta apenas transmitir os conhecimentos científicos aos alunos; é necessário também avaliar criticamente quais desses conhecimentos são realmente essenciais para sua formação e desenvolvimento.

Chevallard (1987) conceitua também o tempo didático. Este seria o período necessário para que um aluno, por meio das atividades de aprendizagem propostas, tenha uma progressão de uma compreensão inicial ou intuitiva de um conceito para uma compreensão real. Ele ressalta que o tempo de aula não deve ser confundido com o tempo didático, pois este último engloba todas as fases pelas quais o aluno passa até alcançar o entendimento do conceito. Essas fases podem abranger a apresentação inicial do conceito, a exploração e experimentação, a consolidação do conhecimento e a aplicação em novos contextos.

No livro "Física em Contexto" (2012), do programa estadual "São Paulo faz escola", Silva Júnior e Silva (2022) abordam análises de outros autores sobre o ensino de física. Para eles, fica evidente que, durante o processo de transposição didática, é importante ressaltar sobre a necessidade de uma vigilância, para que não ocorra a descaracterização do saber de ensinar. De acordo com os autores, essa simplificação resulta diretamente na desvalorização da figura do cientista e do ato de fazer ciência.

Silva Júnior e Londero (2019) realizaram uma análise de conteúdo relacionada ao tema do raio X e também identificaram uma simplificação do conhecimento, especialmente no que diz respeito ao contexto histórico. Os autores apresentam que toda a discussão está centralizada em apenas um pesquisador, excluindo a ampla comunidade científica presente na época.

Outro fator importante para a educação contemporânea, destacado por Mello (2019), é que o acesso à informação atualmente é disseminado em larga escala e alta velocidade, ressaltando importância de filtrar essas informações. O autor enfatiza a necessidade de utilizar a transposição didática como uma ferramenta orientadora diante das demandas do mundo pós-moderno e sua complexa realidade.

### **3.2 Teoria da Aprendizagem Lúdica**

A Teoria da Aprendizagem Lúdica oferece uma abordagem inovadora, integrando a ludicidade como um meio eficaz de promover a aprendizagem (BROUGÈRE, 1998). Inspirada



na abordagem construtivista, essa teoria propõe que os alunos aprendem melhor quando têm a oportunidade de interagir com os conceitos em um contexto prático. A aprendizagem ativa e experiencial, ou seja, aquela que o aluno assimila o conhecimento de forma prática, aprendendo com as próprias experiências, é outro pilar crucial da Teoria da Aprendizagem Lúdica. Nesse sentido, jogos educacionais oferecem ambientes simulados nos quais os alunos podem experimentar, cometer erros e aprender com suas ações, promovendo uma compreensão mais profunda e permanente dos temas abordados. Portanto, a Aprendizagem Lúdica é a abordagem inherentemente associada aos jogos (BROUGÈRE, 1998).

Além disso, a abordagem lúdica incorpora elementos de colaboração e competição saudável, reconhecendo a importância da interação social no processo de aprendizagem. Nessa linha, jogos educacionais podem promover a colaboração entre os alunos, incentivando o trabalho em equipe e a construção coletiva de conhecimento.

A partir dessa abordagem lúdica surge a Teoria do Aprendizado Baseado em Jogos, a qual representa uma aplicação específica da teoria da aprendizagem lúdica.

### **3.3. Evolução dos Jogos para Jogos Didáticos**

O estudo dos jogos tem recebido destaque, especialmente desde a década de 30, com Johan Huizinga, um historiador e teórico cultural. Em sua obra "*Homo Ludens: O Jogo como Elemento da Cultura*", Huizinga desenvolveu o conceito de jogo, a partir de uma clara definição, e destacando sua relevância na cultura humana. Nessa obra, o autor explorou a natureza do jogo como uma atividade cultural fundamental, argumentando que ele desempenha um papel crucial na sociedade, indo além das fronteiras das atividades lúdicas tradicionais. Para Huizinga, um jogo não se resume apenas a uma atividade lúdica, como jogos de tabuleiro ou esportes, mas abrange uma ampla gama de experiências culturais, incluindo rituais, linguagem, arte e até mesmo atividades intelectuais. Ele destaca que o jogo é uma atividade voluntária, separada da vida ordinária, com suas próprias regras e limites temporais. Nele, os participantes aceitam essas regras e se submetem a elas, criando uma atmosfera de ordem e significado especial. Huizinga também enfatiza a importância no jogo do elemento de "agência", ou seja, a liberdade que os participantes têm de tomar decisões dentro das regras estabelecidas. Além disso, ele destaca que o jogo é uma fonte de criação cultural e social, contribuindo para a formação de normas, valores e identidades dentro de uma sociedade.

Ainda no âmbito de sua obra, Huizinga (1938) também reconheceu características essenciais do jogo:

- ✓ Voluntariedade: O jogo é uma escolha, não uma obrigação.
- ✓ Limitação: Possui regras claras e limites.
- ✓ Ficção: O jogo cria um mundo à parte, separado da realidade.
- ✓ Competição: Envolve desafios e rivalidades.
- ✓ Ordem: Mesmo com regras, o jogo é uma atividade ordenada e estruturada.

O autor não poderia ter previsto a complexidade e a diversidade das formas contemporâneas de jogos, mas suas ideias sobre a importância do jogo como uma atividade cultural e social ainda se aplicam.

De acordo com o livro “*Rules of Play: Game Design Fundamentals*” (Tekinbas, Zimmerman, 2023) traduzido como “Regras do Jogo: Fundamentos do Design de Jogos”, escrito por Salen e Zimmerman, destacam-se as seguintes categorias de jogos:

Jogos de Tabuleiro: jogos que envolvem peças e um tabuleiro, como xadrez, damas e banco imobiliário.

1. Jogos de Cartas: jogos que usam cartas como principal componente, como pôquer, uno e bridge.
2. Jogos Eletrônicos: jogos que são jogados em dispositivos eletrônicos, incluindo videogames, jogos para celular e para computador.
3. Jogos de Simulação: jogos que replicam situações da vida real para fins educacionais ou de entretenimento, como simulações de voo ou simulações empresariais.
4. Jogos de Estratégia: jogos que exigem planejamento e tomada de decisões estratégicas, como xadrez, Go e War.
5. Jogos de Aventura: jogos nos quais os jogadores assumem papéis e embarcam em histórias interativas, como jogos de RPG (*Role-Playing Games*).
6. Jogos de Quebra-Cabeça: jogos que desafiam os jogadores a resolver problemas ou quebra-cabeças, como Sudoku, palavras cruzadas e jogos de quebra-cabeça físicos.
7. Jogos de Esportes: simulações ou representações de esportes reais, como FIFA (futebol) e NBA 2K (basquete).



8. Jogos de Tabuleiro Modernos: novos jogos de tabuleiro, que se destacam por inovações em mecânicas de jogo e design, como Carcassonne e Settlers of Catan.
9. Jogos de Cartas Colecionáveis (TCG): jogos em que os jogadores constroem decks personalizados e competem uns contra os outros, como Magic: *The Gathering* e *Pokémon TCG*.

Com a evolução dos estudos, os jogos passaram a ser utilizados de maneira didática, à medida que os educadores reconheceram seu potencial para envolver os alunos, ou seja, eles podem ser empregados como ferramenta de aprendizagem ativa. Nesse sentido, surgem-concepções no contexto educacional promovendo a integração de jogos como recurso didático, concepção essa conhecida como "aprendizagem baseada em jogos".

### **3.4 O Uso de Jogos na Educação: Transformando Aprendizado e Engajamento**

Os jogos têm um papel fundamental no âmbito educacional atualmente, constituindo-se em uma abordagem inovadora e eficaz para o aprendizado. Sua utilização tem se expandido consideravelmente nas salas de aula, buscando proporcionar benefícios significativos aos alunos. Essa estratégia tem sido adotada também no ensino, frequentemente percebido como um desafio pelos estudantes, conforme discutido anteriormente. A utilização desses jogos visa, principalmente, tornar os conceitos complexos mais acessíveis e envolventes.

Coelho (2017) define que jogos são uma forma de se trabalhar o conhecimento em sala de aula, facilitando a aprendizagem, pois é uma atividade nos quais os alunos ficam entusiasmados e são levados a interagir de forma direta. Isso permite uma abordagem que vai além da transmissão de conceitos: “A utilização do jogo didático promove outros aspectos importantes na formação dos alunos além da aprendizagem do conteúdo, como a criatividade, a iniciativa, a imaginação, o colegismo, a emoção, a afetividade e a proximidade entre o real e o imaginário” (Coelho, 2017, p.23)

Os jogos proporcionam uma experiência de aprendizado prática e interativa. Em vez de apenas absorver informações teóricas, os alunos têm a oportunidade de aplicar conceitos de forma concreta, vivenciando situações que simulam a realidade. Essa abordagem baseada em experiências contribui para uma compreensão mais profunda e duradoura do conteúdo, com uma aprendizagem contextualizada e conectada à vida cotidiana.



Além de todas as características positivas dos jogos mencionadas anteriormente, a ampla diversidade de jogos educacionais disponíveis oferece oportunidades para o desenvolvimento de habilidades, seja estimulando a resolução de problemas, promovendo a tomada de decisões ou fomentando a colaboração entre os alunos. Esses jogos se revelam como uma ferramenta versátil para aprimorar competências fundamentais. Durante a realização dos jogos, espera-se que haja comunicação entre os alunos sobre o tema abordado. Coelho (2017) destaca que essa comunicação ocorre por meio da utilização da própria "linguagem" dos alunos, facilitando assim a compreensão. A falta de clareza na comunicação entre professor e aluno, especialmente em conceitos relacionados à física, pode ser superada quando ocorre a comunicação na linguagem entre aluno-aluno.

### **3.5 Jogos Como Métodos Para a Transposição Didática**

Para realizar a transposição didática, os professores podem utilizar diversas estratégias, como a seleção de exemplos práticos, a simplificação de conceitos complexos, o uso de analogias e a incorporação de atividades que envolvam os alunos ativamente. A inserção de referências no processo de transposição didática é fundamental para enriquecer o conteúdo e fundamentar as adaptações realizadas. Essas referências podem incluir livros didáticos, artigos científicos, materiais audiovisuais, entre outros recursos que contribuem para a compreensão do tema. As fontes utilizadas devem ser escolhidas cuidadosamente, visando fornecer informações confiáveis e relevantes, além de facilitar a conexão entre o conhecimento teórico e a aplicação prática. Ao incorporarem referências, os professores podem fortalecer a base conceitual dos alunos e promover uma aprendizagem mais significativa. Entretanto, na transposição didática interna, temos o momento da criação didática, no qual o professor utiliza outros recursos para auxiliar na aprendizagem que vai além dos livros didáticos.

A partir de uma perspectiva construtivista do conhecimento e de um enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), para este trabalho, realizamos pesquisas a fim de encontrar uma metodologia eficaz para o ensino de física, considerando toda a complexidade de sua transposição didática. Como resultado dessas pesquisas, destacaram-se três metodologias interligadas que podem ser adotadas para se aprimorar o processo de ensino-aprendizagem: a metodologia ativa, a metodologia da aprendizagem lúdica e a metodologia de aprendizado baseado em jogos (GBL). Essas teorias foram fundamentais no desenvolvimento do jogo utilizado neste trabalho.



Jogos educativos são casos específicos desses recursos para transposição didática. Eles oferecem uma abordagem inovadora para se aprimorar o processo de ensino e aprendizagem. Ao integrarem teorias educacionais e de design de jogos, os educadores podem criar experiências educacionais envolventes, alinhadas aos objetivos pedagógicos e capazes de transformar o saber erudito em uma forma acessível e estimulante. Jogos podem ser projetados para abordar conceitos específicos de maneira lúdica, estimulando o raciocínio, a criatividade e a interação entre os alunos. Segundo Evangelista et al. (2022), o jogo pode ser escolhido considerando-se a transposição didática, os conhecimentos prévios dos alunos e o saber efetivo que será abordado. É crucial que os alunos participem do jogo, mobilizando os conhecimentos já adquiridos, e, ao longo da partida, promovam a construção de novos conhecimentos em formação.

### **3.6 Exemplos de transposição didática feitas para o produto educacional**

Dentro da perspectiva de nossa pesquisa, um jogo didático voltado para o ensino de física nuclear e das radiações busca apresentar essas informações de forma leve e acessível, utilizando a transposição didática. Os conceitos são inseridos de maneira lúdica para facilitar a compreensão. A seguir, temos um exemplo de um dos materiais utilizados no jogo: uma carta de um cientista para outro. O objetivo é apresentar o conteúdo de forma clara e de fácil entendimento, explicando um pouco sobre o funcionamento de uma usina nuclear e reforçando a segurança dessas instalações. Segue abaixo um trecho dessa carta:

*“Carta escrita pela Diretora de segurança para o cientista.*

*Caro,*

*Recentemente, estive revisando os protocolos de segurança da usina nuclear e fiquei alarmado com alguns dos resultados que obtivemos. Durante os testes, percebemos que o sistema de contenção apresenta uma vulnerabilidade significativa em relação ao resfriamento do núcleo em caso de falha de energia. A análise revelou que, caso o sistema de resfriamento falhe, a temperatura do núcleo do reator pode subir rapidamente, aumentando o risco de derretimento. Isso ocorre porque, sem resfriamento adequado, o calor gerado pelas reações nucleares continua se acumulando, podendo levar a um acidente grave.*

*Para evitar esse cenário, sugiro que adotemos um sistema de redundância para os geradores de emergência, garantindo que haja fontes alternativas de energia para manter o*



*resfriamento. Além disso, é fundamental desenvolver um plano de evacuação para as áreas próximas, garantindo a segurança da população em caso de emergência.*

*A segurança deve ser nossa prioridade absoluta. Precisamos discutir esse assunto na próxima reunião e elaborar um relatório detalhado com as medidas necessárias para minimizar os riscos.*

*Atenciosamente,*

*Helena Almeida”*

Os estudantes também têm acesso a uma explicação mais simples do que está escrito na carta:

*“Qual é a principal vulnerabilidade mencionada pela Dra em relação ao sistema de segurança da usina nuclear e qual solução ela sugere?*

*A principal vulnerabilidade mencionada pelo cientista é a falha do sistema de resfriamento do núcleo, que pode levar ao aumento rápido da temperatura e risco de derretimento. Ela sugere a implementação de um sistema de redundância para os geradores de emergência e um plano de evacuação para as áreas circunvizinhas. No contexto de usinas nucleares, um sistema de redundância para os geradores de emergência significa ter múltiplas fontes de energia reserva. Isso é essencial porque, se o sistema de resfriamento falhar e não houver energia alternativa para mantê-lo funcionando, a temperatura do núcleo do reator pode aumentar rapidamente, levando ao risco de um derretimento nuclear.*

*Por exemplo, uma usina pode ter geradores a diesel e baterias de backup para garantir que o resfriamento do reator continue funcionando mesmo em caso de falha na rede elétrica principal.*

*Isso é uma prática comum em engenharia de segurança, não só em usinas nucleares, mas também em aviões, hospitais, servidores de internet e sistemas industriais onde qualquer falha pode ter consequências graves.*

*Tal falha pode ter sido a responsável pelo acidente nuclear, lembrando que usinas costumam ser seguras.”*

Nesse sentido, os estudantes têm acesso a um dos problemas que ocorreram na usina de Chernobyl. Embora a explicação completa não esteja disponível nesse momento, o conteúdo dialoga diretamente com o acidente, permitindo uma melhor compreensão do evento e de seus impactos. Vale lembrar que esses estudos encontrados durante o jogo no diário do cientista, são



fictícios, mas foram elaborados para refletir a realidade de maneira coerente e educativa. Dessa forma, busca-se não apenas aprofundar o conhecimento sobre o funcionamento das usinas nucleares, mas também estimular o pensamento crítico sobre segurança e energia nuclear.

Em outro fase do jogo quando os estudantes resolvem ir até o local CPA-centro de pesquisas antigas, a abordagem se volta para a história, explorando um diálogo sobre os raios X, sua descoberta e seu funcionamento. A atividade destaca a importância dessa tecnologia e sua precursora, proporcionando uma conexão entre ciência e contexto histórico. Por meio de perguntas instigantes, os alunos são incentivados a refletir e identificar quem foi a pioneira no estudo dos raios X, promovendo não apenas a aquisição de conhecimento, mas também o desenvolvimento do pensamento crítico sobre a evolução da ciência e suas aplicações. Um exemplo dessa conexão histórica é dado no jogo pelo diário do cientista sobre o local definido como CPA.

#### Diário do cientista

*Hoje, passei o dia no laboratório de pesquisas antigas e tive a oportunidade de acessar materiais realmente valiosos. Conseguí algumas anotações detalhadas sobre as "garotas do rádio", um tema fascinante que explora a importância feminina. Além disso, também encontrei diversas pesquisas relacionadas à história, que oferecem uma nova perspectiva sobre eventos e figuras do passado.*

*Relógios antigos, especialmente fabricados nas primeiras décadas do século 20, eram revestidos com uma substância que brilhava no escuro graças à presença de um elemento radioativo. As trabalhadoras que aplicavam a tinta de rádio nesses relógios ficaram conhecidas como as "Garotas do Rádio", e muitas delas sofreram graves problemas de saúde devido à exposição à radiação. O problema de saúde surgiu porque as trabalhadoras, as "Garotas do Rádio", frequentemente usavam pincéis finos para aplicar a tinta e, para moldar as cerdas, acabavam levando o pincel à boca, ingerindo pequenas quantidades de rádio....*

#### Pesquisas sobre Raios X

*Durante a Primeira Guerra Mundial, a tecnologia de raios X desempenhou um papel crucial no tratamento de soldados feridos no campo de batalha. Muitas vidas foram salvas graças à descoberta dos raios X."*

Citemos outros exemplos de apresentação didática de conhecimentos científicos por meio do jogo:

**Pergunta:** Como os raios X funcionaram para ajudar médicos durante a Primeira Guerra Mundial, e quem foi a pessoa responsável por desenvolver unidades móveis de raios X para facilitar o atendimento próximo às linhas de frente?

**Dica:** Conhecer a aplicação dos raios X nos dias de hoje, assim como a resposta sobre quem contribuiu para esse avanço, está relacionado à mulher que ganhou dois Prêmios Nobel.

**Resposta:** Os raios X funcionaram durante a Primeira Guerra Mundial ao permitir que os médicos visualizassem ossos fraturados e localizassem estilhaços ou balas dentro dos corpos dos soldados sem a necessidade de abrir cirurgicamente os ferimentos. Isso acelerava o diagnóstico e tratamento, além de reduzir o sofrimento dos soldados.

A pessoa responsável por desenvolver unidades móveis de raios X para uso nas zonas de guerra foi Marie Curie. Ela trabalhou ativamente para levar essa tecnologia aos campos de batalha, equipando veículos com máquinas de raios X, que ficaram conhecidas como "Petit Curies". Esses veículos permitiam que médicos pudessem usar a tecnologia diretamente na linha de frente, salvando inúmeras vidas."

### 3.7 Metodologia Ativa e Abordagem com o Uso de Jogos Didáticos

As metodologias ativas, fundamentadas na ideia de que os alunos são agentes ativos na construção de seu próprio conhecimento, encontram apoio nas teorias de aprendizagem construtivistas. Jogos aplicam o construtivismo ao promoverem a aprendizagem ativa por meio de experiências práticas e interações significativas. Piaget (1976), Kolb (1984) e Vygotsky (1978) destacam que a participação, a experimentação e a colaboração são essenciais na construção do conhecimento, e os jogos criam cenários ideais para isso. A interação social também desempenha um papel fundamental, conforme apontado por Vygotsky (1978), que introduziu o conceito de aprendizagem social. Jogos multiplayer e atividades colaborativas permitem a troca de conhecimento entre os alunos, favorecendo a construção coletiva do aprendizado.

Piaget, em sua obra "O Nascimento da Inteligência na Criança," destaca a importância da atividade mental na aprendizagem. A metodologia ativa, ao propor a participação ativa dos alunos em atividades de aprendizagem, promove uma abordagem construtivista, na qual o conhecimento é construído por meio da exploração e da experiência prática.

Outro aspecto determinado por Lovato et al., (2018) é que o estudante traz consigo uma experiência do mundo, ou seja, uma concepção prévia baseada em seu cotidiano, e isso deve



ser considerado. Nessa perspectiva, o que se busca é a associação de conceitos com a realidade do aluno. Com embasamento nesse método, numa metodologia ativa, o papel do professor é atuar como orientador, selecionando o que é relevante no ensino e auxiliando os alunos a encontrarem significado nas atividades propostas.

A convergência entre metodologia ativa e jogos didáticos desempenha um papel importantíssimo na transformação do cenário educacional. Ao adotarem uma abordagem centrada no aluno, as metodologias ativas enfatizam a participação ativa e a construção de conhecimento, alinhando-se perfeitamente com os princípios dos jogos didáticos.

É fundamental destacar que o aluno precisa se sentir integrado à metodologia para ter seu interesse despertado, caso contrário, o processo de ensino não se concretiza. No âmbito das metodologias ativas, ao longo do tempo, foram desenvolvidas diversas formas, como aprendizagem colaborativa e aprendizagem cooperativa.

A imagem a seguir apresenta a classificação das metodologias ativas.

**Figura 4- Metodologias Ativas**

Classificação das metodologias ativas	
<b>Aprendizagem Colaborativa</b>	<p>Aprendizagem Baseada em Problemas (<i>Problem-Based Learning – PBL</i>)</p> <p>Problematização</p> <p>Aprendizagem Baseada em Projetos (<i>Project-Based Learning</i>)</p> <p>Aprendizagem Baseada em Times (<i>Team-Based Learning – TBL</i>)</p> <p>Instrução por Pares (<i>Peer-Instruction</i>)</p> <p>Sala de Aula Invertida (<i>Flipped Classroom</i>)</p>
<b>Aprendizagem Cooperativa</b>	<p>Jigsaw</p> <p>Divisão dos Alunos em Equipes para o Sucesso (<i>Student-Teams-Achievement Divisions – STAD</i>)</p> <p>Torneios de Jogos em Equipes (<i>Teams-Games-Tournament – TGT</i>)</p>

Lovato et al. (2018, p.160)

Na aprendizagem colaborativa, destacam-se abordagens como a Aprendizagem Baseada em Problemas (*Problem-Based Learning – PBL*) e a Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project-Based Learning*), pois são metodologias pedagógicas que desempenham um papel crucial na otimização dos benefícios dos jogos didáticos. Nesses contextos, os educadores podem integrar os jogos como elementos centrais em experiências de aprendizagem mais abrangentes. Por exemplo, ao utilizarem jogos de simulação, os alunos podem participar de projetos que demandem a aplicação prática dos conceitos aprendidos no jogo, estabelecendo assim uma



conexão valiosa entre a teoria e a prática. Alternativamente, o próprio jogo pode servir como uma ponte, incorporando conceitos que estabeleçam a ligação entre os conhecimentos teóricos e a realidade. Segundo Lovato

A aprendizagem cooperativa é uma metodologia na qual os alunos, em grupos pequenos e heterogêneos, se entreajudam no processo de aprendizagem e avaliam a forma como trabalham, com vista a alcançarem objetivos comuns. Já na aprendizagem colaborativa não existem relações hierárquicas (Lovato et al. 2018, p. 54).

### 3.7.1 Aprendizagem Baseada em Problemas (Problem-Based Learning – PBL)

O PBL foi inicialmente adotado em 1969, na McMaster University Medical School, no Canadá, com o objetivo fundamental de abordar problemas do mundo real, sendo esse o ponto central dessa metodologia (Lovato et al., (2018)).

A metodologia PBL geralmente segue uma estrutura que envolve as seguintes etapas (Lovato et al., (2018)):

1. Apresentação do Problema: os alunos são apresentados a um problema ou situação desafiadora, que requer investigação e resolução. Esse problema serve como ponto de partida para o processo de aprendizagem.
2. Formulação de Perguntas: os estudantes são incentivados a formular perguntas relacionadas ao problema apresentado. Essas perguntas guiam a pesquisa e orientam a exploração do tema.
3. Pesquisa Independente: os alunos realizam pesquisas independentes para coletar informações relevantes para a compreensão e resolução do problema. Essa fase promove a autonomia e a busca ativa de conhecimento.
4. Discussão em Grupo: os estudantes se reúnem em grupos para discutir suas descobertas, compartilhar perspectivas e colaborar na busca por soluções. A interação grupal enriquece a compreensão do problema e estimula o pensamento crítico.
5. Síntese e Apresentação: com base nas pesquisas e discussões, os alunos sintetizam suas descobertas e apresentam soluções para o problema proposto. Essa fase promove a comunicação eficaz e a consolidação do conhecimento adquirido.

De acordo com Lovato et al. (2018), essa abordagem ( PBL) é crucial, uma vez que coloca os alunos no centro do processo, induzindo a responsabilidade, tanto individual quanto



colaborativa, na resolução de problemas. Nesse contexto, o professor assume o papel de facilitador, auxiliando os alunos na orientação de seus raciocínios. Vale destacar que o PBL tem referência na metodologia construtivista.

Abaixo é proposto um exemplo de como abordagem baseada em problemas poderia ser aplicada na Física primeiramente escolhe-se o problema:

Título do Problema: “Decaimento Radioativo e Meia-Vida”

1- Descrição do Problema:

- Os alunos são apresentados ao conceito de decaimento radioativo e à meia-vida de um isótopo.
- Eles recebem dados sobre um isótopo específico (por exemplo, o Urânio-238) e sua taxa de decaimento.
- O problema consiste em calcular a meia-vida desse isótopo com base nos dados fornecidos.

A partir disso, estabelecem-se atividades para os alunos:

2- Atividades dos Alunos:

- Pesquisar sobre o isótopo em questão, suas propriedades e aplicações.
- Realizar cálculos para determinar a meia-vida usando a fórmula apropriada.
- Analisar como a meia-vida afeta a estabilidade de um material radioativo.

Dentro da atividade proposta anteriormente, poderiam ser feitas adaptações, de acordo com as oportunidades e recursos disponíveis, bem como os objetivos do professor. Por exemplo, como o decaimento radioativo pode ser visto apenas pelos seus efeitos de interação com a matéria, a abordagem de conceitos de meia vida dos elementos torna-se complexa, principalmente os que têm decaimento alfa de meia vida extremamente altos, sem auxílio de alguma ferramenta computacional. Diante desse cenário, desenvolvemos um trabalho com o intuito de explorar esses conceitos por meio de uma abordagem virtual, utilizando a ferramenta "*The Law of Radioactive Decay*" (FENDT, 2020). Nessa atividade virtual, é possível projetar gráficos e determinar parâmetros como a constante de decaimento radioativo, o período do decaimento, a velocidade de desintegração, entre outros.



### 3.7.2 A Teoria do Aprendizado em Jogos (Game-Based Learning- GBL)

A Teoria do aprendizado em Jogos (GBL) é uma categoria de prática educacional, que envolve a utilização de jogos como ferramenta educacional para promover o aprendizado, em diferentes contextos. Sendo uma metodologia ativa que combina o uso de jogos com o processo de ensino-aprendizagem, ela surgiu na década de 80, influenciada por diversas teorias educacionais.

A GBL emerge como uma abordagem inovadora e eficaz para promover o engajamento e a assimilação de conhecimento. A ideia dessa abordagem é aproveitar os elementos dos jogos, como desafios, interatividade, *feedback* imediato e motivação intrínseca, para criar ambientes de aprendizado mais envolvente e eficaz. Essa teoria fundamenta-se na aplicação estratégica de elementos de design de jogos no processo educacional, visando não apenas transmitir informações, mas também cultivar habilidades, atitudes e a motivação intrínseca para aprender.

Assim, destaca-se como os jogos podem motivar os alunos devido à sua natureza desafiadora e recompensadora. A motivação intrínseca gerada pelos jogos contribui para um ambiente de aprendizagem construtivista, no qual os alunos se tornam participantes ativos e engajados em seu próprio processo de aprendizagem.

A abordagem GBL engloba uma variedade de jogos, sejam eles analógicos (como jogos de tabuleiro, cartas), ou digitais (como aplicativos, moveis, jogos de console, jogos online). Como definem Ribeiro et al (2022, p.15) “O GBL é a aplicação de qualquer abordagem baseada em jogos projetada com o principal objetivo de proporcionar aprendizagem em vez de entretenimento”. Eles também destacam que jogos de tabuleiro são eficazes e adequados para educação, ressaltando que esses jogos são amplamente aceitos pelos alunos. O autor não apenas aborda a eficácia desses jogos, mas também compara sua efetividade com abordagens convencionais.

Um dos pontos destacados como determinante na discussão sobre essa metodologia é o “feedback” imediato e contínuo, uma característica intrínseca desses jogos e componente essencial na aplicação da GBL. A obra "Reality Is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World" de Jane McGonigal explora como os jogos fornecem feedback constante sobre o desempenho, permitindo aos jogadores ajustarem suas estratégias e melhorar suas habilidades. Da mesma forma, na educação, a rápida retroalimentação pode facilitar a aprendizagem adaptativa, promovendo uma compreensão mais eficaz dos conceitos.



Em resumo, ao combinar motivação intrínseca, aprendizagem ativa, feedback imediato e colaboração, a teoria GBL proporciona um ambiente educacional dinâmico que inspira os alunos a explorar, aprender e crescer.

Por fim, a interdisciplinaridade, um dos princípios norteadores da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) brasileira, encontra expressão nos jogos didáticos aplicados ao ensino de Física. Através da integração de elementos de matemática, física, tecnologia e até mesmo questões sociais, é possível criar, por meio deles, uma abordagem mais completa para o aprendizado, como discutido por autores como Paulo Freire, cuja obra "Pedagogia da Autonomia" fundamenta a importância da contextualização e relevância na educação.

Num contexto de união entre metodologias, abordagens voltadas para aprimorar o ensino e facilitar a aprendizagem, é possível estabelecer uma relação entre a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) e a abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Ambas representam paradigmas educacionais que compartilham a visão de promover uma educação mais contextualizada, significativa e alinhada à resolução de problemas do mundo real. Embora tenham origens distintas, essas abordagens convergem em vários aspectos, proporcionando uma sinergia valiosa para a formação de estudantes mais críticos e socialmente conscientes.



## 4 METODOLOGIA

A temática deste trabalho foi inicialmente desenvolvida a partir da integração de pesquisas realizadas durante minha graduação em Física na UFRRJ, especialmente por meio das discussões no grupo PIBID-Física, e pesquisas sobre o ensino de física nuclear e das radiações. Em seguida, foi aprimorada por meio de investigações conduzidas para minha monografia de graduação, que se concentrou no ensino de física nuclear, com um foco especial na experimentação. A consolidação dessa temática ocorreu durante o curso de Mestrado, onde o enfoque em ensino utilizando a abordagem CTS e a transposição didática foi adotado como estratégia para este trabalho.

Minha monografia de conclusão de curso (SAMPAIO; CRUZ, 2020) propôs a implementação de uma metodologia diversificada para o laboratório de uma disciplina de Estrutura da Matéria II – abordando tópicos de Física Atômica, Molecular e Nuclear –, com foco no estudo da partícula alfa. Tal abordagem visa promover a construção do conhecimento por meio da experimentação, combinando o uso de laboratórios investigativos, tanto virtuais quanto experimentais.

Para desenvolver o processo de escrita da monografia, com base nas atividades experimentais realizadas, também realizei pesquisas aprofundadas sobre os conceitos que os alunos possuem em relação ao ensino de física nuclear e das radiações. Essas investigações não se limitaram ao ensino médio, mas se estenderam até a graduação, permitindo uma análise mais ampla do entendimento dos estudantes sobre o tema. Essa abordagem foi essencial para identificar as falhas no conhecimento e as dificuldades que os alunos enfrentam ao lidar com conceitos complexos da física nuclear, revelando uma lacuna no ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC).

Além das questões anteriormente mencionadas, surgem também os questionamentos, levantados, tanto pelos alunos como pela sociedade em geral, que nos mostram os "preconceitos" associados a esse tema, frequentemente ligados a problemas, acidentes e tragédia. Essas questões foram abordadas e ratificadas no primeiro capítulo, intitulado "O ensino de física nuclear", que situa o ensino desta disciplina dentro do contexto educacional brasileiro.

Assim, visando encontrar as melhores abordagens para tornar o ensino mais dinâmico e para romper com o paradigma do ensino tradicional, foi elaborado um projeto com o objetivo de explorar diferentes metodologias, visando à criação de uma abordagem "final" mais eficaz para este propósito. A resposta a esse problema é a elaboração de um produto que proporcione



aos alunos uma imersão no universo da física nuclear e das radiações, e, com isso, promova uma aprendizagem significativa, capaz de fazer com que os alunos desenvolvam uma avaliação crítica sobre o tema e, consequentemente, uma capacidade de opinar conscientemente sobre ele, conforme os princípios do movimento CTS. A abordagem proposta constituiu na utilização de metodologias ativas de aprendizagem, especificamente a metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), a partir da união com a teoria do aprendizado em jogos (GBL).

Assim sendo, considerando-se a abordagem única que pode ser alcançada, dados os limitações inerentes à experimentação direta com os conceitos de física nuclear e das radiações, seja por questões de segurança ou pela complexidade dos equipamentos necessários, surgiu a ideia de desenvolver um jogo original – e não a adaptação de um jogo pré-existente –, que pudesse auxiliar os alunos na compreensão desses conceitos complexos, oferecendo experiências educacionais envolventes e acessíveis, capazes de superar as restrições das experimentações convencionais. Afinal, enquanto experimentos reais com física nuclear e das radiações muitas vezes apresentam desafios significativos devido aos riscos envolvidos, os jogos podem simular cenários desafiadores, como reações nucleares em uma escala macroscópica ou o comportamento de partículas subatômicas em ambientes extremos. Essa abordagem lúdica permite que os alunos explorem e experimentem conceitos nucleares de uma maneira que seria impraticável ou perigosa na vida real.

Todo o processo de criação do jogo, incluindo técnicas, regras, metodologia e design do tabuleiro, foi concebido com o objetivo de envolver os alunos em uma abordagem o mais próxima possível do ideal, para incentivá-los a jogar, utilizando seus conhecimentos.

Como objetivos específicos dessa pesquisa:

- Pesquisa bibliográfica sobre as alternativas de metodologias ativas que possam se mostrar eficazes no processo de ensino-aprendizagem de temas complexos como a física nuclear e das radiações;

- Escolha da metodologia mais adequada, realizando as adaptações necessárias para sua integração ao produto educacional elaborado, incorporando abordagens como Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) e o uso de jogos didáticos para tornar o processo de ensino mais dinâmico e envolvente.

- Criação de um instrumento de validação do produto educacional sugerido, e validação a partir da pesquisa quantitativa.



A abordagem adotada neste trabalho é fundamentada na teoria PBL (Problem-Based Learning), na qual os alunos são desafiados a investigar, explorar e resolver problemas do mundo real por meio de "situações problemas". Porém são feitas adaptações nessa metodologia para atender à proposta do jogo. Esta metodologia é aplicada de forma a apresentar os problemas a serem resolvidos como desafios durante as partidas do jogo desenvolvido.

Uma das etapas da metodologia PBL adotada nesse trabalho consiste no processo de pesquisa sobre o tema abordado, que, dentro dessa proposta, é conduzido de forma independente pelos alunos antes de iniciarem a atividade lúdica.

O design do jogo foi cuidadosamente planejado para proporcionar situações hipotéticas nas quais os alunos pudessem experimentar e compreender conceitos complexos de forma segura e interativa.

#### **4.1 Tipos de pesquisas**

Nesse trabalho utilizamos dois tipos de pesquisas essenciais: a pesquisa bibliográfica e a pesquisa quantitativa. A primeira teve como objetivo realizar uma revisão abrangente e crítica da literatura existente, explorando as diferentes perspectivas, abordagens e descobertas relacionadas ao tema em questão.

Como um todo, a pesquisa deste trabalho buscou metodologias selecionadas para atender às demandas específicas do nosso problema. Foram realizadas análises para identificar as metodologias que melhor se alinhavam com os objetivos e as particularidades do projeto. Dessa forma, foram investigadas diversas abordagens, incluindo a abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e estratégias ativas de ensino, como, por exemplo, GBL (Game-Based Learning). Também foram investigadas as questões relacionadas à transposição didática.

#### **4.2 Validação do produto e a abordagem quantitativa**

##### **4.2.1 Validação de Jogos Educacionais por Meio Avaliativa**

A validação de jogos educacionais por meio da pesquisa avaliativa é uma prática essencial para garantir que esses recursos sejam eficazes e relevantes para o ensino. A pesquisa

avaliativa é uma abordagem metodológica que busca analisar e medir a efetividade, impacto e relevância de um programa, produto ou intervenção dentro de um contexto específico.

Vianna (2001, p. 87) define a pesquisa avaliativa como "um processo sistemático de investigação sobre a eficácia de intervenções educacionais, permitindo ajustes e melhorias com base em dados empíricos". Esse tipo de pesquisa é particularmente útil na análise de metodologias inovadoras, como o uso de jogos digitais na educação.

Os principais objetivos da pesquisa avaliativa são:

- Identificar se um produto ou intervenção atinge os resultados esperados.
- Fornecer subsídios para aprimoramento contínuo.
- Garantir que os recursos utilizados na educação sejam eficazes e adequados ao público-alvo.

Para validar um produto educacional, existem diversos métodos definidos. No caso específico desse trabalho para a validação de um jogo didático para o ensino de física nuclear e das radiações, a percepção dos professores desempenha um papel fundamental.

#### 4.2.2 Validação em Grupos de Educadores

Diferentes abordagens podem ser adotadas para a validação de jogos educacionais. No Rio de Janeiro, por exemplo, existe o grupo Ludus Magisterium, criado por educadores e pesquisadores interessados no uso de jogos de tabuleiro para práticas educacionais. Em 2019, ano de sua concepção, o grupo contava com aproximadamente 144 integrantes.

Os chamados "educadores do tabuleiro" utilizam jogos como estratégias pedagógicas e, entre eles, realizam a validação dos jogos. Carvalho (2022) define esse grupo como um intercâmbio de conhecimentos e práticas educacionais. As reuniões ocorrem principalmente pelas redes sociais, com encontros presenciais esporádicos, incluindo um evento chamado "Mostre e Conte", onde jogos são apresentados e discutidos. Apenas por uma questão de curiosidade com uma pesquisa rápida no Google e no site oficial do grupo, identifiquei que o processo de ingresso é simples: basta realizar um cadastro para a coleta de dados. Após isso, o participante é inserido no grupo, sendo essencial manter-se ativo nas discussões.

#### 4.2.3 Validação por Especialistas

Uma das formas mais importantes de validação é a realizada por especialistas, nesse caso, professores de física. Devido à sua experiência e conhecimento, esses profissionais podem fornecer feedbacks valiosos. A validação por professores permite avaliar diversos aspectos do jogo, tais como:

- Conteúdo: verifica se o jogo aborda corretamente os conceitos de física nuclear e das radiações.
- Pedagogia: Se o jogo é adequado para o nível de ensino dos alunos e se as atividades propostas são eficazes para promover a aprendizagem.
- Jogabilidade: Se o jogo é divertido, envolvente e fácil de usar.
- Motivação: Se o jogo é capaz de motivar os alunos a aprender sobre física nuclear e das radiações.

### 4.3 Procedimentos Metodológicos

Paranhos et al. (2016) definem que a pesquisa deve seguir etapas específicas:

1. Definição da questão de pesquisa;
2. Unidade de análise;
3. Amostra;
4. Coleta de dados;
5. Estratégias de análise dos dados.

O autor destaca que o primeiro passo na pesquisa é a definição da questão a ser analisada. Em seguida, ao tratar da unidade de análise, ele a define como os casos de pesquisa, podendo incluir indivíduos, grupos, estados, países. Em relação a amostra é considerada o elemento central da pesquisa, pois, conforme Paranhos et al. (2016, p. 393), “as inferências produzidas serão precisas, confiáveis e detalhadas” se a amostra for selecionada corretamente. A coleta de dados também desempenha um papel fundamental, pois determina a forma como as

informações serão obtidas. Por fim, a estratégia de análise dos dados coletados é essencial para a interpretação dos resultados.

Paranhos (2016) explica que os dados podem ser analisados tanto de forma quantitativa quanto qualitativa, simultaneamente, sendo organizados conforme a prioridade dentro da pesquisa, com um método se sobrepondo ao outro. O autor ainda destaca que, no modelo *Sequential Explanatory*, “o quantitativo precede o qualitativo. A análise qualitativa será realizada a partir dos resultados preliminares produzidos via análise quantitativa” (PARANHOS et al., 2016, p. 395).

No entanto, para Creswell e Clark (2013), a abordagem mencionada é denominada método misto, com uma diferenciação de peso entre as análises. Assim, quando a pesquisa possui predominância de dados quantitativos, pode ser classificada como *quanti-qualitativa*. Além disso, os autores afirmam que, mesmo pesquisas essencialmente quantitativas podem dialogar com métodos qualitativos, incorporando aspectos dessa abordagem.

Com base em todas as análises realizadas e discussões apresentadas, bem como nas abordagens utilizadas, este trabalho será caracterizado como uma pesquisa quantitativa, segundo a perspectiva de Creswell e Clark (2013). Embora conte com elementos qualitativos, ao permitir que os entrevistados – neste caso, os professores – expressem suas percepções sobre o produto educacional, a pesquisa não apresenta uma abordagem suficientemente aprofundada para a análise de fenômenos sociais e educacionais de maneira qualitativa. Dessa forma, a pesquisa em questão é quantitativa, uma vez que, apesar da análise do discurso dos professores, essas análises são tratadas como observações secundárias, conforme definido por Creswell e Clark (2017).

#### **4.4 Resumo das Características da Pesquisa Quantitativa e Métodos de Análise**

A pesquisa quantitativa é um método estruturado de investigação que emprega dados numéricos para descrever, explicar, prever ou controlar fenômenos. Seu principal objetivo é testar hipóteses, bem como identificar padrões e relações entre variáveis por meio de análises estatísticas (CRESWELL, 2017)

A pesquisa quantitativa é caracterizada por:

- Objetividade: coleta de dados padronizada.



- ✓ Instrumentos estruturados: Utiliza questionários, testes padronizados, escalas (exemplo: escala de Likert).
- ✓ Uso de amostras representativas: A seleção dos participantes segue critérios estatísticos para garantir validade externa.
- Análises estatísticas: inclui estatísticas descritivas e inferenciais.
- Generalização dos resultados: inferência para um grupo maior (Marconi & Lakatos, 2017).

Assim, Creswell (2013) também define a forma de coleta de dados na pesquisa quantitativa, que pode ser realizada, por exemplo, por meio de questionários. Quando o questionário contém perguntas fechadas, como escalas de Likert, múltipla escolha ou respostas numéricas, a pesquisa busca mensurar fenômenos, permitindo a aplicação de análises estatísticas para identificar padrões, relações e tendências (CRESWELL, 2013).

#### **4.5 Processo de Validação do Jogo**

A validação do jogo educacional foi realizada em dois momentos:

1. **Apresentação do Produto Educacional:** Apresentação do material do produto educacional, ou seja, o jogo, detalhando seu funcionamento, regras, conteúdos abordados, mapas e um capítulo intitulado "*Vamos jogar juntos?*", além de outras informações fundamentais. Também foi incluído um capítulo explicativo sobre a justificativa para cada elemento presente no jogo, abordando sua concepção para o processo de aprendizagem, os desafios didáticos envolvidos, entre outros aspectos relevantes.

Após o envio desse material, foram realizadas interações principalmente em ambiente virtual, por meio de plataformas como Google Meet e WhatsApp, permitindo o esclarecimento de dúvidas e discussões sobre o jogo.

2. **Coleta de Dados:** No segundo momento, foi realizada a coleta de dados por meio de um questionário estruturado em grupos, com o objetivo de analisar o produto educacional de forma abrangente. A maior parte do questionário continha perguntas fechadas, mas também foram incluídos itens discursivos para que os professores pudessem expressar suas opiniões de maneira mais detalhada.



Além disso, a análise contou com discussões e trocas de informações por meio do WhatsApp, permitindo que os professores contribuíssem de forma mais direta e menos formal. Esse formato de interação foi especialmente útil, pois possibilitou uma avaliação mais rica e aprofundada de diferentes aspectos do produto.

Dessa forma, a pesquisa adotou uma abordagem quantitativa, com elementos qualitativos secundários. Como destaca Creswell e Clark (2017), mesmo pesquisas quantitativas podem dialogar com métodos qualitativos para enriquecer a análise e a compreensão dos dados.



## 5 RESULTADOS

### 5.1 PROPOSTA DO PRODUTO DIDÁTICO

A proposta desta pesquisa foi a elaboração e construção de um jogo de tabuleiro com a finalidade de promover o ensino de Física nuclear e das radiações na Educação Básica. O produto, intitulado *Além do reator - Desafios na Cidade Radioativa*, é um jogo de tabuleiro educativo desenvolvido para auxiliar no ensino de Física Nuclear e das radiações de forma dinâmica e interativa. Criado para envolver os alunos em uma experiência imersiva, o jogo os coloca no papel de exploradores que, após uma pane em sua embarcação, ficam à deriva e acabam em uma ilha contaminada por radiação. Seu objetivo é escapar desta ilha antes que morram devido aos efeitos da radiação, enfrentando desafios e tomando decisões estratégicas baseadas em conceitos científicos.

O resultado final desta dissertação é composto de um kit didático que engloba todos os componentes essenciais do jogo, como um tabuleiro, cartas e um diário de bordo para que o aluno se oriente durante a partida. Este kit ainda possui um livro do Mestre, que servirá de guia para quem conduz a partida. Nele temos as regras, desafios e orientações para estruturar a partida e interagir com os jogadores, assim como um livro que contém as regras gerais.

#### 5.1. Elaboração e construção do jogo

O jogo foi desenvolvido para ser jogado com base em uma cidade fictícia como pano de fundo, proporcionando uma flexibilidade para a inclusão de diversas situações, tanto reais quanto fictícias. Essa abordagem permite uma variedade de possibilidades para a criação de cenários que podem facilitar a aprendizagem e engajar os participantes em uma diversidade de contextos desafiadores. Na medida em que o jogo incorpora elementos da vida real ao contexto da cidade fictícia, os jogadores são incentivados a explorar situações autênticas que refletem os conceitos e princípios dos temas abordados. Ao mesmo tempo, a inclusão de elementos fictícios permite maior liberdade criativa, proporcionando a introdução de desafios únicos e estimulantes, que podem enriquecer ainda mais a experiência de aprendizado.



O jogo foi cuidadosamente elaborado adotando-se uma abordagem colaborativa, na qual todos os participantes compartilham um objetivo comum. Essa escolha visa promover uma dinâmica de aprendizado que valoriza a troca de conhecimento entre os alunos, incentivando o diálogo e a colaboração como elementos essenciais da experiência educativa. Ao compartilharem ideias, discutirem conceitos e trabalharem em conjunto para alcançar metas comuns, os alunos não apenas fortalecem a compreensão dos conteúdos abordados, mas também desenvolvem habilidades de comunicação e trabalho em equipe.

Além disso, a abordagem colaborativa do jogo também serve como um estímulo para o pensamento estratégico dos alunos). Ao enfrentarem desafios e resolverem problemas em conjunto, os participantes são incentivados a pensar de forma crítica e a desenvolver estratégias eficazes para alcançar seus objetivos. Essa prática de pensamento estratégico não apenas enriquece a experiência lúdico-didática, mas também prepara os alunos para enfrentar desafios futuros de forma mais eficaz em suas vidas acadêmicas e profissionais (PERETTI,2020)

## **5.2. A abordagem geral do jogo**

Como dito, o produto desenvolvido nesta dissertação é um jogo de tabuleiro que incorpora abordagens de outros tipos de jogos, como, por exemplo, o RPG (*Role Playing Game*), no qual a descrição de ambientes é utilizada para proporcionar uma imersão mais profunda aos alunos. Além disso, o jogo conta com a presença ativa de um mestre, que pode ser o professor ou outra pessoa responsável por conduzir a partida, orientando os jogadores e garantindo o bom andamento do jogo — um elemento característico dos RPG.

O ambiente em que se passa o jogo é composto por diversos locais que os alunos podem explorar em busca de recursos para escapar da ilha. Cada local oferece ao jogador opções de fases em que ele pode jogar, definidas por perguntas que representam situações-problema apresentadas de forma direta ou indireta. As perguntas diretas surgem por meio de cartas que auxiliam na evolução da partida, enquanto as cartas de consequência adicionam desafios e reviravoltas a ela. Essas cartas e seu uso serão abordados posteriormente.

Os componentes do jogo são:

- Mapa/ tabuleiro
- Cartas perguntas
- Prontuário (tabela de anotações)



- Diário do cientista
- Livro do mestre
- Cartas consequências
- Fotos dos locais
- Livros de regras
- Elementos extras

Todo o material necessário para o andamento do jogo estará disponível no *Kit do Jogo*, incluindo as consequências, recursos e itens essenciais para a dinâmica das partidas.

A seguir, será apresentada toda a dinâmica de funcionamento de cada elemento, bem como o processo de desenvolvimento do jogo e a forma como ele será jogado.

### **5.3. O funcionamento do Jogo**

O funcionamento do jogo se caracteriza pelas seguintes etapas:

1. Escolha do Local – Os jogadores escolhem um local para explorar no tabuleiro. Cada local tem uma descrição específica, que é lida pelo Mestre (moderador do jogo).
2. Definição da Fase – O Mestre informa quantas fases estão disponíveis no local escolhido e os jogadores decidem qual fase querem jogar.
3. Leitura do Contexto – O Mestre lê a situação-problema referente à fase escolhida.
4. Resolução da Fase – Os jogadores tentam resolver a questão apresentada, utilizando o diário de um cientista como fonte de apoio.
5. Registro de Consequências – O Mestre registra se os jogadores ganharam ou perderam horas no tempo fictício do jogo. Se houver outras consequências, como aquisição de itens ou pistas, o Mestre também as entrega.
6. Continuação do Jogo – O grupo segue explorando outros locais e enfrentando desafios até encontrar a saída da ilha dentro do tempo limite.

### **5.4. A construção do ambiente do jogo**

Em busca de um ambiente no qual o aluno, mesmo em um mundo imaginário, possa estabelecer uma conexão com a realidade, foram utilizados elementos reais – como, por exemplo, a floresta vermelha remete a Chernobyl – na caracterização dos locais onde ocorre o jogo.



Assim, foi criada uma cidade fictícia, destinada ao desenvolvimento de tecnologia nuclear e posteriormente evacuada devido a um acidente em uma usina nuclear. Por razões de contaminação, a cidade permanece completamente isolada do resto do mundo.

A escolha de uma cidade fictícia foi feita para facilitar a narrativa do jogo, permitindo explorar uma realidade não vinculada a eventos específicos, e assim possibilitando a inclusão de diversos outros acontecimentos. Com base nisso, a composição do cenário da cidade, além das partes imaginárias, incorporou características extraídas de alguns casos de acidentes nucleares que de fato ocorreram no mundo. Exemplos incluem o incidente no lago Karachai (1951) e em Chernobyl (1986), ambos na ex-União Soviética, o acidente nuclear na usina Three Mile Island (1979) nos Estados Unidos, o acidente com o Césio-137 (1987), ocorrido no Brasil, e o mais recente o acidente nuclear de Fukushima I (2011).

## 5.5. Elementos do Jogo

### 5.5.1 Tabuleiro/ Mapa

O tabuleiro desempenha um papel fundamental em estruturar e organizar a partida, servindo como um mapa que delimita os locais da cidade — o cenário do jogo. Ele representa os lugares que os jogadores podem explorar em sua jornada para alcançar o objetivo final. Além de guiar a movimentação, o tabuleiro permite acompanhar o progresso dos jogadores, facilitando a visualização de sua posição atual e dos próximos desafios.

Além de sua função prática, o tabuleiro (Figura 1) também enriquece a narrativa do jogo, utilizando elementos visuais para representar os ambientes e tornar a experiência mais imersiva. Com áreas específicas e marcadores, ele auxilia na tomada de decisões e garante que os jogadores avancem de forma organizada ao longo da partida.



**Figura 5- O Tabuleiro**



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Os jogadores podem escolher visitar a maioria dos locais de forma arbitrária, sem a necessidade de seguir uma ordem específica. A única exceção é a usina (Local 14 do Tabuleiro), que exige a posse de alguns itens específicos, coletados ao longo da partida, para que os jogadores possam acessá-la. O mapa da cidade (tabuleiro), entregue aos alunos, representa a cidade antes do acidente e inclui apenas os locais que podem ser explorados durante o jogo.

#### 5.5.2 Descrição dos locais

Visando integrar os jogadores e promover maior ambientação com o jogo, estão incluídas as descrições detalhadas dos locais pelos quais eles transitarão. Essas descrições desempenham um papel importante na imersão, criando uma atmosfera envolvente, que permite aos



jogadores imergirem profundamente na narrativa do jogo, tornando-se parte integrante do ambiente e elevando o engajamento emocional. Além disso, ao incorporar influências do RPG, a descrição dos locais contribui para enriquecer o contexto narrativo do jogo, fornecendo informações essenciais sobre o cenário, história e personagens, proporcionando aos jogadores um pano de fundo significativo para suas interações.

Na busca por intensificar a imersão do aluno, também foram utilizadas imagens que, em conjunto com as descrições, têm um papel importante no jogo.

Locais dentro do jogo (Figura 1):

- Casa do cientista 1
- Casa do cientista 2
- Casa 1
- Casas 2
- Casa diretor de segurança da usina
- Hospital
- Lago
- Parque da cidade
- Laboratório
- Laboratório CPA – Centro de pesquisas antigas
- Laboratório Radius
- Gruta
- Floresta vermelha
- Usina

Abaixo está um exemplo da descrição de um local: Quarto do cientista acompanhada de uma imagem de referência.

#### **Quarto do cientista - descrição encontrada no livro do mestre:**

*“Imagine um quarto sombrio, silencioso e coberto por uma espessa camada de poeira, resultado de anos de abandono após um acidente nuclear. No canto existe uma mesa de trabalho robusta, com instrumentos científicos enferrujados e parcialmente desintegrados. Amostras de materiais nucleares, agora perigosamente instáveis, ainda estão presentes, encapsuladas*



*em recipientes de vidro rachados e metálicos corroídos pelo tempo. Algumas dessas amostras emitem um brilho fraco e assustador, o que cria uma sensação de perigo iminente.*

*Ao redor do quarto, prateleiras estão desmoronando, repletas de livros científicos com páginas amareladas e rasgadas, muitos deles caídos no chão em desordem, cobertos pela poeira acumulada. Fórmulas complexas ainda podem ser vistas em pedaços de papel espalhados e presos a um quadro-negro em ruínas, onde equações físicas não resolvidas se misturam com desenhos de experimentos nunca concluídos. Há sinais claros de que o cientista estava no meio de algo muito importante quando foi forçado a abandonar tudo.*

*Jalecos brancos manchados de tempo e sujeira estão jogados sobre cadeiras velhas e no chão, como se o dono tivesse saído às pressas. Perto de um canto, frascos de substâncias químicas se misturam com cadernos de anotações, muitos deles abertos, revelando equações e teorias inacabadas.”*

**Figura 6- Quarto do Cientista**



Fonte: elaborado pela autora (2024)

É importante ressaltar que as imagens utilizadas foram criadas com o auxílio de inteligência artificial (IA), utilizando principalmente as plataformas Copilot (GITHUB, 2025) e Bing



(MICROSOFT, 2025), que oferecem ferramentas para a geração de imagens personalizadas.

Dessa forma, todas as imagens no jogo são autorais.

A escolha por imagens geradas por IA visa evitar problemas relacionados a direitos autorais, além de contribuir para a originalidade do jogo, tornando-o completamente inédito. Além disso, as imagens foram personalizadas para se adequar de forma específica a cada situação do jogo.

### 5.5.3 As ações do jogo- Perguntas

O jogo se fundamenta em cenários apresentados, nos quais são formuladas questões sobre a resolução de determinadas situações. Assim, uma característica essencial do jogo é sua natureza orientada, em que a progressão ocorre a partir da resolução de “perguntas”, que aqui são chamadas situações-problema. Nesse sentido, situações-problema e perguntas têm o mesmo significado. Essas situações podem ser apresentadas de diferentes formas, como perguntas diretas ou indiretas, a partir de maneiras alternativa como: palavras cruzadas, atividades de verdadeiro ou falso, montagem de tabelas, entre outras. O objetivo é diversificar a forma de interação, tornando o aprendizado mais dinâmico e, consequentemente, mais divertido.

As respostas corretas dadas pelos jogadores podem ser usadas para descobrir senhas, abrir cofres ou proteger os jogadores, entre outros exemplos. Com isso, os jogadores devem dialogar e colaborar para solucionar os desafios propostos, que envolvem conceitos de física nuclear e radiações. Caso os conceitos sejam mais complexos, a própria situação apresentada pode oferecer dicas para auxiliar na resolução, permitindo que os participantes avancem para a próxima etapa.

As situações-problema são apresentadas pelo mestre, e, para que os alunos possam acessá-las diretamente, elas podem ser entregues a eles de duas formas: através de cartas com perguntas (*perguntas diretas*) ou por meio de modelos impressos (*pergunta indireta*). O objetivo é expor, de maneira clara, o que os jogadores precisam responder.

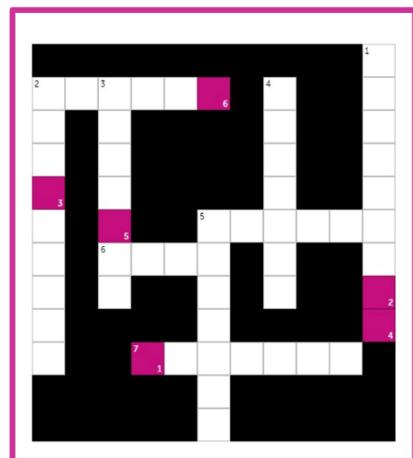
Nas Figuras 7 e 8 encontram-se modelos de situações-problema: um exemplo de pergunta feita de maneira indireta e um exemplo de pergunta feita de maneira direta, respectivamente. Esta é uma ilustração de como essas situações podem ser apresentadas de maneiras alternativas.



Figura 7- Modelo de situação problema: Exemplo de pergunta de maneira indireta

## Perguntas - Fase única

**Pergunta 1:** Ao examinar com atenção, vocês percebem que há uma resposta oculta em uma palavra cruzada. Complete a palavra cruzada para descobrir a resposta que pode ajudar a continuar a jornada."



1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

### horizontal

- 2 Doença causada pela exposição à radiação durante o acidente
- 5 Material no qual o Césio-137 estava encapsulado originalmente
- 6 Cor da substância radioativa que atraiu a atenção das vítimas
- 7 Cidade onde ocorreu o acidente radiológico no Brasil

### vertical

- 1 Grupo profissional que encontrou e manipulou o equipamento radioativo.
- 2 Material radioativo envolvido no acidente de Goiânia
- 3 Um dos principais sintomas da exposição à radiação
- 4 Objeto de onde foi retirado o Césio-137
- 5 Local de onde o equipamento radioativo foi retirado indevidamente.

Fonte: elaborado pela autora (2024)

Exemplo de pergunta de maneira direta, através de cartas:

Figura 8- Exemplo de pergunta de maneira direta

**14 USINA**

**Pergunta:** Um contador Geiger detecta 500 partículas por segundo em uma amostra. Se a atividade dessa amostra decai exponencialmente com uma meia-vida de 5 minutos, quantas partículas serão detectadas por segundo após 15 minutos?

Fonte: elaborado pela autora (2024)



Por fim, dependendo do local existem as chamadas de *perguntas desafios*. Essas perguntas não têm impacto direto na resolução do jogo e podem ser respondidas a critério dos jogadores, ou seja, eles podem optar por respondê-las ou não. Essas perguntas abordam conceitos mais avançados e, por esse motivo, oferecem bônus aos jogadores. Elas fornecem recompensas valiosas que podem facilitar o progresso dos jogadores e ajudar significativamente na conclusão da partida.

#### 5.5.4 Dinâmica do Tempo do jogo

O jogo trabalha com duas categorias de tempo: o "*tempo do jogo*" e o "*tempo real*". Dessa forma, além do objetivo principal de escapar da ilha, há uma contagem regressiva que representa o avanço do *tempo do jogo*. Devido ao elevado nível de contaminação no local, os jogadores têm um período limitado para evacuar a ilha, ou seja, "sair da ilha". Esse tempo foi definido como o *tempo do jogo*, que começa em 0 horas e pode chegar até um máximo de 24 horas. Sendo assim, *tempo do jogo* corresponde a 24 horas fictícias que os jogadores têm para concluir a missão. É importante destacar que, ao atingirem o limite de 24 horas, os jogadores perdem a partida.

Esse período é contabilizado com base nas ações realizadas e nas consequências enfrentadas pelos alunos durante a partida. O acúmulo de horas ocorre de diversas formas ao longo da partida, como:

- A escolha por passar por fases;
- O uso de dicas;
- Respostas incorretas, que resultam em penalidades de tempo e atrasam o progresso do grupo.

Portanto, reduzir o tempo (perder horas) acumulado é benéfico, enquanto qualquer ação que acrescente horas é prejudicial ao grupo. Dessa forma, a gestão do tempo torna-se um elemento estratégico essencial para o sucesso da missão. Ao optarem por resolver uma fase, os jogadores "ganham" horas, ou seja, acrescentam tempo ao total acumulado do grupo. Esse acréscimo representa o tempo gasto explorando determinado local, funcionando como uma penalidade estratégica. O objetivo dessa mecânica é incentivar os jogadores a refletirem antes de explorar todas as fases, promovendo uma gestão mais cuidadosa do tempo e aumentando o dinamismo da partida.



Essa dinâmica também contribui para a rejogabilidade, permitindo que o jogo seja jogado várias vezes pelo mesmo grupo. A cada nova partida, os jogadores podem escolher explorar locais e enfrentar desafios diferentes, criando experiências únicas. Por fim, os alunos precisam adotar estratégias eficientes para decidir quais fases enfrentar, considerando o tempo disponível e os recursos acumulados ao longo da partida. Essa abordagem estimula o pensamento crítico e a tomada de decisões baseadas em análise de riscos e recompensas. Como cada fase escolhida adiciona 2 horas ao tempo total do grupo, os jogadores podem facilmente ultrapassar o limite de 24 horas se não adotarem estratégias eficazes. Por isso, é fundamental que o grupo planeje cuidadosamente suas decisões para otimizar o tempo e evitar a derrota.

Outro aspecto importante é o gerenciamento do tempo: como responder às perguntas consome tempo de jogo, os alunos precisarão adotar estratégias para decidir quais fases enfrentar, o que impede que todas as fases sejam respondidas em uma única partida. Isso mantém o jogo dinâmico e desafiador a cada nova experiência.

No entanto, algumas consequências - bônus do jogo permitem que os jogadores “percam horas”, ou seja, que reduzam o tempo acumulado dentro da ilha. Essa mecânica oferece oportunidades estratégicas para explorar novos locais ou ajustar o plano de ação de forma mais inteligente, incentivando o pensamento crítico e a tomada de decisões táticas.

Já o tempo da partida refere-se ao tempo real, com duração de 90 minutos, ou seja, dois tempos de aula de 45 minutos. Esse limite foi pensado para facilitar a aplicação do jogo em diferentes contextos escolares, permitindo que professores o utilizem de forma prática em salas de aula com horários variados. Caso esse limite de tempo seja alcançado sem que os jogadores tenham cumprido suas metas, considera-se que perderam a partida também. Essa estrutura permite ao professor controlar a duração do jogo de forma eficiente. No entanto, o tempo da partida não é um limite rígido. Se o professor dispuser de mais tempo ou desejar proporcionar uma imersão maior, ou ainda incluir dinâmicas diferentes, é possível ajustar a duração da partida de acordo com as necessidades da turma.

Caso haja mais tempo, é possível:

- Adicionar novas fases;
- Modificar as consequências de determinadas ações;
- Estimular maior interação entre os alunos;
- Prolongar a duração da partida.



As fases do jogo, que serão abordadas adiante, foram desenvolvidas para torná-lo dinâmico e, ao mesmo tempo, auxiliar o professor no gerenciamento do tempo total de aplicação. No *Livro do Mestre*, que também terá uma abordagem específica, estão detalhados os locais e fases que os alunos precisam visitar para concluir a partida.

Como algumas fases não são essenciais para a resolução dos desafios, é possível que os alunos não passem por todas elas. Caso o tempo disponível seja limitado, o professor, ou mestre, pode orientar os alunos sobre quais locais devem ser explorados para que o tempo real seja otimizado e garanta-se a finalização da partida sem prejuízos didáticos. Embora essa intervenção possa reduzir um pouco o dinamismo do jogo, ela não compromete seu objetivo principal, que é o aprendizado do tema abordado.

Como vimos, o principal objetivo do jogo é incentivar os jogadores a aplicarem seus conhecimentos na resolução de problemas. Para isso, o jogo foi cuidadosamente elaborado para estimular os participantes a buscarem apoio e aprofundar sua compreensão dos conceitos abordados em momentos específicos da partida, ou seja, solicitar *dicas*. Solicitar ajuda por meio das dicas resulta no ganho de horas para o aluno. Portanto, a utilização dessas dicas deve ser reservada para situações críticas no jogo. A intenção é incentivar os alunos a resolverem os desafios por meio de discussões em grupo, utilizando seus próprios conhecimentos, sem utilizarem excessivamente as dicas.

No caso de respostas incorretas, os jogadores enfrentam uma penalização adicional, ganhando mais tempo, pois, isso pode levá-los a direcionamentos inadequados, como ir para locais pouco úteis ou enfrentar obstáculos devido à falta de informações, entre outras situações. Essa abordagem visa desencorajar simples tentativas aleatórias de respostas, incentivando os alunos a buscar respostas de maneira organizada com o seu grupo.

Como mencionado anteriormente, no jogo, é dada prioridade à tentativa crítica e fundamentada de acerto em lugar de um palpite aleatório. Dessa forma, uma resposta diretamente incorreta resulta em uma penalização de mais horas (3h), enquanto respostas com auxílio das cartas acarretam em uma penalização menor (2h).

Outra forma de se perderem horas, que serve como meio de controle do tempo do jogo, é quando os jogadores dedicam um período prolongado tentando formular a resposta correta. Isso fica a critério do mestre, com base no tempo que ele ainda tem para que a partida seja finalizada.

Uma possibilidade adicional, a critério do professor e de acordo com seus objetivos, é a comparação do "tempo do jogo" de cada grupo ao final de cada partida. Pode-se estabelecer o

tempo que um grupo levou para concluir a jornada e escapar da ilha como critério para determinação da vitória, ou fornecendo também um critério de desempate. No entanto, é importante ressaltar que essa abordagem é opcional, todos os grupos que conseguirem sair da ilha no tempo estabelecido são considerados vencedores do jogo.

#### 5.5.5 O papel do mestre (orientador)

O mestre desempenha o papel de orientar o funcionamento do jogo, contribuindo para a organização e o desenvolvimento do pensamento dos alunos em relação aos conceitos físicos abordados. É fundamental que ele tenha uma compreensão aprofundada do jogo, permitindo-lhe desempenhar efetivamente seu papel como um bom mestre, coordenando o andamento da partida e garantindo que as regras sejam cumpridas.

Como dissemos, o mestre é o responsável por orientar e conduzir o jogo. Sendo assim, quando os alunos escolhem um local para explorar, o mestre apresenta as possibilidades disponíveis, informa quantas fases existem naquele local, orienta os jogadores e cria uma atmosfera imersiva, ao ler as descrições correspondentes. Além disso, o mestre verifica as respostas dos alunos, organiza as consequências das decisões tomadas, faz o controle do tempo acumulado e gerencia toda a dinâmica da partida. Por isso, caso o professor não assuma o papel de mestre, é fundamental que ele escolha cuidadosamente o aluno que desempenhará essa função. Ser o mestre também é uma oportunidade de aprendizado, pois incentiva o aluno a estudar os conceitos do jogo, aprimorando seu entendimento e sua capacidade de conduzir a experiência de forma eficiente.

#### 5.5.7. Livro do orientador (Mestre)

Este livro é essencial para o bom funcionamento do jogo, pois contém todas as regras que devem ser aplicadas durante a partida. Essas regras têm o objetivo de garantir que o mestre atue de forma imparcial e impessoal, aplicando benefícios e punições de maneira justa para todos os jogadores.

Todo o conteúdo do jogo está reunido neste livro, incluindo:

- A descrição dos locais;
- O número de fases em cada local;



- As fases essenciais para o progresso do jogo;
- Contextos e situações-problema;
- Consequências das ações dos jogadores;
- Elementos extras que enriquecem a dinâmica da partida.

Além disso, o livro também reúne as respostas esperadas das perguntas que surgem ao longo da partida, funcionando como uma fonte de consulta para o mestre. Isso é especialmente útil quando o mestre é um aluno escolhido pelo professor, pois o material oferece toda a base necessária para conduzir a partida de forma eficiente, com o apoio e a supervisão do professor sempre que for preciso.

#### 5.5.8. Livro de Regras

Este livro reúne todas as informações essenciais para que o aluno participe ativamente do jogo, promovendo não apenas o engajamento, mas também a aquisição de conhecimentos importantes para a tomada de decisões estratégicas. Ele oferece uma visão abrangente das opções disponíveis, permitindo que o aluno compreenda as diferentes possibilidades de ação e suas consequências no decorrer da partida.

O conteúdo do livro inclui orientações detalhadas sobre como jogar, explicando de forma clara as regras que regem o jogo e fornecendo instruções sobre o uso correto de todos os objetos e recursos disponíveis. Além disso, o material apresenta exemplos práticos e dicas que ajudam a esclarecer situações complexas, facilitando o entendimento das dinâmicas do jogo.

#### 5.5.9. Diário do cientista

O Diário do Cientista é um livro que reúne informações extras sobre diversos conhecimentos, incluindo curiosidades e dados relevantes. Seu principal objetivo é auxiliar os jogadores em cada fase da partida, fornecendo conteúdos que podem contribuir para a resolução das perguntas e desafios. O diário sempre apresenta informações relacionadas tanto ao contexto do jogo como às questões propostas, além de introduzir novos conhecimentos que podem ser inéditos para os alunos.

As páginas do diário são organizadas de acordo com cada local do jogo e funcionam de forma independente, permitindo que os jogadores acessem o conteúdo específico de cada área sem a necessidade de se seguir uma ordem linear.

### 5.5.10. Fases e perguntas

Como vimos, a partida se desenvolve em diversos locais presentes no mapa - há quatorze locais que podem ser explorados. Cada local pode conter uma ou mais fases, totalizando trinta fases no jogo, dentre as quais nove são essenciais para a conclusão da partida. A progressão das fases ocorre por meio de situações-problema. Além das perguntas das fases há três perguntas-desafio (será abordada adiante) que oferecem desafios extras aos jogadores.

Essa estrutura tem o objetivo de tornar o jogo dinâmico e não linear ou “fechado”, ou seja, cada partida é única, dependendo das escolhas feitas pelos alunos. Assim, eles podem jogar várias partidas, explorando locais diferentes e, consequentemente, vivenciando situações distintas a cada nova experiência. Além disso, o professor tem a flexibilidade de alterar quais são as fases cruciais para o progresso do jogo, ajustando a dificuldade e os objetivos a cada nova rodada. Isso mantém o interesse dos alunos e evita que o jogo se torne previsível.

A cada resposta correta, ou conjunto de respostas corretas nas *situações-problema*, os jogadores recebem recompensas e orientações chamadas de “consequências”, que os ajudam a avançar para a próxima fase e progredir rumo à conclusão do jogo. Essas consequências, que serão especificadas a seguir, podem assumir diferentes formas, como "chaves" que permitem o acesso a novos locais ou códigos numéricos para abrir cadeados, entre outros elementos que facilitam o avanço dos jogadores.

Outro ponto importante é que, como mencionado anteriormente, cada local pode conter mais de uma fase. Isso significa que os alunos enfrentarão desafios diferentes dentro de um mesmo local, tornando a experiência mais variada. Além disso, cada fase possui uma dinâmica própria. As *situações-problema* podem ser apresentadas de diferentes formas, como descrito acima, como um conjunto de perguntas interligadas, perguntas diretas ou até mesmo desafios com formatos diferenciados, estimulando o raciocínio e a aplicação de estratégias diversas.

Tanto a escolha dos locais como das fases é feita de forma arbitrária pelos jogadores, permitindo que cada grupo defina sua própria estratégia de exploração e tomada de decisões. Isso contribui para que o jogo seja dinâmico, oferecendo uma experiência única a cada partida.

Os jogadores podem escolher responder quantas fases quiserem, de acordo com a estratégia que adotarem. No entanto, é importante lembrar que, a cada pergunta respondida, eles acumulam horas adicionais (esse aspecto será explicado adiante), o que impacta o tempo final disponível para concluir o desafio.



Em locais que possuem mais de uma fase, os alunos têm a liberdade de escolher qual fase desejam responder, pois elas são independentes entre si. Isso significa que uma fase não depende da conclusão da anterior. Por exemplo, o aluno pode optar por responder apenas a Fase 2, sem a necessidade de ter completado a Fase 1. Além disso, os jogadores podem retornar a qualquer momento aos locais que já visitaram para responder fases que deixaram pendentes. Vale destacar que algumas fases podem oferecer dicas que auxiliam no progresso do jogo, enquanto outras podem não conter essas pistas, exigindo maior atenção e análise dos jogadores.

#### 5.5.11. Estrutura das Fases e Contextos

Todas as fases do jogo são introduzidas pela apresentação de um contexto específico, que antecede as perguntas. O objetivo desse contexto é inserir o aluno de forma imersiva no ambiente que está explorando, ajudando-o a compreender o cenário e a situação em que se encontra. Esse contexto está diretamente relacionado às situações-problema, ou seja, às perguntas que serão feitas em seguida.

Todas as perguntas estão conectadas, de maneira direta ou indireta, com o local em que os jogadores estão. O contexto é sempre uma situação que envolve o ambiente escolhido, criando um enredo que dá sentido à questão a ser resolvida. Dessa forma, o aluno não responde apenas a uma pergunta isolada, mas sim a um desafio inserido em um cenário específico.

Exemplo de contexto:

*“Contexto: Vocês entram em uma sala antiga bem escura dentro do laboratório, que aparentemente um dos cientistas usava para fazer estudos antigos. Ao abrir a porta vocês encontram vários relógios antigos ainda emitindo um brilho fraco no escuro.”*

#### 5.5.12. Componentes de Cada Local

Cada local do jogo é composto pelos seguintes elementos:

- Anotação no Diário do Cientista: Traz informações extras que podem auxiliar na resolução das fases. Essas anotações estão sempre ligadas aos desafios propostos.
- Descrição das Fases (Livro do Mestre): Indica quantas fases existem em cada local.
- Descrição Física do Local: Ajuda a ambientar os alunos no espaço que estão explorando.



- Contexto: Antecede a situação-problema, preparando o aluno para o desafio que será apresentado.
- Situação-Problema (Pergunta): O desafio que os jogadores precisarão resolver.
- Consequências: Resultados baseados nas respostas dos jogadores, que podem afetar o andamento do jogo.
- Respostas (Livro do mestre): Soluções corretas que o mestre usará para validar o desempenho dos alunos.

#### 5.5.13. Organização das Informações no Jogo

Embora todos esses elementos façam parte da estrutura de cada local, eles estão distribuídos em diferentes materiais do jogo:

- As anotações do cientista estão disponíveis no Diário do Cientista.
- A descrição dos locais, o contexto, as consequências e as respostas estão organizadas no Livro do Mestre.
- As perguntas/situações-problema são apresentadas gradualmente aos alunos, por meio de cartas ou outros materiais específicos, assim como as consequências, que também podem ser entregues em forma de cartas.

Essa divisão facilita a organização do jogo, tornando o processo mais dinâmico e eficiente para o mestre e mais imersivo para os alunos.

#### 5.5.14. Contextos

Cada local do jogo possui um objetivo específico, voltado para a exploração de determinados conteúdos. Por exemplo, o local denominado CPA - *Centro de Pesquisas Antigas* tem como objetivo principal apresentar informações relacionadas à história e à evolução da física nuclear e das radiações. Dessa forma, o *Diário do Cientista*, o contexto e as situações-problema (perguntas) estão todos alinhados com essa temática, garantindo uma abordagem integrada do conteúdo. Isso contribui para que os alunos façam conexões entre o cenário, o desafio proposto e o conhecimento necessário para solucioná-lo.

Abaixo, encontra-se um trecho do Diário do Cientista relacionado a esse local:



*"Relógios antigos, especialmente fabricados nas primeiras décadas do século 20, eram revestidos com uma substância que brilhava no escuro graças à presença de um elemento radioativo. As trabalhadoras que aplicavam a tinta de rádio nesses relógios ficaram conhecidas como as "Garotas do Rádio", e muitas delas sofreram graves problemas de saúde devido à exposição à radiação. O problema de saúde surgiu porque as trabalhadoras, as "Garotas do Rádio", frequentemente usavam pincéis finos para aplicar a tinta e, para moldar as cerdas, acabavam levando o pincel à boca, ingerindo pequenas quantidades de rádio...."*

(Trecho Retirado do diário do cientista (*Autoral*)).

Já na Casa 2, que pertencia a um trabalhador da usina, o foco está em abordar o acidente radiológico de Goiânia, ocorrido em 1987, considerado o maior do gênero no Brasil. Esse desastre resultou em várias mortes e afetou milhares de pessoas, tornando-se um marco na história da segurança nuclear do país.

Abaixo se encontra um exemplo de contexto e de uma pergunta acompanhada da resposta esperada, que serve de apoio para o mestre durante a condução do jogo.

**Contexto:** *Enquanto ainda estão no quarto do cientista, vocês encontram um dispositivo preso na parede que ainda está funcionando, capaz de medir diferentes tipos de radiação: alfa, beta e gama. Ao analisar o ambiente, o dispositivo detecta uma emissão intensa de partículas beta. Sabendo que a radiação beta é composta por elétrons de alta energia, vocês precisam decidir como investigar a área sem se expor a riscos elevados.*

**Pergunta:** *Descreva o que são partículas beta e como é a sua capacidade de penetração?*

**Resposta:** *As partículas beta são elétrons ou pósitrons emitidos por núcleos instáveis durante o decaimento beta. Elas têm massa pequena e carga elétrica (negativa para elétrons e positiva para pósitrons). As partículas beta têm uma capacidade de penetração intermediária: elas podem atravessar a pele, mas podem ser bloqueadas por alguns milímetros de alumínio ou vidro.*



Tanto as cartas que apresentam as situações-problema em forma de perguntas diretas como os elementos que são entregues aos alunos estão descritos no Livro do Mestre, indicando o momento exato em que devem ser utilizados durante a partida. Além disso, esses materiais estão listados na seção dedicada a tudo o que precisa ser impresso para o andamento da partida, compondo, o chamado Kit do Jogo.

#### 5.5.15 Elementos Extras

Os elementos extras são itens que devem ser entregues aos jogadores ao longo da partida.

Exemplos incluem:

- Mapa para sair da ilha
- Requisitos de entrada na usina

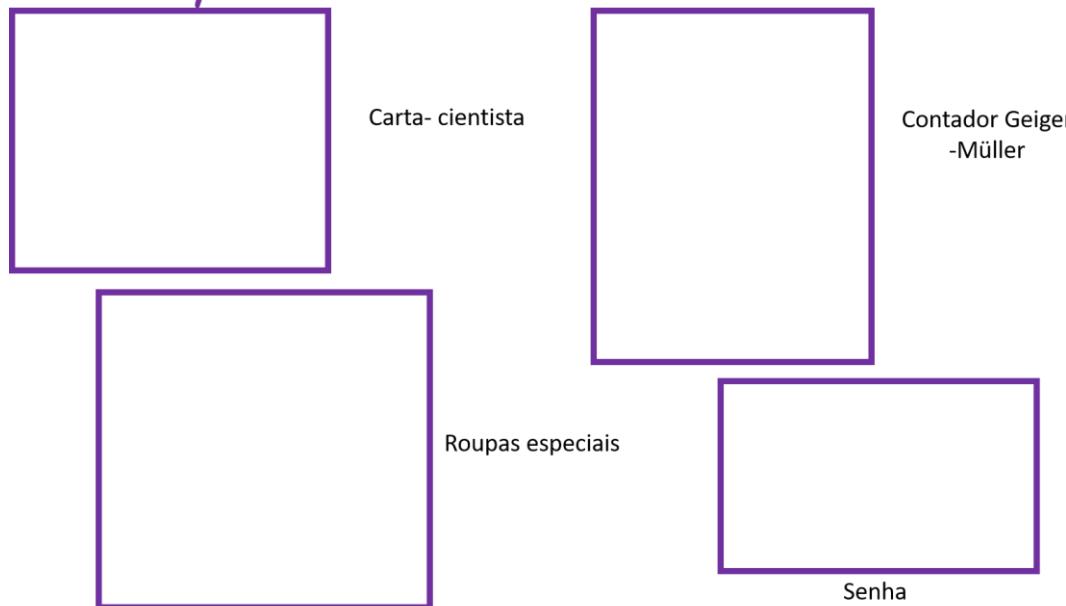
Na maioria das vezes, esses elementos surgem como consequência das ações dos jogadores, sejam elas positivas ou negativas. O Livro do Mestre orienta claramente quando cada item deve ser entregue, garantindo que o jogo seja jogado de maneira certa. Esses elementos são obtidos por meio das consequências (explicadas adiante), que podem variar de acordo com o desempenho dos alunos, influenciando diretamente o rumo da partida.

A Figura 9 apresenta um exemplo de elemento extra que, nesse caso, é um conjunto de itens que funcionam como requisitos essenciais para que os alunos possam acessar a usina. Para avançar, eles precisarão coletar todos esses itens ao longo da partida.



Figura 9- Exemplo de Elementos Extras

## *Requisitos de Entrada - Usina*



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Esses requisitos são obtidos por meio das cartas-consequências (Figuras 10 e 11, respectivamente), que são bônus que o grupo de jogadores ganham ao responder de maneira exata as situações problemas apresentadas.

As consequências positivas de se acertarem as perguntas são:

- **Carta Horas:** Permite que o grupo responda a uma pergunta sem acrescentar horas ao tempo total do jogo, ajudando no controle do tempo.
- **Isenção de Locais:** O grupo recebe a informação de que não precisa visitar determinado local, economizando tempo.
- **Cartas Essenciais:** Incluem elementos indispensáveis para escapar da ilha, como objetos extras.
- **Carta de Pesquisa Livre:** Autoriza o grupo a realizar uma pesquisa ou consulta por até 3 minutos, da forma que preferir, podendo ser usada em qualquer momento estratégico.
- **Carta Pesquisa com Amigos:** Permite que os jogadores consultem um amigo ou outro grupo para tirar dúvidas, sempre que necessário.



- **Dicas Estratégicas:** Fornece orientações valiosas para direcionar o grupo a locais importantes para o avanço na partida.
- **Redução de Horas:** Reduz automaticamente um número específico de horas do tempo total de jogo do grupo.
- **Acesso a Locais Especiais:** Concede autorização para entrar em áreas restritas do jogo, sem a necessidade de cumprir requisitos adicionais.
- **Carta Resposta:** Garante ao grupo o acesso à resposta correta de uma fase diretamente com o mestre, obtendo automaticamente a consequência positiva daquela fase sem precisar responder.
- **Carta Curinga:** Substitui qualquer item necessário para acessar a usina ou reduz até cinco horas do tempo total do grupo.
- **Carta Bônus de Horas:** Permite que o grupo responda a uma pergunta sem perder horas, mesmo que errem. Pode ser usada uma vez em qualquer momento da partida

Figura 10-Carta consequência positiva: acesso a locais especiais



Fonte: elaborado pela autora (2024)



Figura 11-Carta consequência positiva: Carta Curinga



Fonte: elaborado pela autora (2024)

### Consequências negativas

As consequências negativas ocorrem quando os jogadores erram alguma pergunta. O principal impacto é o acréscimo de horas ao tempo total do jogo, dificultando o progresso do grupo. Como regra geral, cada resposta errada adiciona três horas ao tempo total da equipe, aproximando-os do limite de vinte e quatro horas e aumentando o desafio da missão.

Abaixo apresentamos exemplos de Consequências, positivas e negativas:

#### Consequência negativa:

*"Após uma tentativa frustrada de resolver o enigma, vocês percebem um atraso em sua missão. O tempo passa rapidamente enquanto tentam se reorganizar, resultando no acréscimo de 3 horas ao tempo total do grupo."*

#### Consequência Positiva:

*"Ao encontrar a resposta correta, vocês descobrem sobre a mesa um contador Geiger — um equipamento essencial para a jornada. Com ele, será possível monitorar os níveis de radiação e garantir acesso seguro a locais críticos durante a exploração. Esse item será crucial para avançar com segurança na missão!"*

**Instrução ao Mestre:** após o mestre ler a consequência ele entrega o item ao grupo, que faz parte da consequência positiva.



Entregar o contador Geiger (o item correspondente) aos alunos assim que eles obtiverem essa consequência positiva (*Figura 12*).

**Figura 12-Contador Geiger**



Fonte: elaborado pela autora (2024)

Nesse caso, o grupo ganhou um Contador Geiger, um item essencial para acessar a Usina, pois é fundamental para monitorar os níveis de radiação e garantir a segurança da equipe. Da mesma forma, as roupas de proteção especial (*Figura 13*) também fazem parte dos itens essenciais para a missão.

**Figura 13-Roupas de proteção especial**



Fonte: elaborado pela autora (2024)



Dessa forma, para entrar na usina os alunos precisam completar os requisitos de entrada,

*Figura 14.*

**Figura 14-Requisitos de Entrada completos**

## *Requisitos de Entrada - Usina*



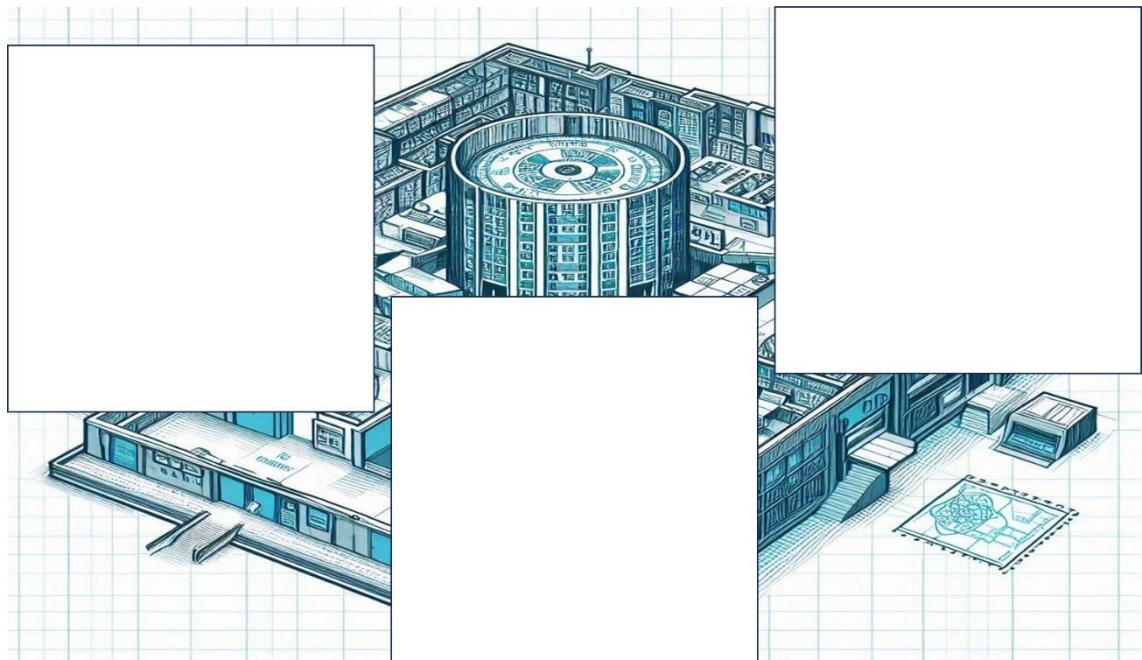
Fonte: elaborado pela autora (2024)

Da mesma forma, para sair da ilha, os alunos precisam completar o mapa (Figura 15), que será preenchido com elementos adquiridos por meio das consequências obtidas ao longo do jogo.



Figura 15-O Mapa de Saída – Emergência

## Mapa de saída- emergência



Fonte: elaborado pela autora (2024)

### 5.5.16 A tabela (Prontuário)

O Prontuário funciona como um guia, onde serão registradas todas as respostas corretas e incorretas, o ganho e a perda de horas, além da quantidade de dicas utilizadas. Esses registros permitirão, ao final da partida, calcular o tempo total que o grupo levou para sair da ilha. Além disso, tanto o mestre quanto os jogadores terão um controle mais preciso do andamento do jogo, facilitando o planejamento das próximas ações e estratégias.

### 5.5.17 Perguntas Extras

Essas perguntas são classificadas como extras porque não fazem parte do jogo principal. Elas são disponibilizadas aos professores como uma ferramenta adicional, oferecendo possibilidades de adaptação e personalização do jogo conforme necessário.

As perguntas extras podem ser utilizadas de diversas maneiras:

- **Adaptação do jogo:** Caso o professor deseje modificar alguma fase ou substituir perguntas que considere muito fáceis ou difíceis.



- **Novas partidas:** Podem ser usadas em jogos subsequentes, especialmente quando os alunos já conhecem as respostas de determinadas fases.
- **Inserção de novas fases:** O professor pode introduzir desafios adicionais ao longo do jogo, tornando-o mais dinâmico.
- **Base para criação de novas perguntas:** Servem como modelo para que o professor desenvolva suas próprias questões.

Além disso, as perguntas que compõem o jogo principal são flexíveis. Alterando alguns valores ou contextos, o professor pode criar novas variações das *situações-problema*. Essa flexibilidade contribui para que o jogo seja sempre interativo e imprevisível, promovendo o engajamento dos alunos.

#### 5.5.17 Material para Impressão

Conforme já descrito, todo o material que deve ser entregue aos alunos está disponível no apêndice do livro do mestre. Esse material inclui as fotos que compõem o kit, as cartas de perguntas, as cartas de consequências e os elementos extras necessários para a realização das atividades.

Para garantir praticidade e padronização, todos os itens foram organizados no formato adequado para impressão, com tamanhos e proporções já definidos. Dessa forma, o material pode ser impresso, sendo as peças devidamente recortadas e utilizadas diretamente em sala de aula, sem a necessidade de ajustes adicionais. Essa abordagem facilita a reprodução do conteúdo e assegura que cada componente esteja de acordo com o planejamento original do jogo ou atividade didática.

### 5.6. Vamos jogar?

Para facilitar o entendimento do funcionamento do jogo, vamos apresentar quais são os passos envolvidos.

Inicialmente os alunos devem escolher um local do Mapa (no Tabuleiro, **Figura 5- O Tabuleiro**) para visitar. Supondo que decidam ir à casa do *Cientista 2*, eles terão acesso ao *Diário do cientista*. Esse diário ficará com os jogadores (alunos), permitindo consulta direta. As



anotações registradas nele sempre estarão relacionadas à pergunta feita, auxiliando na construção do raciocínio e na tomada de decisões durante a partida, e, principalmente, trazendo informações e conceitos novos aos alunos.

Como exemplos, apresentemos textos relativos à casa dois que estão contidos no diário do cientista. Nele estão presentes anotações do suposto cientista, que podem ser úteis para a compreensão das situações encontradas pelos alunos e ajudar na solução das questões propostas:

**“Esse é um estudo enviado ao cientista sobre um acidente que aconteceu no Brasil.”**

*O acidente de Goiânia ocorreu em 13 de setembro de 1987 e é considerado um dos piores acidentes radioativos da história. Ele aconteceu quando dois catadores de sucata encontraram um aparelho de radioterapia abandonado em uma clínica desativada no centro de Goiânia, Goiás. O aparelho continha Césio-137, uma substância altamente radioativa. Os catadores abriram o equipamento e, fascinados pela substância que brilhava no escuro, levaram parte do material para casa. Isso resultou em contaminação radioativa em várias áreas da cidade. O acidente levou à morte de quatro pessoas, à contaminação de centenas e à evacuação de áreas afetadas. Mais de 100 mil pessoas foram monitoradas, e várias casas e objetos tiveram que ser destruídos ou descontaminados.*

### **Como foi feita a descontaminação após o acidente de Goiânia?**

*Após o acidente de Goiânia, uma grande operação de descontaminação foi iniciada. Equipamentos e especialistas do Brasil e de outros países foram mobilizados. Muitas casas e prédios tiveram que ser destruídos porque a radiação havia se infiltrado em paredes, móveis e objetos. O solo de áreas contaminadas foi removido e enterrado em locais controlados. Pessoas contaminadas foram isoladas e tratadas, e seus pertences pessoais, incluindo roupas e utensílios, foram incinerados ou descartados. A descontaminação foi difícil, pois a radiação do Césio-137 pode ser persistente e difícil de remover completamente. O acidente resultou na geração de toneladas de lixo radioativo, que foram armazenados em locais seguros.*

*No acidente, muitas vítimas sofreram envenenamento por radiação devido ao manuseio inadequado do material radioativo e à falta de conhecimento sobre os perigos do Césio-137.”*



Assim que os alunos escolhem o local, o mestre lê para eles a descrição correspondente, que está disponível no livro do mestre. No caso de escolherem a casa do *Cientista 2*, a descrição a ser lida é a seguinte:

*“A casa modesta, agora esquecida e coberta, está em ruínas após anos de abandono. O telhado está cedendo, com telhas caídas espalhadas pelo chão, e as paredes de madeira estão apodrecidas, manchadas por infiltração e radiação. As janelas, quebradas e sujas, deixam o vento frio assobiar pelos cômodos.*

*Na pequena sala de estar, móveis simples estão cobertos de poeira e desgastados pelo tempo. Uma mesa de madeira está tombada, com alguns pratos quebrados ao lado, e uma velha poltrona, rasgada e desbotada, repousa em um canto. Fotografias familiares desbotadas ainda estão penduradas, retratando um cotidiano interrompido de forma abrupta. No quarto, a cama de ferro está enferrujada, com lençóis amarelados e rasgados, e um único guarda-roupa permanece aberto, com roupas comuns ainda penduradas.”*

Após isso, o mestre informa quantas fases estão disponíveis para escolha. Em locais com mais de uma fase, cada uma é independente, permitindo que os alunos escolham quais responder. No caso em questão, o da casa dois, o local possui apenas uma fase; assim, o mestre esclarece essa informação e prossegue para a resolução do problema proposto. Cada fase inclui um contexto seguido de uma pergunta.

A seguir, o mestre lê o contexto e faz a entrega da pergunta. Novamente, no local da casa dois, temos o seguinte contexto:

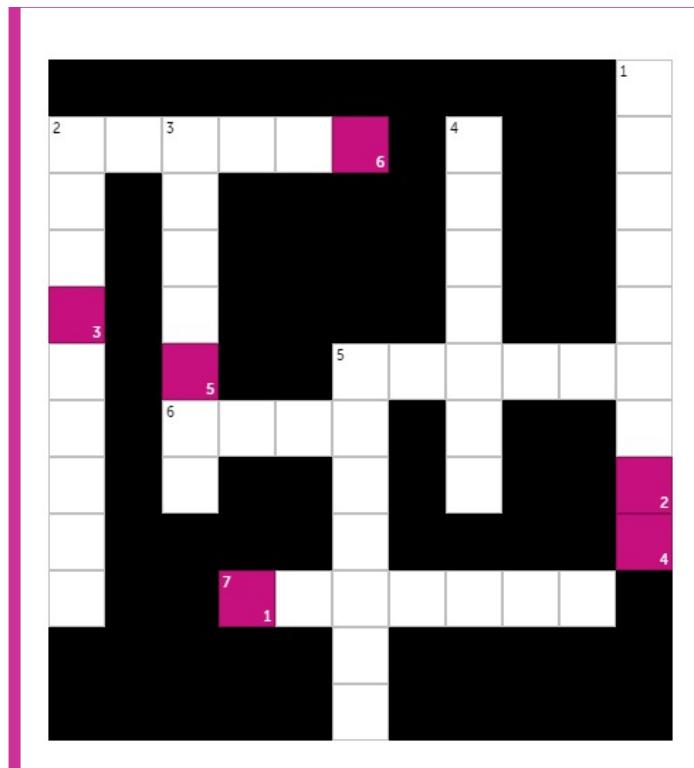
*“**Contexto:** Assim que entram, vocês encontram no chão um papel que pode conter pistas importantes. O documento menciona um acidente que o cientista estava investigando; talvez o diário contenha mais informações sobre o acidente que ocorreu em Goiânia.”*

Após a leitura do contexto, aparecerá no livro do mestre uma instrução para que ele entregue a pergunta ao grupo: “**Entregar ao grupo**”.

Abaixo, então, temos o exemplo de uma pergunta feita de maneira indireta, ou seja, feita por outro meio que não as cartas:



**Figura 16- Pergunta indireta- Palavras cruzadas**



1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

**horizontal**

- 2 Doença causada pela exposição à radiação durante o acidente
- 5 Material no qual o Césio-137 estava encapsulado originalmente
- 6 Cor da substância radioativa que atraiu a atenção das vítimas
- 7 Cidade onde ocorreu o acidente radiológico no Brasil

**vertical**

- 1 Grupo profissional que encontrou e manipulou o equipamento radioativo.
- 2 Material radioativo envolvido no acidente de Goiânia
- 3 Um dos principais sintomas da exposição à radiação
- 4 Objeto de onde foi retirado o Césio-137
- 5 Local de onde o equipamento radioativo foi retirado indevidamente.

Fonte: elaborado pela autora (2024)

Algumas fases incluem dicas, enquanto outras não. Todas essas informações estão claramente especificadas no livro do mestre. O livro do mestre também contém as respostas

esperadas para auxiliar o professor ou quem estiver no papel de mestre. Além disso, ele inclui as consequências para respostas corretas e erradas.

Abaixo apresentamos exemplos de consequências, tanto positivas como negativas, respectivamente referentes às respostas certas e erradas

## **“Consequências previstas:**

**Resposta correta:** Ao encontrar a resposta, vocês notam que sobre a mesa está um contador Geiger, um equipamento essencial para a jornada. Com ele, vocês poderão monitorar os níveis de radiação e garantir acesso seguro a determinados locais durante a exploração. Esse item será crucial para avançar com segurança na missão!

## **Entregar ao aluno**

## Figura 17- Contador Geiger



Fonte: elaborado pela autora (2024)

**Resposta errada:** Infelizmente, vocês erraram a resposta e não conseguiram encontrar um item essencial para ajudar na saída da ilha. Como consequência, 3 horas foram adicionadas ao tempo de vocês. É importante que tentem novamente, caso queiram, pois esse item será fundamental para a jornada de vocês.”



Para maior esclarecimento, vejamos o exemplo de dinâmica de outro local, que não mais a casa dois. As dinâmicas do jogo já foram explicadas anteriormente, então algumas repetições serão evitadas. Os alunos já possuem o diário em mãos, conforme mencionado anteriormente.

Suponhamos que o local escolhido tenha sido a *Casa do Presidente e Diretor de Segurança da Usina*. Como já mencionado, assim que os alunos escolhem o local para visitar, eles consultam o diário do cientista. Em seguida, o mestre lê a descrição do ambiente.

Referente a esse ambiente, encontramos no diário do cientista:

*“Carta escrita pela Diretora de segurança para o cientista.*

*Caro,*

*Recentemente, estive revisando os protocolos de segurança da usina nuclear e fiquei alarmado com alguns dos resultados que obtivemos. Durante os testes, percebemos que o sistema de contenção apresenta uma vulnerabilidade significativa em relação ao resfriamento do núcleo em caso de falha de energia. A análise revelou que, caso o sistema de resfriamento falhe, a temperatura do núcleo do reator pode subir rapidamente, aumentando o risco de derretimento. Isso ocorre porque, sem resfriamento adequado, o calor gerado pelas reações nucleares continua se acumulando, podendo levar a um acidente grave.*

*Para evitar esse cenário, sugiro que adotemos um sistema de redundância para os geradores de emergência, garantindo que haja fontes alternativas de energia para manter o resfriamento. Além disso, é fundamental desenvolver um plano de evacuação para as áreas próximas, garantindo a segurança da população em caso de emergência.*

*A segurança deve ser nossa prioridade absoluta. Precisamos discutir esse assunto na próxima reunião e elaborar um relatório detalhado com as medidas necessárias para minimizar os riscos.*

*Atenciosamente,*

*Helena Almeida”*

Para o mesmo ambiente, encontramos no livro do mestre a seguinte informação:

**“CASA - Presidente diretor de segurança**  
**Local com fase única”**



e, logo em seguida, a descrição do local:

*“Por dentro, a mansão de dois andares, outrora luxuosa, está em ruínas. O hall de entrada, com um lustre de cristal quebrado e paredes rachadas, reflete o abandono. O chão de mármore e madeira está desgastado, e o grande piano de cauda na sala de estar repousa em silêncio, coberto de poeira. Móveis de couro rasgados e poltronas desfeitas sugerem um passado opulento. O piso de madeira, outrora impecável, está deformado e range sob qualquer movimento.*

*A sala de jantar, ainda com pratos de porcelana fina e cadeiras de veludo tombadas, dá a sensação de que a família fugiu às pressas. Escadas largas e imponentes levam ao segundo andar, mas os degraus estão parcialmente quebrados, tornando a subida perigosa.*

*Nos quartos do segundo andar, camas desfeitas e roupas caras ainda penduradas evocam uma fuga abrupta. Uma grande varanda com portas de vidro oferece uma vista desoladora de um jardim outrora bem cuidado, agora tomado pela vegetação mutante e deformada.*

*Enquanto examinam alguns papéis espalhados pelo chão, vocês descobrem que o antigo morador da casa era um importante diretor de segurança em assuntos nucleares, que havia vindo à cidade para fiscalizar o funcionamento da usina. Além disso, ele estava estudando um outro acidente que já havia ocorrido.”*

Após a descrição do local, o mestre apresenta o contexto da fase, finalizando com a entrega da pergunta aos alunos. Para a casa do Presidente de Segurança, temos o seguinte contexto:

**“Contexto:** Após encontrarem a carta, vocês veem sobre a mesa de jantar uma possível resposta do Diretor, explicando vulnerabilidades da usina. Essas informações podem ajudar a resolver problemas em outros locais mencionados em um segundo diário, que pode ser acessado na seguinte situação: para abrir o diário e ver o que está escrito, é necessário descobrir a combinação. Lembrem-se que a combinação é formada por 3 letras — a primeira letra de cada resposta. Combinadas, essas letras abrem o diário.”



Temos logo abaixo a ilustração das perguntas que estão associadas a esse contexto:

**Pergunta**

1. Qual é a partícula subatômica que não tem carga elétrica e reside no núcleo do átomo?
2. Qual é o processo pelo qual um núcleo instável libera energia na forma de radiação?
3. Como se chama a força responsável por manter os núcleos atômicos unidos?

Qual a combinação do cadeado?

**Resposta esperada:**

1. Pergunta 1: Qual é a partícula subatômica que não tem carga elétrica e reside no núcleo do átomo?  
Resposta: Nêutron (letra inicial: N)
2. Pergunta 2: Qual é o processo pelo qual um núcleo instável libera energia na forma de radiação?  
Resposta: Fissão (letra inicial: F)
3. Pergunta 3: Como se chama a força responsável por manter os núcleos atômicos unidos?  
Resposta: Nuclear (letra inicial: N)

**Combinação do cadeado: NFN**

**Consequência:**

**Resposta esperada:** *Ao abrir o diário do diretor, vocês encontram uma carta enviada entre os cientistas que trabalhavam na usina. Essa carta revela detalhes importantes sobre a principal falha que pode ter causado o acidente.*

**Entregar ao grupo**



**Figura 18- Carta enviada entre os cientistas**



Fonte: elaborado pela autora (2024)

*'Qual é a principal vulnerabilidade mencionada pela Dra. em relação ao sistema de segurança da usina nuclear e qual solução ela sugere?'*

*A principal vulnerabilidade mencionada pelo cientista é a falha do sistema de resfriamento do núcleo, que pode levar ao aumento rápido da temperatura e risco de derretimento. Ela sugere a implementação de um sistema de redundância para os geradores de emergência e um plano de evacuação para as áreas circunvizinhas. No contexto de usinas nucleares, um sistema de redundância para os geradores de emergência significa ter múltiplas fontes de energia reserva. Isso é essencial porque, se o sistema de resfriamento falhar e não houver energia alternativa para mantê-lo funcionando, a temperatura do núcleo do reator pode aumentar rapidamente, levando ao risco de um derretimento nuclear.*

*Por exemplo, uma usina pode ter geradores a diesel e baterias de backup para garantir que o resfriamento do reator continue funcionando mesmo em caso de falha na rede elétrica principal.*

*Isso é uma prática comum em engenharia de segurança, não só em usinas nucleares, mas também em aviões, hospitais, servidores de internet e sistemas industriais onde qualquer falha pode ter consequências graves.*

*Tal falha pode ter sido a responsável pelo acidente nuclear, lembrando que usinas costumam ser seguras.'*

**Resposta errada:** Infelizmente, vocês não conseguiram abrir o diário do Diretor de Segurança. Como resultado, não tiveram acesso à resposta de que precisavam, apesar de terem perdido tempo tentando. Por isso, 3 horas foram adicionadas ao tempo de vocês."



## **5.7 Sugestão de Avaliação do aprendizado dos alunos**

A ciência está intrinsecamente ligada à política, mesmo em questões que exigem embasamento científico sólido. No entanto, em algumas escolas, essa relação pode se tornar um desafio. Por isso, dentro do jogo, há uma abordagem fundamentada sobre física nuclear e radiações, explorando não apenas a energia nuclear, mas também sua evolução ao longo da história e suas múltiplas aplicações.

Diante desse cenário, após a experiência do jogo, propõe-se que o professor avalie a compreensão dos alunos por meio de uma atividade dinâmica e reflexiva. Uma sugestão é a realização de um debate no formato de “tribunal”, onde os estudantes assumem diferentes papéis, como juízes, advogados e jurados. O objetivo desse “tribunal” simulado é estimular a argumentação e o pensamento crítico, discutindo a importância da pesquisa na área e os impactos da construção de novas usinas nucleares. Dessa forma, além de consolidar o conhecimento adquirido, os alunos poderão desenvolver habilidades de argumentação e reflexão sobre a interseção entre ciência, sociedade e política.

## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS: VALIDAÇÃO DO PRODUTO

Diante da dificuldade de calendário para aplicação do produto diretamente em uma sala de aula, optamos nessa pesquisa por um processo de validação feita com professores da Educação Básica, por meio de um questionário.

A avaliação contou com a participação de 16 professores de Física, atuantes nas redes pública e privada de ensino, com predominância de profissionais do Estado do Rio de Janeiro. O grupo é composto por 10 homens e 6 mulheres, apresentando uma distribuição de gênero relativamente equilibrada. Quanto à formação acadêmica, observa-se que 6 dos participantes possuem titulação em nível de pós-graduação — seja especialização, mestrado ou doutorado — o que demonstra um elevado grau de qualificação.

Para preservar a identidade dos participantes e garantir a imparcialidade da análise, cada um deles será identificado por meio de letras, quando necessário, assegurando um processo de avaliação anônimo.

O processo de avaliação, conforme já definido, foi realizado por meio da análise das respostas do questionário, que estão organizadas em grupos. Cada grupo tem o objetivo de avaliar um aspecto específico do produto, sendo eles:

- 1. Aspectos pedagógicos**
- 2. Dinâmica e jogabilidade**
- 3. Impacto no aprendizado**
- 4. Sugestões e comentários**
- 5. Aspectos físicos do jogo**
- 6. Eficácia do jogo no ensino da física nuclear e das radiações**
- 7. Avaliação do mapa do jogo**
- 8. Avaliação das cartas do jogo**
- 9. Avaliação das situações apresentadas no jogo**
- 10. Avaliação das imagens utilizadas no jogo**
- 11. Avaliação da descrição dos locais do jogo**
- 12. Avaliação do diário do cientista**

O questionário é dividido em 12 grupos, contendo um total de 45 perguntas, e sua versão completa encontra-se no **Apêndice B**.



A seguir, apresentam-se as tabelas com os valores detalhados obtidos a partir da pesquisa realizada por meio do questionário. Os dados foram organizados de forma clara e objetiva para facilitar a análise dos resultados.

Para uma melhor compreensão, as tabelas foram categorizadas em três grupos principais:

- **Afirmativas:** Respostas que demonstram concordância total com os aspectos avaliados.
- **Intermediárias:** Respostas que indicam uma posição parcial ou neutra em relação aos itens analisados.
- **Negativas:** Respostas que expressam discordância ou insatisfação em relação aos aspectos avaliados.

Foram apresentadas aos entrevistados as perguntas abaixo. Após cada pergunta, apresentamos uma tabela, com a distribuição das respostas dos entrevistados.

1.1 O jogo está alinhado aos conteúdos curriculares de Física Nuclear para o ensino médio?

- ( ) Sim, totalmente
- ( ) Parcialmente
- ( ) Não

**TABELA 6-1 Aspectos Pedagógicos (1.1)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pela autora (2025)

1.2 O jogo contribui para a compreensão dos conceitos fundamentais da Física Nuclear (exemplo: radioatividade, decaimento, reações nucleares, entre outros)?

- ( ) Sim, de forma clara e eficaz
- ( ) Sim, mas precisa ser aprimorado
- ( ) Não contribui



**TABELA 6-2 Aspectos Pedagógicos (1.2)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	15
Intermediárias	1
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pela autora (2025)

1.3 O jogo estimula o pensamento crítico e a aplicação dos conceitos físicos em diferentes contextos?

- ( ) Sim, significativamente
- ( ) Parcialmente
- ( ) Não

**TABELA 6.3 Aspectos Pedagógicos (1.3)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pela autora (2025)

1.4 A linguagem e os conteúdos do jogo são adequados ao nível dos alunos do Ensino Médio?

- ( ) Sim
- ( ) Parcialmente, alguns ajustes são necessários
- ( ) Não



**TABELA 6-3 Aspectos Pedagógicos (1.4)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	14
Intermediárias	2
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

Ao analisarem-se os aspectos pedagógicos do jogo, observa-se que, de maneira geral, ele foi bem avaliado pelos participantes. Um dos pontos de maior destaque foi o alinhamento com os conteúdos curriculares de Física Nuclear para o Ensino Médio. Todas as respostas indicaram que o jogo está totalmente adequado a esses conteúdos. Essa adequação era, em nossa perspectiva, um dos elementos mais importantes do produto, pois garantir a conformidade com a matriz curricular não apenas valida seu uso em sala de aula, mas também potencializa sua eficácia no aprendizado dos alunos.

## 2. Dinâmica e Jogabilidade

2.1 Você acredita que a mecânica do jogo é intuitiva e de fácil compreensão para os alunos?

- ( ) Sim, os alunos compreendem rapidamente
- ( ) Parcialmente, há necessidade de explicações adicionais
- ( ) Não, a mecânica é complexa e confusa

**TABELA 6-4 Dinâmica e Jogabilidade (2.1)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	14
Intermediárias	2
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*



2.2 Você considera que jogo mantém os alunos engajados e motivados durante a atividade?

- ( ) Sim, os alunos se envolvem ativamente
- ( ) Parcialmente, uma parte significativa não se envolve
- ( ) Não, a maioria não se envolve

**TABELA 6-5 Dinâmica e Jogabilidade (2.2)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	15
Intermediárias	1
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborada pela autora (2025)*

2.3 Há um equilíbrio adequado entre desafios e acessibilidade no jogo?

- ( ) Sim, o nível de dificuldade é apropriado
- ( ) Parcialmente, alguns ajustes são necessários
- ( ) Não, o jogo é muito difícil/fácil

**TABELA 6-6 Dinâmica e Jogabilidade (2.3)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	15
Intermediárias	1
Negativas	0
Total	16

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Neste caso, os participantes que responderam parcialmente dentro desse bloco de perguntas consideraram o jogo muito bom, destacando sua qualidade e potencial. No entanto, apontaram que a experiência de jogo apresenta muitos detalhes, o que pode gerar dúvidas durante a partida. Dessa forma, enfatizaram que o mestre — ou seja, a pessoa responsável por orientar a



partida — precisa estar muito bem preparada e ter um domínio completo das regras e mecânicas do jogo. Isso é essencial para garantir uma experiência fluida, evitando que o produto perca qualquer uma de suas possibilidades e mantendo sua dinâmica envolvente e educativa.

### **3. Impacto no Aprendizado**

3.1 você acredita que após jogar, os alunos irão demonstrar maior interesse pelo tema da Física Nuclear?

- ( ) Sim, haveria um aumento significativo no interesse
- ( ) Parcialmente, alguns alunos se interessariam mais
- ( ) Não, o jogo não influenciaria o interesse

**TABELA 6-7 Impacto no Aprendizado (3.1)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	12
Intermediárias	4
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pela autora (2025)

3.2 O jogo pode ser usado como uma ferramenta complementar eficaz no ensino de Física Nuclear?

- ( ) Sim, é uma excelente ferramenta
- ( ) Sim, mas precisa de ajustes
- ( ) Não é um método eficaz

**TABELA 6-8 Impacto no Aprendizado (3.2)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16



*Fonte:* Elaborado pela autora (2025)

Nesse bloco, que trata exclusivamente do impacto no aprendizado, observou-se uma maior discrepância nos resultados. No item que avalia se o jogo pode ser uma ferramenta eficaz para o ensino de Física, houve unanimidade entre os participantes, todos concordando que o jogo tem potencial para esse propósito. No entanto, quando a questão abordou se os alunos demonstrariam mais interesse pela disciplina após jogar (item 3,2), as respostas ficaram mais divididas. Para compreender melhor essa variação, conversamos com alguns professores. De modo geral, eles explicaram que a Física Nuclear é um tema complexo e, muitas vezes, distante da realidade dos alunos. Assim, enquanto alguns demonstrariam interesse imediato durante a experiência do jogo, outros poderiam desenvolver esse interesse posteriormente. No entanto, os professores destacaram que esse engajamento não seria unânime, pois o envolvimento com o tema varia conforme o perfil e a motivação de cada aluno.

As questões do Bloco 4 são discursivas e serão apresentadas após a análise dos itens de múltipla escolha.

## 5. Aspectos Físicos do Jogo

5.1 O jogo apresenta um design visual atraente e adequado para os alunos do ensino médio?

- ( ) Sim, o design é envolvente e bem elaborado
- ( ) Parcialmente, poderia ter melhorias visuais
- ( ) Não, o design é pouco atrativo

**TABELA 6-9 Aspectos Físicos do Jogo (5.1)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pela autora (2025)



5.2 Os materiais físicos do jogo (peças, tabuleiro, cartas etc.) são de boa qualidade e adequados para uso em sala de aula?

- ( ) Sim, os materiais são resistentes e bem produzidos
- ( ) Parcialmente, alguns elementos precisam ser melhorados
- ( ) Não, a qualidade dos materiais é insuficiente

**TABELA 6-10 Aspectos Físicos do Jogo (5.2)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pela autora (2025)

5.3 O jogo é acessível e fácil de manusear para os alunos?

- ( ) Sim, os alunos conseguem utilizar sem dificuldades
- ( ) Parcialmente, há pequenos desafios na utilização
- ( ) Não, os alunos têm dificuldade em lidar com o jogo

**TABELA 6-11 Aspectos Físicos do Jogo (5.3)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	13
Intermediárias	3
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pela autora (2025)



5.4 O espaço físico necessário para jogar é adequado ao ambiente escolar?

- ( ) Sim, é facilmente adaptável à sala de aula
- ( ) Parcialmente, necessita de ajustes no espaço
- ( ) Não, o espaço exigido dificulta sua aplicação

**TABELA 6-12 Aspectos Físicos do Jogo (5.4)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pela autora (2025)

Este bloco trata dos aspectos físicos do jogo, incluindo o design das peças, tabuleiro, cartas e outros componentes. De modo geral, esse bloco recebeu uma alta taxa de aceitação por parte dos avaliadores, os professores. O único item que apresentou alguma discordância foi o item 5.3, que avalia o manuseio do jogo pelos alunos. Possivelmente, essa divergência se deve à quantidade de elementos necessários para a partida, o que pode tornar o manuseio mais complexo para alguns jogadores.

## **6 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear**

6.1 O jogo consegue representar de forma fiel os conceitos da Física Nuclear?

- ( ) Sim, de maneira clara e precisa
- ( ) Parcialmente, alguns conceitos poderiam ser melhor abordados
- ( ) Não, há falhas conceituais na explicação dos conteúdos



**TABELA 6-13 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.1)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

6.2 O jogo permite que os alunos façam conexões entre o conteúdo teórico e suas aplicações no mundo real?

- ( ) Sim, os alunos compreendem melhor as aplicações práticas
- ( ) Parcialmente, algumas conexões ainda não ficam claras
- ( ) Não, o jogo não estabelece uma relação concreta com a realidade

**TABELA 6-14 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.2)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

6.3 A abordagem do jogo é eficaz para introduzir e fixar conceitos complexos da Física Nuclear?

- ( ) Sim, facilita a compreensão e retenção do conhecimento
- ( ) Parcialmente, mas requer complementação com outras metodologias
- ( ) Não, não substitui métodos tradicionais de ensino



**TABELA 6-15 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.3)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	15
Intermediárias	1
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

6.4 você acredita que a dinâmica do jogo ajuda a promover a interação e o trabalho em equipe entre os alunos?

- ( ) Sim, incentiva a colaboração e a troca de conhecimento
- ( ) Parcialmente, poderia estimular mais a interação
- ( ) Não, o jogo é mais individual e não incentiva o trabalho em equipe

**TABELA 6-16 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.4)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

6.5 O tempo de jogo é adequado para sua aplicação dentro da carga horária escolar?

- ( ) Sim, pode ser aplicado sem comprometer outras atividades
- ( ) Parcialmente, pode ser necessário dividir em mais de uma aula
- ( ) Não, o tempo de jogo é muito longo ou muito curto



**TABELA 6-17 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.5)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	10
Intermediárias	6
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

6.6 Você acredita que o jogo poderia substituir ou complementar outras formas de ensino da Física Nuclear?

- ( ) Sim, poderia até substituir algumas abordagens tradicionais
- ( ) Sim, mas deve ser utilizado como complemento ao ensino tradicional
- ( ) Não, ele não é suficientemente eficaz como ferramenta de ensino

**TABELA 6-18 Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear (6.6)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	8
Intermediárias	8
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

O Bloco 6, que trata da eficiência do jogo no ensino da Física Nuclear, apresentou algumas divergências entre os avaliadores. No entanto, nenhum dos itens recebeu respostas negativas, apenas avaliações afirmativas e intermediárias. No que diz respeito aos conceitos de Física – item 6.1, que trata da capacidade do jogo de traduzi-los corretamente – todas as respostas foram unânimes em afirmar que sim. O mesmo ocorreu no item 6.2, que avalia se os alunos conseguem estabelecer relações entre os conteúdos do jogo e o mundo real, e no item 6.3, que analisa se o jogo consegue introduzir conceitos mais complexos. Já no item 6.4, que questiona se o jogo contribui para a interação entre os alunos, os comentários foram bastante



positivos. Os professores destacaram que, por ser um jogo colaborativo, ele se mostrou muito eficaz nesse aspecto, incentivando o engajamento e a troca entre os participantes.

As divergências ocorreram a partir do item 6.5, que aborda a aplicação do jogo em relação à carga horária disponível. Seis professores responderam que o jogo demandaria mais aulas para ser plenamente aproveitado. De modo geral, argumentaram que, apesar de existirem mecanismos para que ele seja jogado dentro do tempo de uma aula, a complexidade pode variar conforme o nível e o perfil da turma. Assim, apontaram que um tempo maior permitiria explorar melhor cada local e aprofundar a experiência de jogo.

No item 6.6, que trata da possibilidade de o jogo substituir ou complementar as formas tradicionais de ensino, oito professores afirmaram que ele deve atuar como um complemento. Esse resultado já era esperado, uma vez que o produto foi desenvolvido para ser utilizado após os alunos adquirirem um conhecimento prévio sobre o tema. Por outro lado, os professores que responderam que o jogo poderia substituir algumas abordagens tradicionais argumentaram que, dependendo da forma como ele fosse aplicado, os conceitos poderiam ser inseridos gradualmente ao longo da partida. No entanto, esse ponto dialoga diretamente com a questão da carga horária (item 6.5), uma vez que essa abordagem demandaria um tempo consideravelmente maior para a aplicação do jogo em sala de aula.

## 7. Avaliação do Mapa do Jogo

7.1 O mapa do jogo é visualmente atraente e compreensível para os alunos?

- ( ) Sim, é bem elaborado e de fácil entendimento
- ( ) Parcialmente, alguns elementos poderiam ser mais claros
- ( ) Não, o mapa é confuso e pouco intuitivo

**TABELA 6-20 Avaliação do Mapa do Jogo (7.1)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	14
Intermediárias	2
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*



7.2 O mapa representa adequadamente o contexto do jogo e está alinhado com os conceitos de Física Nuclear abordados?

- ( ) Sim, os locais são coerentes com a temática do jogo
- ( ) Parcialmente, alguns locais poderiam ser melhor contextualizados
- ( ) Não, os locais não parecem ter relação com Física Nuclear

**TABELA 6-19 Avaliação do Mapa do Jogo (7.2)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

7.3 O tamanho do mapa e a disposição dos elementos favorecem a jogabilidade?

- ( ) Sim, o mapa é bem estruturado e facilita o jogo
- ( ) Parcialmente, poderia ser ajustado para melhor fluidez
- ( ) Não, o mapa atrapalha a dinâmica do jogo

**TABELA 6-22 Avaliação do Mapa do Jogo (7.3)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

7.4 Os jogadores conseguem navegar pelo mapa de forma intuitiva e lógica?

- ( ) Sim, a movimentação e a exploração fazem sentido
- ( ) Parcialmente, há momentos em que fica confuso
- ( ) Não, a navegação pelo mapa é difícil de entender



**TABELA 6-20 Avaliação do Mapa do Jogo (7.4)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

Dentro do **Grupo 7**, que trata da avaliação do mapa, a maioria das respostas foram afirmativas, indicando que o mapa foi projetado de maneira adequada para o jogo. Embora todas as respostas tenham validado positivamente os aspectos do mapa, um dos professores sugeriu que poderia haver mais locais no cenário, não necessariamente como novas fases, mas apenas para enriquecer o visual. Por outro lado, outro avaliador argumentou que essa adição poderia tornar o jogo mais confuso. Dessa forma, essa questão parece estar mais relacionada a preferências pessoais do que a uma necessidade estrutural do jogo.

## 8. Avaliação das Cartas do Jogo

8.1 As cartas do jogo são bem elaboradas e visualmente atrativas?

- ( ) Sim, possuem um design claro e chamativo
- ( ) Parcialmente, algumas informações poderiam ser mais destacadas
- ( ) Não, as cartas são confusas ou pouco atrativas

**TABELA 6-21 Avaliação das Cartas do Jogo (8.1)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*



8.2 As informações contidas nas cartas são coerentes com o tema do jogo e auxiliam no aprendizado da Física Nuclear?

- ( ) Sim, todas as informações são relevantes e bem contextualizadas
- ( ) Parcialmente, algumas cartas poderiam ser mais explicativas
- ( ) Não, as cartas não contribuem significativamente para o aprendizado

**TABELA 6-22 Avaliação das Cartas do Jogo (8.2)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

8.3 As instruções presentes nas cartas são fáceis de entender e aplicar durante o jogo?

- ( ) Sim, as regras e instruções são claras
- ( ) Parcialmente, alguns trechos poderiam ser mais explicativos
- ( ) Não, as regras são confusas ou difíceis de seguir

**TABELA 6-23 Avaliação das Cartas do Jogo (8.3)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	14
Intermediárias	2
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

8.4 A variedade de cartas é suficiente para manter o jogo dinâmico e interessante?

- ( ) Sim, há diversidade e desafios que tornam o jogo envolvente
- ( ) Parcialmente, algumas cartas se repetem ou poderiam ser mais variadas
- ( ) Não, as cartas são muito repetitivas e tornam o jogo previsível



**TABELA 6-24 Avaliação das Cartas do Jogo (8.4)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

O Grupo 8, que busca a validação das cartas, também apresentou um alto índice de aceitação. Ao considerarmos todas as respostas de todos os itens, apenas duas foram classificadas como intermediárias. Dessa forma, pode-se concluir que a estrutura e o design das cartas estão adequados ao padrão do jogo, sendo suficientes para auxiliar no seu andamento e contribuir para a experiência dos jogadores.

#### **9. Avaliação das Situações Apresentadas no Jogo**

9.1 As situações apresentadas no jogo são realistas e condizem com os conceitos de Física Nuclear?

- ( ) Sim, são bem elaboradas e realistas dentro do tema
- ( ) Parcialmente, algumas situações poderiam ser melhor embasadas cientificamente
- ( ) Não, algumas situações são pouco coerentes com a Física Nuclear

**TABELA 6-25 Avaliação das Situações Apresentadas no Jogo (9.1)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pela autora (2025)*

9.2 As decisões que os jogadores devem tomar refletem dilemas reais envolvendo Física Nuclear?

- ( ) Sim, os desafios apresentados são realistas e envolvem tomada de decisão crítica
- ( ) Parcialmente, alguns dilemas poderiam ser mais bem explorados



- ( ) Não, as situações não exigem raciocínio ou aplicação de conhecimento científico

**TABELA 6-26 Avaliação das Situações Apresentadas no Jogo (9.2)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	15
Intermediárias	1
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pela autora (2025)

9.3 As consequências das escolhas feitas pelos jogadores são bem definidas e fazem sentido dentro da lógica do jogo?

- ( ) Sim, as consequências são bem estruturadas e coerentes
- ( ) Parcialmente, algumas escolhas poderiam ter impactos mais claros
- ( ) Não, as consequências parecem aleatórias e desconectadas da realidade

**TABELA 6-27 Avaliação das Situações Apresentadas no Jogo (9.3)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pela autora (2025)

9.4 O nível de dificuldade das situações apresentadas é adequado ao conhecimento dos alunos do ensino médio?

- ( ) Sim, está bem equilibrado e desafiador na medida certa
- ( ) Parcialmente, algumas situações são muito fáceis/difíceis
- ( ) Não, o nível de dificuldade não é adequado para os alunos



**TABELA 6- 28 Avaliação das Situações Apresentadas no Jogo (9.4)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	10
Intermediárias	6
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pelo autor (2025)

O Grupo 9 trata das situações apresentadas no jogo, ou seja, do contexto que envolve as perguntas, os desafios propostos e a forma como os alunos irão aplicar seus conhecimentos durante a partida. Até o item 9.3, a maioria das respostas foi unânime em classificá-lo de forma positiva, com exceção de uma resposta intermediária. Esse item avalia se as situações apresentadas eram adequadas e realistas. Particularmente, ficamos satisfeitas com o fato de todas as respostas terem sido, em sua maioria, positivas, pois houve um grande esforço para construir situações que refletissem a realidade e tornassem a experiência mais envolvente.

As respostas intermediárias apareceram no item 9.4, que trata do nível de dificuldade das situações para os alunos. Seis avaliadores indicaram que algumas situações poderiam ser consideradas fáceis ou difíceis, dependendo do contexto. Ao discutir essas respostas com os professores, a maioria afirmou que certas situações poderiam ser complexas para o nível de conhecimento dos alunos. No entanto, outros apontaram que, com uma preparação adequada, os desafios seriam equilibrados e adequados ao aprendizado. Além disso, como todas as situações do jogo podem ser adaptadas, alguns professores que responderam parcialmente destacaram que essa flexibilidade é um ponto positivo, pois permite ajustes conforme o nível e a necessidade dos alunos.

## **10. Avaliação das Imagens Utilizadas no Jogo**

10.1 O uso de imagens no jogo contribui para a imersão dos jogadores na temática proposta?

- ( ) Sim, as imagens tornam a experiência mais envolvente
- ( ) Parcialmente, algumas imagens não combinam com a proposta
- ( ) Não, as imagens não impactam na experiência do jogo



**TABELA 6-29 Avaliação das Imagens Utilizadas no Jogo (10.1)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	15
Intermediárias	1
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pelo autor (2025)*

10.2 O contraste e a legibilidade das imagens são adequados para que os alunos compreendam bem os elementos visuais do jogo?

- ( ) Sim, a qualidade visual é excelente
- ( ) Parcialmente, algumas imagens poderiam ter melhor contraste ou nitidez
- ( ) Não, algumas imagens são confusas ou difíceis de visualizar

**TABELA 6-30 Avaliação das Imagens Utilizadas no Jogo (10.2)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pelo autor (2025)*

O Grupo 10, que trata da avaliação das imagens no jogo, também recebeu uma avaliação bastante positiva. Apenas um professor respondeu de forma intermediária. A justificativa para essa resposta foi uma questão mais pessoal. Ele mencionou que, como o jogo já conta com descrições dos locais e elementos, preferiria formar suas próprias imagens mentalmente em vez de utilizar as ilustrações fornecidas. No entanto, destacou que as imagens em si não atrapalham a experiência e que, dependendo do perfil do aluno, podem até contribuir para uma maior imersão no jogo. Por esse motivo, classificou sua resposta como algo subjetivo e fez questão de explicitar sua perspectiva. Portanto, com base nessa análise, pode-se considerar que as imagens utilizadas no jogo são adequadas e contribuem de maneira eficaz para a imersão na experiência.



### 11. Avaliação da Descrição dos Locais no Jogo

11.1 A descrição dos locais do jogo é clara e fornece informações suficientes para contextualizar os jogadores?

- ( ) Sim, a ambientação está bem detalhada
- ( ) Parcialmente, algumas descrições poderiam ser mais elaboradas
- ( ) Não, as descrições são vagas e pouco informativas

**TABELA 6-31 . Avaliação da Descrição dos Locais no Jogo (11.1)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: *Elaborado pelo autor (2025)*

11.2 Os locais apresentados no jogo condizem com a temática da Física Nuclear?

- ( ) Sim, são bem escolhidos e relevantes para o tema
- ( ) Parcialmente, alguns locais poderiam ser melhor justificados cientificamente
- ( ) Não, alguns locais não parecem ter relação com Física Nuclear

**TABELA 6-32 . Avaliação da Descrição dos Locais no Jogo (11.2)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

11.3 Os locais possuem um nível adequado de detalhamento para tornar o jogo mais envolvente?

- ( ) Sim, o nível de detalhes é suficiente para imersão



- ( ) Parcialmente, algumas descrições poderiam ser mais ricas
- ( ) Não, os locais são muito genéricos e pouco envolventes

**TABELA 6-33 . Avaliação da Descrição dos Locais no Jogo (11.3)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	14
Intermediárias	2
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pelo autor (2025)

O Grupo 11 avalia a descrição dos locais. O item 11.1, que analisa se as descrições contextualizam adequadamente os jogadores, recebeu avaliações completamente afirmativas, ou seja, todos os avaliadores concordaram que as descrições são boas. O mesmo ocorreu com o item 11.2, que verifica se as descrições estão alinhadas com a temática do jogo. No item 11.3, que trata do nível de detalhamento das descrições, dois professores avaliaram que as descrições poderiam ser mais detalhadas. No entanto, no geral, a partir das avaliações, acredito que as descrições dos locais podem ser consideradas suficientemente boas, cumprindo sua função de maneira ideal dentro do jogo.

## **12. Avaliação do Diário do Cientista**

12.1 O Diário do Cientista é um recurso útil para auxiliar os alunos na compreensão dos conceitos de Física Nuclear?

- ( ) Sim, ele fornece informações essenciais e de forma clara
- ( ) Parcialmente, algumas partes poderiam ser mais explicativas
- ( ) Não, ele não é muito útil para o entendimento do conteúdo



**TABELA 6-34 . Avaliação do Diário do Cientista (12.1)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	15
Intermediárias	1
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pelo autor (2025)

12.2 O conteúdo do diário está bem escrito e de fácil compreensão para alunos do ensino médio?

- ( ) Sim, a linguagem é acessível e bem estruturada
- ( ) Parcialmente, alguns trechos são confusos ou técnicos demais
- ( ) Não, a linguagem é difícil e pode prejudicar o aprendizado

**TABELA 6-35 . Avaliação do Diário do Cientista (12.2)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	13
Intermediárias	3
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pelo autor (2025)

12.3 O Diário do Cientista apresenta explicações científicas corretas e alinhadas com o currículo de Física do ensino médio?

- ( ) Sim, os conceitos apresentados estão corretos e bem alinhados
- ( ) Parcialmente, há algumas explicações que poderiam ser revisadas
- ( ) Não, alguns conceitos não estão corretos ou são mal explicados



**TABELA 6-36 . Avaliação do Diário do Cientista (12.3)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pelo autor (2025)

12.4 O diário ajuda os alunos a resolver desafios e tomar decisões no jogo?

- ( ) Sim, ele fornece informações que auxiliam diretamente nas escolhas
- ( ) Parcialmente, mas poderia oferecer dicas mais aplicáveis ao jogo
- ( ) Não, ele não contribui significativamente para a tomada de decisões

**TABELA 6-37 . Avaliação do Diário do Cientista (12.4)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	16
Intermediárias	0
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pelo autor (2025)

12.5 A forma como o diário apresenta os conceitos, é eficiente para o aprendizado?

- ( ) Sim, o diário usa recursos variados que facilitam a compreensão
- ( ) Parcialmente, poderia ter mais imagens, esquemas ou exemplos práticos
- ( ) Não, a apresentação do conteúdo não é eficaz para os alunos

**TABELA 6-38 . Avaliação do Diário do Cientista (12.5)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	13
Intermediárias	3
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pelo autor (2025)



12.6 O diário poderia ser aprimorado com recursos extras, como vídeos, animações ou interatividade digital?

- ( ) Sim, recursos multimídia tornariam a experiência mais rica
- ( ) Parcialmente, mas a versão atual já é bem funcional
- ( ) Não, o formato textual é suficiente para o propósito do jogo

**TABELA 6-39 . Avaliação do Diário do Cientista (12.6)**

Respostas	Frequência
Afirmativas	10
Intermediárias	6
Negativas	0
Total	16

*Fonte:* Elaborado pelo autor (2025)

Dentro dos grupos avaliados, o Grupo 12, que trata do diário do cientista, foi o que apresentou mais divergências nas respostas entre vários itens. De maneira geral, os comentários indicaram que o diário atende às expectativas e auxilia os alunos durante o jogo na compreensão dos conceitos, como pode ser visto no item 12.1. Os itens 11.3 e 11.4, por sua vez, receberam todas as respostas positivas.

No entanto, nos itens 12.5 e 12.6, as respostas apresentaram divergências. Por ser um jogo baseado em RPG e com várias dinâmicas, foi sugerido que o diário tivesse mais elementos para se tornar mais dinâmico. Alguns professores sugeriram que o diário adotasse um formato mais tecnológico, como um livro digital, enquanto outros consideraram a ideia de criar um livro manual, para que se assemelhasse mais a um diário tradicional.

No geral, os questionamentos se concentraram mais em questões de design e possíveis melhorias para um momento posterior, do que em relação aos conteúdos abordados e à forma como foram apresentados. Dessa forma, comprehende-se que o diário cumpre seu papel dentro da proposta do produto, e as mudanças sugeridas seriam mais voltadas para torná-lo mais atrativo e interativo.



Como mencionado anteriormente, o grupo 4 que abrange as questões de sugestões e comentários, são itens de caráter discursivo. Após uma análise cuidadosa, selecionamos algumas respostas que consideramos mais relevantes e que serão apresentadas na íntegra.

### **Analise dos itens discursivos.**

Esses itens foram criados para que, além das conversas informais que tivemos com os professores, eles tivessem um espaço para fornecer suas respostas sobre o produto de maneira mais direta e formal.

#### **Primeiro item a ser analisado: 4.1 O que você destacaria como o maior ponto positivo do jogo?**

- Professor f:

” O conteúdo de física nuclear é bastante abstrato ao aluno, por isso, a maioria não possui interesse em aprender e possuem grandes dificuldades. Acredito que o jogo possa estimulá-los para que entendam a importância do conteúdo.”

- Professor c:

” O uso de um elemento real como agente motivador do jogo.”

- Professor A:

“Existem vários pontos positivos, um deles é a autonomia que os alunos têm para enfrentar os desafios do jogo com base em sua compreensão do conteúdo, o que demonstra uma construção sólida e efetiva do aprendizado, isso porque os desafios vão aumentando de nível gradativamente, permitindo que o aluno assimile as informações de forma mais eficiente. Além disso, o trabalho em equipe não apenas fortalece o desenvolvimento acadêmico, mas também aprimora habilidades socioemocionais, como comunicação, cooperação e resolução de problemas.

Sem contar que o jogo aborda um acidente nuclear, um tema que pode ser trabalhado em sala de aula para discutir suas causas, consequências e impactos ambientais e sociais. Essa abordagem não só complementa os conteúdos das disciplinas, como também aprimora o pensamento crítico e a conscientização dos alunos sobre temas científicos e históricos relevantes.



Um outro ponto que me chamou a atenção é de como o jogo é modular, ele pode ser aplicado em diferentes contextos sem a necessidade de depender de outros conteúdos específicos. Essa flexibilidade possibilita a adaptação para diferentes turmas, objetivos pedagógicos e até mesmo projetos acadêmicos.”

- Professor D:

“A dinâmica de RPG misturado com perguntas e respostas, além de ser um tema que desperta curiosidade.”

- Professor Q:

” A dinâmica de tempo do jogo. A ideia de ter tempo de partida e tempo de jogo achei muito boa, pois limita a partida à duração de, normalmente, dois tempos de aula. Todavia, dá liberdade ao professor de ajustar esse tempo conforme necessário. Porém, o tempo de jogo é um instrumento que contribui para que os jogadores não “façam de qualquer jeito” as atividades propostas. Ao contrário, instiga-os a pensarem sobre as ações tomadas. Muito bom!”

- Professor M:

“A diversidade de caminhos que o aluno pode tomar em busca da rota de fuga e a forma que o conteúdo se insere nesse contexto.”

- Professor B:

“Dentre os pontos principais destaco a contextualização, tão necessária aos dias de hoje, e também elogio os desafios e problemas os quais os alunos tem que resolver para conseguir os itens. “

### **O próximo item a ser analisado foi o item: 4.2 Quais aspectos poderiam ser melhorados?**

- Professor B:

“Em um primeiro momento acho necessário criar materiais sobre as regras e passos que o jogador deverá tomar para jogar, o início do jogo poderá ser um pouco complexo. Sugiro a criação de um vídeo inicial para ser passado aos alunos com as regras do jogo. “

- Professor Q:



“A narrativa inicial do jogo me parece confusa. Uma viagem escolar (que imagino que não seja de barco) que, após um acidente, termina em uma ilha abandonada. Uma vez que o design do jogo já foi criado sobre uma ilha, eu pensaria melhor na narrativa inicial do jogo.”

É importante destacar essa resposta, que foi dada por um aluno de mestrado em ensino na UFF. Achei a consideração muito relevante. Com essa perspectiva em mente, fiz mudanças no início do jogo para torná-lo mais coerente dentro desse contexto e mais acessível para os alunos.

- Professor M:

“A acessibilidade pode ser *um upgrade* para uma versão futura. Que permita pessoas com algum tipo de deficiência sensorial participarem da atividade de forma ativa, e não apenas como expectadores. Pois só cartas em tinta não seriam úteis para uma pessoa com deficiência visual poder aproveitar as informações do mapa por exemplo”

O próximo item a ser analisado: 4.3 Você recomendaria o uso deste jogo para outros professores? Por quê?”

- Professor c:

“Sim. Pois há boa jogabilidade e se apresenta como recurso interativo de aprendizagem o que, em tese, motivaria os alunos a compreenderem a física no dia a dia.”

- Professor A:

Com toda certeza. Esse jogo pode ser aplicado em diversas disciplinas, como História, Química e matemática. História, por exemplo, pode ser utilizado para explorar eventos e personagens de forma interativa. Em Química, pode ajudar na fixação de conceitos e reações químicas de maneira lúdica. Já em matemática pode ser empregado para reforçar conceitos como operações, equações e lógica, estimulando o raciocínio dos alunos de forma divertida.

- Professor Q:

“Evidente que sim. Uma estratégia alternativa para fugir da tradicional aula expositiva. Jogo muito bem pensado, com dinâmicas interessantes e envolventes. Os desafios propostos são coerentes com o nível médio, indicado para aplicação do produto. Todavia, não são de



resolução extremamente fácil, tornando o jogo desafiador e, de fato, contribuindo para o ensino de física. Além do mais, por ser um jogo de RPG, que segue uma história a depender das ações dos jogadores, o jogo pode ser jogado diversas vezes pelo mesmo grupo de pessoas sem que se torne exaustivo ou entediante.

Apesar de não estar dentro das pessoas, o professor fez questão de deixar um comentário extra sobre a diário do cientista.

“Por ser um RPG “à moda antiga”, acredito que o formato textual preserva a essência do estilo do jogo. Talvez algumas imagens, como se fossem rascunhos e rabiscos feitos por um cientista tornariam o diário mais atraente.”

- Professor M:

“Sim. Os jogos fazem parte do cotidiano da maioria dos jogos, e aproximar o interesse deles dos conteúdos necessários é uma excelente estratégia de engajamento no processo de ensino-aprendizagem. “

- Professor B:

“Recomendaria sim. Dentre as novas propostas para o ensino de física para se adaptar a BNCC e se utilizar metodologias ativas, este jogo se encaixaria perfeitamente na utilização da metodologia ativa Gamificação e Storytelling”.



## 7. CONCLUSÃO

A partir da pesquisa bibliográfica realizada, constatou-se uma defasagem no ensino de física nuclear e radiações, indicando que esse tema, apesar de sua relevância científica, tecnológica e social, é pouco abordado nas práticas pedagógicas. Essa lacuna reforça a necessidade de estratégias inovadoras que tornem o aprendizado mais acessível, contextualizado e envolvente para os alunos.

Com isso, o principal foco desta dissertação foi a elaboração de um produto educacional para auxiliar no ensino de física nuclear e das radiações, na forma de um jogo de tabuleiro. Para isso, foi criado um kit didático completo, contendo todos os elementos necessários para a experiência de jogo, garantindo que os alunos pudessem aprender de forma dinâmica e interativa.

A fundamentação teórica do produto baseou-se na abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), que norteou tanto a escolha do tema nuclear como a forma como os conteúdos foram trabalhados dentro do jogo. Além disso, o desenvolvimento do jogo incorporou metodologias ativas, como o uso de jogos no ensino e a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), adaptada completamente para estimular a investigação e a resolução de desafios dentro do contexto lúdico.

A construção desse kit foi um processo complexo e desafiador, porque exigiu diversas adaptações ao longo da elaboração. Foi necessário modificar regras, mecânicas e estrutura reiteradamente, a fim de tornar o jogo não apenas atrativo e envolvente, mas também adequado às realidades de diferentes turmas e ao tempo disponível nas aulas. As alterações visaram garantir que o jogo pudesse ser reutilizado, permitindo que os alunos jogassem mais de uma partida sem que tornasse repetitivo, além de assegurar que sua aplicação fosse viável dentro do planejamento de cada professor e escola.

Apesar de todas as dificuldades enfrentadas durante o planejamento, as mudanças realizadas ao longo do processo e a busca pela melhor metodologia, o resultado final foi a criação de um kit didático completo, contendo um jogo *Além do reator- Desafios na Cidade Radioativa*. Esse material atendeu plenamente ao objetivo inicial, pois foram pensadas diversas soluções para tornar sua aplicação flexível e eficiente.

O jogo foi estruturado de forma que pode ser totalmente adaptado à realidade do professor e da turma, possibilitando sua reutilização em diferentes contextos. Além disso, ele oferece suporte pedagógico ao docente, trazendo conceitos e respostas que auxiliam no processo



de ensino. O jogo também reforça a importância do conhecimento sobre radiações e segurança nuclear para evitar acidentes como o ocorrido em Goiânia com o Césio-137, um dos maiores desastres radioativos da história do Brasil. Ao compreenderem melhor os princípios da radiação e seus efeitos, os alunos desenvolvem uma maior consciência sobre a importância do manuseio responsável de materiais radioativos, contribuindo para a prevenção de novas tragédias.

Os elementos do jogo foram cuidadosamente pensados. As cartas foram elaboradas para garantir que os alunos tivessem contato direto com os conteúdos que precisam responder, tornando responder as questões mais fáceis. O mapa, um dos elementos centrais do jogo, foi projetado para ser visualmente atrativo e durável. Por isso, foi confeccionado em lona, o que poderia evitar danos como amassados, permite a limpeza e possibilita seu uso contínuo sem comprometer a qualidade. Esse material também contribui para que os alunos se sintam mais à vontade ao manuseá-lo.

Outro elemento essencial foi o Livro do Mestre, que cumpre um papel de guia durante a aplicação do jogo, garantindo uma experiência fluida e bem orientada. As questões-problema utilizadas no jogo foram formuladas em conformidade com os parâmetros da BNCC, assegurando que os conteúdos abordados estivessem alinhados às diretrizes curriculares nacionais. Dessa forma, o produto apresenta grande potencial para ser aplicado em diferentes realidades escolares, sendo uma ferramenta acessível para diversas instituições de ensino.

A eficácia do produto foi avaliada por meio de uma pesquisa quantitativa, na qual dezesseis professores de física responderam a um questionário sobre o material. Os resultados demonstraram que a aceitação foi majoritariamente positiva, indicando que o produto educacional tem potencial para cumprir seu propósito de complementar as práticas pedagógicas e engajar os alunos no aprendizado de maneira ativa. Além disso, o questionário revelou que, embora o jogo engaje alguns alunos mais do que outros — o que é natural em qualquer atividade educacional —, ele se mostrou uma ferramenta válida e eficiente para incentivar o estudo e a participação dos estudantes.

Uma possibilidade para aprimoramentos futuros seria tornar o kit ainda mais imersivo, incorporando elementos físicos interativos. Se houver disponibilidade de recursos por parte da escola ou do professor, algumas adaptações podem ser implementadas, como:

- Uso de cadeados físicos: durante a resolução de uma questão-problema, o "cadeado aberto" poderia ser um cadeado real, cujo código de desbloqueio estivesse diretamente ligado à resposta correta da questão.



- Diário do Cientista físico: em vez de um material impresso, o diário poderia ser um objeto físico real, proporcionando maior envolvimento dos alunos na narrativa do jogo.

Essas adaptações exigiriam um investimento maior, o que pode não ser viável para todas as escolas. No entanto, para instituições com maior disponibilidade de recursos, essas mudanças poderiam tornar a experiência ainda mais envolvente e imersiva, ampliando o impacto do jogo como ferramenta pedagógica.



## 8. REFERÊNCIAS

CGEE, A ciência e a tecnologia no olhar dos brasileiros. **Percepção pública da C&T no Brasil**: 2019 Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2019.

ADORNES, Lucides Gilberto da Rosa et al. UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE FÍSICA E QUÍMICA. **Vivências**, Pernambuco, v. 26, n. 14, p. 363-374, maio 2018.

Almeida, A. P., & Silva, M. L. (2020). Enxerto CTS na educação: uma proposta pedagógica para a formação cidadã. **Revista Brasileira de Educação em Ciência e Engenharia**, 6(2), 74-84.

Almeida, A. P., & Silva, M. L. (2020). Projeto SATIS: Integrando Ciência, Tecnologia e Sociedade na Educação. **Revista Brasileira de Educação em Ciência e Engenharia**, 7(1), 123-135

ALVES, Alexandre José; SILVA, Ricardo Fernandes da. OS DESAFIOS DA ESCOLA PÚBLICA PARANAENSE NA PERSPECTIVA DO PROFESSOR PDE. In: PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Superintendência de Educação**. Paraná, v. 1, (CADERNOS PDE). 2014.

ALVES, Kelly Jaqueline; BONZANINI, Taitiâny Karita; BALBINO, Marcia Regina. Transposição didática. USP. Disponível em: Disponível em: <http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/artigo2.22.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2022.

ALVES, Thiago Rodrigues de Sá. RADIOATIVIDADE NA CONCEPÇÃO DE ESTUDANTES DE ANGRA DOS REIS: UM ESTUDO INVESTIGATIVO. **Ciência em Tela**, v.5,n.2,2012.Semestral. Disponível em: <http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/artigo2.22.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2022.

AULER, D. Enfoque **Ciência-Tecnologia-Sociedade: Pressupostos para o contexto brasileiro**. Revista Ciência e Ensino, v. 1, Nov, 2007.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em <http://download.basenacionalcomum.mec.gov.br/> Acesso em: 23 de agosto de 2024.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna?. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

**BROUGÈRE, Gilles.** *Jogo e Educação*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

**CAMPOS, L. B.** **Proposta de abordagem temática com enfoque CTS no ensino de física: Produção de energia elétrica.** 2017. 147 p. Dissertação (Mestrado em Educação em



Ciências e Matemática). Instituto de Educação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2017.

**CARVALHO, A. M. P.; GIL-PÉREZ, D. Formação de professores de ciências: tendências e inovações.** 7. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

CARVALHO, Arnaldo Vianna e Vilhena de. **Ludus Magisterium: uma rede de aprendizagem em torno dos jogos de tabuleiro na educação.** 2022. 233 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

**CHEVALLARD, Y., BOSH, M. e GASCÓN J. Estudar Matemáticas o Elo entre o Ensino e a Aprendizagem.** Arimed. Porto Alegre, 2001.

**CHEVALLARD, Yves. La Transposición Didáctica:** Del saber sabio al saber enseñado. Argentina: La Pensée Sauvage, 1991.

**CHRISPINO, A. Ciência, Tecnologia e Sociedade.** Rio de Janeiro: CEFET/RJ, 2009.

**COELHO, Ingrid Miranda de abreu et al.** O uso do Role Playing Game (RPG) como ferramenta didática no ensino de Ciências. 2017.

**CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L. P. Designing and Conducting Mixed Methods Research.** 3. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2017.

**CRESWELL, John W.; CLARK, Vick L. Plano. Pesquisa de métodos mistos.** 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

**DA ROSA ADORNES, Alcides Gilberto et al.** “**Uma proposta para o ensino de física nuclear na formação de professores de física e química**”.

**DA SILVA JUNIOR, A. C.; LONDERO, L.** A transposição didática aplicada aos raios X nas coleções didáticas de física do pnld (2018-2020). **Ciência em Tela**, v. 12, n. 2, p. 1-16, 2019. Disponível em: <<http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/1202pe4.pdf>>. Acesso em: 20 dez 2023.

**DA SILVA JUNIOR, Alvaro Cesar; DA SILVA, Leandro Londro.** A Transposição Didática do Fenômeno da Radioatividade em Manuais Escolares de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, p. 259-287, 2022.

**DIAS, Lucas Sousa.** **A visão da sociedade araguainense sobre física nuclear e suas aplicações.** 45 f. Monografia (Graduação) - Física Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2019. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/eu/issue/view/1016>. Acesso em: 04 jan. 2023.



DOS SANTOS PAGLIOCHI, Jessica et al. Investigaçāo dos processos de transposição didática interna e externa do conteúdo “Misturas” para o ensino médio. **ACTIO: Docēncia em Ciēncias**, v. 1, n. 1, 2020.

EUGENIO, Benedito; SANTOS, Juliane Freire dos. ENFOQUE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) NO ENSINO DE CIÊNCIAS: revisão sistemática entre os anos de 2010 e 2020. **Revista Binacional Brasil-Argentina: Diálogo entre as ciências**, [S.L.], v. 11, n. 01, p. 73-91, 1 jun. 2022. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/Edicoes UESB. .

EVANGELISTA DUARTE , W.; VIANA NUNES, J. M. .; AG ALMOLOUD, S. . Criações Didáticas: o caso dos jogos educativos: **Didactic Creations: the case of the educational games** . Revista Cocar, [S. l.], n. 14, 2022. Disponível em: <https://periodicos.uepa.br/index.php/cocar/article/view/5504>. Acesso em: nov. 2023

**FILMES e séries sobre Radiação.** 2021. Filmetipo. Disponível em: <https://filmes-tipo.com/sobre/1337-radiacao>. Acesso em: 16 dez. 2022.

FREIRE, Leila Inês Follmann . **Pensamento crítico, enfoque educacional CTS e o Ensino de Química**. 2007.

Gee, J. P. (2003). "What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy."

GOMES, Paulo César; JÚNIOR, Jair Lopes; DELAROLE, Regiane. “TITIA VEM CÁ VER A PEDRA ALUMIANTE QUE O PAPAI TROUXE”- HISTÓRIA DA CIÊNCIA, RADIODATIVIDADE E O CÉSIO-137 EM GOIÂNIA: PROPOSTAS PARA UMA UNIDADE DIDÁTICA. **Ensino, Saude e Ambiente**, v. 8, n. 1, 2015.

GITHUB. **Copilot**. Disponível em: . Acesso em: 18 out. 2024.

GÜNTHER, Hartmut. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão?. **Psicologia: teoria e pesquisa**, v. 22, p. 201-209, 2006.

HUIZINGA, J. 1938. **Homo Ludens**. Trad. João Paulo Monteiro. São Paulo, PERSPECTIVA S.A. 2000.

Indústria 4.0; Percepção das empresas sobre a normalização técnica para a Indústria 4.0 no Brasil. (Série Documentos Técnicos, 30). Brasília, DF: **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**, 2021.



KAMIOJI, M. I.. A mídia brasileira e os acidentes: as campanhas antinucleares e a geração elétrica (1979 a 2011). In: 16o SNHCT Simpósio Nacional de História da Ciência e Tecnologia, 2018, Campina Grande. **16o SNHCT Simpósio Nacional de História da Ciência e Tecnologia - Caderno de Resumos**. Campina Grande: UFCG/UEPB, 2018. v. 1. p. 1-284.

Kolb, D. A. (1984). "Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development."

LOVATO, F. L.; MICHELOTTI, A; BRANDÃO, C. S.; LORETO, E. L. S. Metodologias Ativas de Aprendizagem: Uma Breve Revisão. **Acta Scientiae**, V.20, N 2, mar./abr. 2018.

McGonigal, J. (2011). "Reality Is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World."

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MELLO, Luiz Adolfo de. **A Teoria da Transposição Didática de Chevallard, Izquierdo e de Mello (CHIM)**. 2019.

**MICROSOFT**. Bing. Disponível em: . Acesso em: 18 out. 2024.

NUNES, L. D. **O acidente radiológico de Goiânia e seus desdobramentos nos currículos da licenciatura em química em Goiás: uma leitura freireana**. 2021. 207 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

OFUGI RODRIGUES, C. **Inserção da teoria da Relatividade no Ensino Médio: uma nova proposta**. Tese de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 2001.

PARANHOS, R. et al. Uma introdução aos métodos mistos. **Sociologias**, v. 18, n. 42, p. 384–411, ago. 2016.

PEREIRA, Rúbia Carla; VILELA, Maria Auxiliadora; FREITAS, Rony Cláudio Oliveira. A transposição didática na perspectiva do saber e da formação do professor de matemática. **Educação Matemática Pesquisa**, v. 20, n. 1, p. 41-60, 2018.

PEREIRA, R. M.; VICTER, E. F.; FREITAS, A. V. Avaliação de um produto educacional sob a perspectiva dos professores que ensinam matemática. Revista **Conhecimento Online**, Novo Hamburgo, v. 1, p. 24-35, mar. 2017. ISSN 2176-8501. Disponível em: <<https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistaconhecimentoonline/article/view/455>>. Acesso em: 25 nov. 2021



PERETTI, Eduardo de Medeiros; YARED, Yalin Brizola; BITENCOURT, Rafael Mariano de. Metodologias inovadoras no ensino de ciências: relato de experiência sobre a criação de um jogo de cartas como abordagem colaborativa . **Revista Internacional de Educação Superior**, Campinas, SP, v. 7, p. e021012, 2020. DOI: 10.20396/riesup.v7i0.8656594. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/riesup/article/view/8656594>. Acesso em: 16 out. 2025.

Piaget, J. (1976). "O Nascimento da Inteligência na Criança."

POLIDORO, Lurdes de Fátima; STIGAR, Robson. A transposição didática: a passagem do saber científico para o saber escolar. **Ciberteologia–Revista de Teologia & Cultura**. Ano VI, n. 27, p. 153-159, 2010.

PORTO, Maria de Lourdes oliveira; CHAPANI, Daisi Teresinha. ABORDAGEM CTS (CIÊNCIA--TECNOLOGIA--SOCIEDADE) E FORMAÇÃO DE PROFESSORES: POSSÍVEIS RELAÇÕESE QUESTIONAMENTOS. **Colóquio do Museu Pedagógico-ISSN 2175-5493**, v. 10, n. 1, p. 27-38, 2014.

PRADO, M. L. S.; RICARDO, E. S. O modelo CTS e o ensino de física moderna e contemporânea. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n. 2, p. 197-221, ago. 2004.

PROFIS (São Paulo). SATIS - **Science and Technology in Society**. 2020. Disponível em: <https://fepl.if.usp.br/~profis/projetos-ec.html>. Acesso em: 22 fev. 2024.

RIBEIRO, Gabriel; COELHO DA SILVA, José Luís. **A imagem do cientista: impacto de uma intervenção pedagógica focalizada na história da ciência**. 2018.

RIBEIRO, L. H. de F.; GERMANO, V. E.; BRUNO, L. P. ;; FREIRE, M. L. B.; NASCIMENTO, E. G. C. do; FERNANDES, T. A. A. de M. . **Game-based learning as a teaching and learning strategy in medical education. Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 12, p. e02111232183, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i12.32183. Disponível em: <https://rsdjurnal.org/index.php/rsd/article/view/32183>. Acesso em: 17 jun. 2024.

ROSA, Luiz Pinguelli. A Física entre a guerra e a paz: reflexões sobre a responsabilidade social da ciência. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 3, p. 40-43, 2005.



Salen, K., & Zimmerman, E. (2004). "Rules of Play: Game Design Fundamentals."

SAMPAIO, Tabatha Cristina de Amorim Ferreira; CRUZ, Frederico Alan de Oliveira. **A PARTÍCULA ALFA: conceitos e experimentação.** 2020. 153 f. TCC (Graduação) - Curso de Física, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.

Santos, R. S., & Moreira, M. A. (2018). A educação CTS no contexto da formação cidadã e da sustentabilidade: uma revisão integrativa. **Ciência & Educação** (Bauru), 24(4), 975-990.

SILVA, Cássio Robson Alves da; COSTESKI, Evanildo. TECNOFILIA X TECNOFOBIA: O LUGAR DA NOÇÃO DE PROGRESSO NA FILOSOFIA DA TÉCNICA. **II Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**, Ceará, v. 5, n. 14, p. 1-1, jan. 2021.

SILVA, R.; NUNES, J. M.; GUERRA, R. Relação entre Tempo Didático e Currículo num Ambiente Multiseriado. **Perspectivas da Educação Matemática**, v. 9, n. 20, 27 dez. 2016.

SOUZA, Sandra Maria Gomes de . **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA DE TÓPICOS DE FÍSICA NUCLEAR POR MEIO DE AULA DE CAMPO**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências, Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

SILVA JUNIOR, Rodrigo Torquato; VIANNA, Deise Miranda; MORAES, Roberto Barreto de. "QUEM PAGA O GATO?": Ensino da Eletricidade com Enfoque CTS para Promover a Alfabetização Científica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.18, n.4, p.573-584, 2023. Disponível em: . Acesso em: 15 jul. 2024.

TEKINBAS, Katie Salen; ZIMMERMAN, Eric. **Rules of play: Game design fundamentals**. MIT press, 2003.

The Simpsons. Direção de Matt Groening. **Produção de Fox Broadcasting Company**. 1989

USINA Nuclear de Springfield. **WikiSimpsons**. Disponível em: [https://simpsons.fandom.com/pt/wiki/Usina\\_Nuclear\\_de\\_Springfield](https://simpsons.fandom.com/pt/wiki/Usina_Nuclear_de_Springfield). Acesso em: 11 nov. 2022.

VALENTE, L. et al. Física Nuclear: Caminhos para a sala de aula. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2008, Curitiba. XI Simpósio Nacional de Ensino de Física. Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2008.

VIANNA, Hermano M. **Avaliação educacional: novos desafios**. Campinas: Papirus, 2001.



VIEIRA, Wilson J. *et al.* UM NOVO CENÁRIO PARA A ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL. 1999. CTA-ITA /IPEN. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/1999/PDF/CG21AB.PDF>. Acesso em: 09 nov. 2022.

Vygotsky, L. S. (1978). "Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes.



## **APÊNDICE A - APRESENTAÇÃO DO JOGO EDUCATIVO – ALÉM DO REATOR**

Nesse capítulo, a primeira parte oferece um resumo conciso para consulta rápida durante o jogo, enquanto a segunda parte apresenta uma explicação mais detalhada, proporcionando uma compreensão aprofundada dos elementos abordados.

### **Introdução**

❖ Além do reator - Desafios na Cidade Radioativa é um jogo de tabuleiro educativo desenvolvido para auxiliar no ensino de Física Nuclear de forma dinâmica e interativa. Criado para envolver os alunos em uma experiência imersiva, o jogo os coloca no papel de exploradores que, após um problema em sua embarcação, acabam presos em uma ilha contaminada por radiação. Seu objetivo é escapar da ilha em um tempo fictício de 24 horas dentro do jogo, enfrentando desafios e tomando decisões estratégicas baseadas em conceitos científicos.

### **Objetivo Pedagógico**

O jogo foi elaborado para complementar o ensino de Física Nuclear no Ensino Médio, promovendo o aprendizado através de situações-problema, raciocínio lógico e trabalho em equipe. Ele proporciona:

- ✓ Aprendizado ativo e envolvente;
- ✓ Desenvolvimento do pensamento crítico e da tomada de decisões;
- ✓ Integração de conceitos científicos a um cenário prático e lúdico;
- ✓ Trabalho em equipe e gestão de recursos.

### **Como Funciona o Jogo?**

- ❖ 1. Escolha do Local – Os jogadores escolhem um local para explorar no tabuleiro.

Cada local tem uma descrição específica, que é lida pelo Mestre (moderador do jogo).

- ❖ 2. Definição da Fase – O Mestre informa quantas fases estão disponíveis no local escolhido e os jogadores decidem qual fase querem jogar.

- ➡ 3. Leitura do Contexto – O Mestre lê a situação-problema referente à fase escolhida.
- ➡ 4. Resolução da Fase – Os jogadores tentam resolver a questão apresentada, utilizando o diário de um cientista como fonte de apoio.
- ➡ 5. Registro de Consequências – O Mestre registra se os jogadores ganharam ou perderam horas no tempo fictício do jogo. Se houver outras consequências, como aquisição de itens ou pistas, o Mestre também as entrega.
- ➡ 6. Continuação do Jogo – O grupo segue explorando outros locais e enfrentando desafios até encontrar a saída da ilha dentro do tempo limite.

### Papel do Professor (Mestre)

O professor (Mestre) assume o papel de facilitador e pode personalizar a experiência do jogo, determinando:

- ⌚ O tempo real da partida (recomendado: 1h30);
- ⌚ O número de jogadores por grupo (indicado: 3 a 6 jogadores + Mestre);
- ⌚ Se haverá um vencedor (opcional – pode-se premiar o grupo que conseguir escapar com menos horas acumuladas);
- ⌚ O nível de dificuldade e o número de desafios opcionais.

### Elementos do Jogo

- 👉 Mestre: Responsável por narrar, orientar e registrar o progresso do jogo.
- 👉 Diário do Cientista: Fonte de informações e pistas para ajudar os jogadores a resolverem as questões.
  - 👉 Cartas de Perguntas: Com desafios variados (Verdadeiro ou Falso, Palavras Cruzadas, Preenchimento de Tabelas, etc.).
  - 👉 Perguntas Desafio: Questões mais difíceis que oferecem grandes vantagens, mas não são obrigatórias.
  - 👉 Mapa da Ilha: Indica os locais a serem explorados, sendo necessário passar por algumas fases antes de alcançar a saída.

- ▣ Prontuário: Local onde o mestre faz anotações importantes sobre o jogo, como aumento e diminuição de horas.
- ▣ Livro do Mestre: Contém informações essenciais para a narrativa e gestão do jogo.
- ▢ Livro de Regras: Apresenta as diretrizes e as regras que os jogadores devem seguir durante o jogo.
- 🎁 Elementos Extras: Itens entregues aos alunos como consequências positivas que ajudam a avançar no jogo.
- 🎴 Cartas Consequências: Trazem elementos extras, bônus de horas e vantagens que ajudam os alunos.
- 📸 Fotos dos Locais: Imagens dos lugares para ajudar os alunos na imersão no jogo.

### **Consequências Positivas ao Acertar as Perguntas:**

- ▢ Carta Horas: Permite que o grupo responda a uma pergunta sem acrescentar horas ao tempo total do jogo, ajudando no controle do cronômetro da missão.
- 🚫 Isenção de Locais Inúteis: O grupo recebe a informação de que não precisa visitar determinado local, economizando tempo e recursos.
- 🎯 Cartas Essenciais: Incluem elementos indispensáveis para escapar da ilha, como objetos extras e itens-chave.
- 🔍 Carta de Pesquisa Livre: Autoriza o grupo a realizar uma pesquisa ou consulta por até 3 minutos da forma que preferirem, podendo ser usada em qualquer momento estratégico.
- 👤 Carta Pesquisa com Amigos: Permite que os jogadores consultem um amigo ou outro grupo para tirar dúvidas sempre que necessário.
- 💡 Dicas Estratégicas: Fornece orientações valiosas para direcionar o grupo a locais importantes para o avanço no jogo.
- ⌚ Carta de Redução de Horas: Reduz automaticamente um número específico de horas do tempo total do grupo, acelerando o progresso.
- 🔑 Acesso a Locais Especiais: Concede autorização para entrar em áreas restritas do jogo, sem a necessidade de cumprir requisitos adicionais.
- ▢ Carta Resposta: Garante ao grupo a resposta correta de uma fase diretamente do mestre, obtendo automaticamente a consequência positiva daquela fase sem precisar responder.



▣ **Carta Curinga:** Substitui qualquer item necessário para acessar a usina ou reduz até 5 horas do tempo total do grupo.

☒ **Carta Bônus de Horas:** Permite que o grupo responda a uma pergunta sem perder horas, mesmo que erram. Pode ser usada uma vez em qualquer momento da partida

### **Consequências Negativas (Erros nas Respostas)**

As consequências negativas ocorrem quando os jogadores erram alguma pergunta. O principal impacto é o acréscimo de horas ao tempo total do jogo, dificultando o progresso do grupo.

🕒 **Regra Geral:** Cada resposta errada adiciona 3 horas ao tempo total da equipe, aproximando-os do limite de 24 horas e aumentando o desafio da missão.

💡 **Exemplo de Consequência:**

**Consequência:**

"Após uma tentativa frustrada de resolver o enigma, vocês percebem um atraso em sua missão. O tempo passa rapidamente enquanto tentam se reorganizar, resultando no acréscimo de 3 horas ao tempo total do grupo."

**Exemplo de Consequência Positiva para Contraste:**

"Ao encontrar a resposta correta, vocês descobrem sobre a mesa um contador Geiger — um equipamento essencial para a jornada. Com ele, será possível monitorar os níveis de radiação e garantir acesso seguro a locais críticos durante a exploração. Esse item será crucial para avançar com segurança na missão!"

📘 **Instrução ao Mestre:**

Entregar o contador Geiger (ou o item correspondente) aos alunos assim que eles obterem essa consequência positiva.

### **Conclusão**



Além do reator é uma ferramenta inovadora para tornar o ensino de Física Nuclear mais atrativo e dinâmico. Ele pode ser facilmente adaptado à realidade de cada turma, incentivando os alunos a aplicarem o conhecimento de maneira prática e colaborativa.

### **Apresentação do jogo estendida**

Este jogo foi desenvolvido com o objetivo de aprimorar o ensino de física nuclear nas escolas, servindo como um recurso complementar para os professores. A ideia central é que os alunos estudem previamente para poder jogar e vencer com base em seus conhecimentos, tornando o aprendizado mais dinâmico e envolvente. Dessa forma, espera-se que os alunos adquiram um conhecimento prévio antes de utilizar o jogo, incentivando um estudo mais ativo e participativo.

A estratégia de aplicação fica a critério do professor, que pode adaptá-la conforme as necessidades da turma. Ele pode orientar diretamente quais conceitos devem ser estudados, permitir que os alunos realizem pesquisas independentes, disponibilizar uma apostila didática ou até mesmo dedicar uma aula exclusivamente para esclarecer dúvidas após a fase de pesquisa dos alunos. Essa flexibilidade permite que o jogo se adeque ao estilo de ensino e ao ritmo de cada grupo.

Além disso, o jogo foi projetado para se adaptar ao tempo disponível em aula, ao nível de dificuldade das turmas e, principalmente, para poder ser jogado novamente garantindo uma experiência enriquecedora e dinâmica a cada partida.

O jogo desenvolvido é um jogo de tabuleiro, que incorpora abordagens de outros tipos de jogos, como, por exemplo, o RPG (Role Playing Game), no qual a descrição de ambientes é utilizada para proporcionar uma imersão mais profunda aos alunos. Além disso, o jogo envolve diretamente o mestre, que pode ser o professor ou outra pessoa responsável pela orientação da partida, o que é outra característica encontrada dentro do RPG. Ele inclui também cartas que são responsáveis pelo direcionamento da partida.

A composição do jogo é reunida em um kit que engloba todos os materiais essenciais, abrangendo uma variedade de elementos, como um tabuleiro, cartas, e um diário de bordo para fornecer orientação completa durante o jogo. Além do livro do mestre e um livro de regras.

O jogo consiste em uma situação na qual os alunos, durante uma viagem escolar após um acidente, encontram-se em uma região específica, mais precisamente em uma ilha contaminada por elementos radioativos originados de um acidente em uma usina nuclear e de outros



experimentos conduzidos no local. A região é minuciosamente caracterizada, apresentando diversos cenários nos quais os jogadores enfrentam obstáculos e desafios, assim exigindo que explorem a ilha em busca de soluções.

A cidade é uma cidade fictícia incluindo situações reais e não reais para assim facilitar na hora da elaboração das situações encontradas.

Nesse contexto, o objetivo central dos participantes é encontrar uma maneira de deixar a ilha. Para alcançar essa meta, os jogadores devem aplicar seus conhecimentos sobre física nuclear para resolver os enigmas propostos e avançar nas chamadas fases. Cada fase representa um local específico da cidade, abordando conceitos diversos. Para direcionar os jogadores, eles terão em mãos um diário de um cientista que trabalhava na usina. Através dessas anotações, os jogadores terão as informações necessárias para adquirir e consolidar seus conhecimentos.

A progressão ocorre a partir do desenrolar de situações apresentadas por meio de perguntas. É importante destacar que essas chamadas "perguntas" podem ser feitas de forma direta ou indireta. Na verdade, o que existe são situações-problema apresentadas aos alunos, que podem aparecer em forma de perguntas ou de maneiras alternativas, como palavras cruzadas, atividades de verdadeiro ou falso, montagem de tabelas, entre outros.

O jogo é composto por locais específicos no mapa, conforme já mencionado, e a progressão das fases ocorre por meio de perguntas. Ele conta com 14 locais que podem ser explorados, abrangendo um total de 30 fases, que os jogadores podem escolher passar ou não. No entanto, apenas 9 dessas fases contêm itens essenciais para que os alunos possam concluir o jogo.

Essa estrutura tem o objetivo de tornar o jogo dinâmico e não linear ("fechado") ou seja, cada partida é única, dependendo das escolhas feitas pelos alunos. Eles podem jogar várias vezes, explorando locais diferentes e, consequentemente, vivenciando situações distintas a cada nova experiência.

Além disso, o professor tem total conhecimento das nove fases que os jogadores precisam completar. Caso o tempo de aula esteja se esgotando, ele pode direcionar os alunos para essas fases específicas, garantindo que os conteúdos essenciais sejam abordados. Embora essa abordagem possa reduzir a dinâmica do jogo, o principal objetivo, que é o aprendizado didático, permanece intacto.

Outro aspecto é que o jogo trabalha com duas categorias de tempo: o "tempo do jogo" e o "tempo real". Dessa forma, além do objetivo principal de escapar da ilha, há uma contagem regressiva que representa o avanço do *tempo do jogo*. Devido ao elevado nível de contaminação



no local, os alunos têm um período limitado para evacuar a ilha, ou seja, "sair da ilha". Esse tempo foi definido como o *tempo do jogo*, que começa em 0 horas e pode chegar até um máximo de 24 horas. Essas 24h fictícias corresponde ao tempo que os jogadores têm para concluir a missão. Esse período é contabilizado com base nas ações realizadas e nas consequências enfrentadas pelos alunos durante a partida. Se esse tempo se esgotar antes da conclusão dos objetivos, os jogadores perdem o jogo.

Essas horas fictícias podem ser adicionadas ou reduzidas de diferentes maneiras. Elas diminuem como recompensa por respostas corretas e aumentam como consequência de respostas erradas. Além disso, o uso de dicas também pode influenciar o tempo, tornando a gestão dessas horas um elemento estratégico dentro do jogo.

Outro aspecto importante é que o jogo foi cuidadosamente planejado para incentivar os alunos a buscar ativamente o conhecimento e adquirir novos aprendizados ao longo da experiência. Em cada fase, alguns locais oferecem dicas que adicionam 2 horas ao tempo total do jogo, enquanto respostas erradas resultam em um acréscimo de 3 horas. Essa mecânica incentiva os alunos a refletirem antes de responder, promovendo a construção do conhecimento em vez de simplesmente "chutar" as respostas.

Já o *tempo da partida* refere-se ao tempo real, com duração de 90 minutos. Caso esse limite seja alcançado sem que os jogadores tenham cumprido suas metas, considera-se que perderam a partida também. Essa estrutura permite ao professor controlar a duração do jogo de forma eficiente. No entanto, o tempo da partida não é um limite rígido. Se o professor dispuser de mais tempo ou desejar proporcionar uma imersão maior, ou ainda incluir dinâmicas diferentes, é possível ajustar a duração de acordo com as necessidades da turma.

O jogo foi desenvolvido para ser totalmente ajustável às necessidades da turma e do professor. Dessa forma, as perguntas podem ser modificadas conforme necessário, além das perguntas extras que já estão disponíveis. O professor também tem a liberdade de inserir novas questões durante o jogo, tornando a experiência ainda mais personalizada e adequada ao contexto da aula.

Recomenda-se que o jogo seja realizado em grupos de 3 a 6 participantes, além do mestre. Esse número, no entanto, não é fixo. Para uma melhor integração entre os alunos, sugere-se um mínimo de 3 participantes, enquanto o limite de 6 pessoas visa facilitar a organização e garantir que todos possam contribuir de forma significativa durante a partida. No entanto, caso o professor deseje incluir mais participantes, a dinâmica do jogo não será prejudicada.



O único local onde os jogadores não podem acessar diretamente é a usina. Para entrar nela, é necessário obter itens essenciais, que são adquiridos ao longo da partida. Esses itens são conquistados por meio das consequências geradas pelas respostas corretas, incentivando os jogadores a explorarem e aprenderem antes de avançar.

### Vamos jogar para facilitar o entendimento?

Mapa da cidade



*O Tabuleiro*



Primeiro, os alunos devem escolher um local para visitar. Supondo que decidam ir à casa do Cientista 2, eles terão acesso ao diário do cientista. Esse diário fica com os alunos, permitindo consulta direta. As anotações registradas nele sempre estarão relacionadas à pergunta feita, auxiliando na construção do raciocínio e na tomada de decisões durante o jogo, e principalmente trazendo informações e conceitos novos aos alunos.

### **Diário do Cientista**

Esse é um estudo enviado ao cientista sobre um acidente que aconteceu no Brasil.

O acidente de Goiânia ocorreu em 13 de setembro de 1987 e é considerado um dos piores acidentes radioativos da história. Ele aconteceu quando dois catadores de sucata encontraram um aparelho de radioterapia abandonado em uma clínica desativada no centro de Goiânia, Goiás. O aparelho continha Césio-137, uma substância altamente radioativa. Os catadores abriram o equipamento e, fascinados pela substância que brilhava no escuro, levaram parte do material para casa. Isso resultou em contaminação radioativa em várias áreas da cidade. O acidente levou à morte de quatro pessoas, à contaminação de centenas e à evacuação de áreas afetadas. Mais de 100 mil pessoas foram monitoradas, e várias casas e objetos tiveram que ser destruídos ou descontaminados.

Como foi feita a descontaminação após o acidente de Goiânia?

Após o acidente de Goiânia, uma grande operação de descontaminação foi iniciada. Equipamentos e especialistas do Brasil e de outros países foram mobilizados. Muitas casas e prédios tiveram que ser destruídos porque a radiação havia se infiltrado em paredes, móveis e objetos. O solo de áreas contaminadas foi removido e enterrado em locais controlados. Pessoas contaminadas foram isoladas e tratadas, e seus pertences pessoais, incluindo roupas e utensílios, foram incinerados ou descartados. A descontaminação foi difícil, pois a radiação do Césio-137 pode ser persistente e difícil de remover completamente. O acidente resultou na geração de toneladas de lixo radioativo, que foi armazenado em locais seguros.

No acidente, muitas vítimas sofreram envenenamento por radiação devido ao manuseio inadequado do material radioativo e à falta de conhecimento sobre os perigos do Césio-137.



Assim que os alunos escolhem o local, o mestre lê para eles a descrição correspondente, que está disponível no livro do mestre. No caso de escolherem a casa do Cientista 2, a descrição a ser lida é a seguinte:

A casa modesta, agora esquecida e coberta, está em ruínas após anos de abandono. O telhado está cedendo, com telhas caídas espalhadas pelo chão, e as paredes de madeira estão apodrecidas, manchadas por infiltração e radiação. As janelas, quebradas e sujas, deixam o vento frio assobiar pelos cômodos.

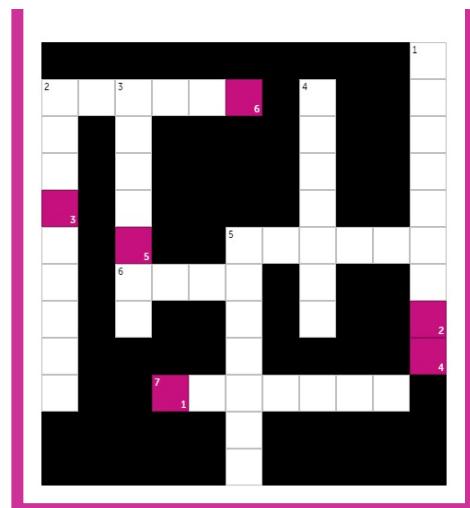
Na pequena sala de estar, móveis simples estão cobertos de poeira e desgastados pelo tempo. Uma mesa de madeira está tombada, com alguns pratos quebrados ao lado, e uma velha poltrona, rasgada e desbotada, repousa em um canto. Fotografias familiares desbotadas ainda estão penduradas, retratando um cotidiano interrompido de forma abrupta. No quarto, a cama de ferro está enferrujada, com lençóis amarelados e rasgados, e um único guarda-roupa permanece aberto, com roupas comuns ainda penduradas.

Após isso, o mestre informa quantas fases estão disponíveis para escolha. Em locais com mais de uma fase, cada uma é independente, permitindo que os alunos escolham quais responder. No caso em questão, o local possui apenas uma fase; assim, o mestre esclarece essa informação e prossegue para a resolução do problema proposto. Cada fase inclui um contexto seguido de uma pergunta.

A seguir o mestre lê o contexto e faz a entrega da pergunta:

**Contexto:** Assim que entram, vocês encontram no chão um papel que pode conter pistas importantes. O documento menciona um acidente que o cientista estava investigando; talvez o diário contenha mais informações sobre o acidente que ocorreu em Goiânia.

**Entregar ao grupo**



1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

**horizontal**

- 2 Doença causada pela exposição à radiação durante o acidente
- 5 Material no qual o Césio-137 estava encapsulado originalmente
- 6 Cor da substância radioativa que atraiu a atenção das vítimas
- 7 Cidade onde ocorreu o acidente radiológico no Brasil

**vertical**

- 1 Grupo profissional que encontrou e manipulou o equipamento radioativo.
- 2 Material radioativo envolvido no acidente de Goiânia
- 3 Um dos principais sintomas da exposição à radiação
- 4 Objeto de onde foi retirado o Césio-137
- 5 Local de onde o equipamento radioativo foi retirado indevidamente.

*Modelo de situação problema: Exemplo de pergunta de maneira indireta*

Algumas fases incluem dicas, enquanto outras não. Todas essas informações estão claramente especificadas no livro do mestre.

O livro do mestre também contém as respostas esperadas para auxiliar o professor ou quem estiver no papel de mestre. Além disso, ele inclui as consequências para respostas corretas e erradas.

**Consequências:**

Resposta esperada: Ao encontrar a resposta, vocês notam que sobre a mesa está um contador Geiger, um equipamento essencial para a jornada. Com ele, vocês poderão monitorar os níveis de radiação e garantir acesso seguro a determinados locais durante a exploração. Esse item será crucial para avançar com segurança na missão!

**Entregar ao aluno**



*Contador Geiger*

Resposta errada: Infelizmente, vocês erraram a resposta e não conseguiram encontrar um item essencial para ajudar na saída da ilha. Como consequência, 3 horas foram adicionadas ao tempo de vocês. É importante que tentem novamente, caso queiram, pois esse item será fundamental para a jornada de vocês.

#### **Dinâmica de outro local:**

Supondo que o local escolhido tenha sido a casa do Presidente e Diretor de Segurança da Usina, as dinâmicas do jogo já foram explicadas anteriormente, então algumas repetições serão evitadas. Os alunos já possuem o diário em mãos, conforme mencionado anteriormente

## **CASA - PRESIDENTE DIRETOR DE SEGU-**

## **RANÇA**

#### **Local com fase única**

#### **Diário do Cientista**

Carta escrita pela Diretora de segurança para o cientista.



Caro,

Recentemente, estive revisando os protocolos de segurança da usina nuclear e fiquei alarmado com alguns dos resultados que obtivemos. Durante os testes, percebemos que o sistema de contenção apresenta uma vulnerabilidade significativa em relação ao resfriamento do núcleo em caso de falha de energia.

A análise mostrou que, se o sistema de resfriamento falhar, a temperatura do núcleo pode aumentar rapidamente, levando a riscos de derretimento. Eu sugiro que implementemos um sistema de redundância para os geradores de emergência, além de um plano de evacuação para as áreas circunvizinhas.

Como você bem sabe, a segurança deve ser nossa prioridade máxima. Precisamos discutir isso em nossa próxima reunião e elaborar um relatório detalhado.

Atenciosamente,

Helena Almeida

### **Descrição do local- encontrado no livro do mestre.**

Por dentro, a mansão de dois andares, outrora luxuosa, está em ruínas. O hall de entrada, com um lustre de cristal quebrado e paredes rachadas, reflete o abandono. O chão de mármore e madeira está desgastado, e o grande piano de cauda na sala de estar repousa em silêncio, coberto de poeira. Móveis de couro rasgados e poltronas desfeitas sugerem um passado opulento. O piso de madeira, outrora impecável, está deformado e range sob qualquer movimento

A sala de jantar, ainda com pratos de porcelana fina e cadeiras de veludo tombadas, dá a sensação de que a família fugiu às pressas. Escadas largas e imponentes levam ao segundo andar, mas os degraus estão parcialmente quebrados, tornando a subida perigosa.

Nos quartos do segundo andar, camas desfeitas e roupas caras ainda penduradas evocam uma fuga abrupta. Uma grande varanda com portas de vidro oferece uma vista desoladora de um jardim outrora bem cuidado, agora tomado pela vegetação mutante e deformada.

Enquanto examinam alguns papéis espalhados pelo chão, vocês descobrem que o antigo morador da casa era um importante diretor de segurança em assuntos nucleares, que havia vindo à cidade para fiscalizar o funcionamento da usina. Além disso, ele estava estudando um outro acidente que já havia ocorrido.



Como já mencionado, assim que os alunos escolhem o local para visitar, eles consultam o diário do cientista. Em seguida, o mestre lê a descrição do ambiente e, logo após, apresenta o contexto da fase, finalizando com a entrega da pergunta aos alunos.

**Contexto:** Após encontrarem a carta, vocês veem sobre a mesa de jantar uma possível resposta do Diretor, explicando vulnerabilidades da usina. Essas informações podem ajudar a resolver problemas em outros locais mencionados em um segundo diário, que pode ser acessado na seguinte situação: para abrir o diário e ver o que está escrito, é necessário descobrir a combinação. Lembrem-se que a combinação é formada por 3 letras — a primeira letra de cada resposta. Combinadas, essas letras abrem o diário.

### **Entregar ao grupo.**

#### **Pergunta**

1. Qual é a partícula subatômica que não tem carga elétrica e reside no núcleo do átomo?
2. Qual é o processo pelo qual um núcleo instável libera energia na forma de radiação?
3. Como se chama a força responsável por manter os núcleos atômicos unidos?

Qual a combinação do cadeado?

#### **Resposta:**

1. Pergunta 1: Qual é a partícula subatômica que não tem carga elétrica e reside no núcleo do átomo.

Resposta: Nêutron (letra Inicial: N)

2. Pergunta 2: Qual é o processo pelo qual um núcleo instável libera energia na forma de radiação?

Resposta: Fissão (letra inicial: F)

3. Pergunta 3: Como se chama a força responsável por manter os núcleos atômicos unidos?

Resposta: Nuclear (letra inicial: N)

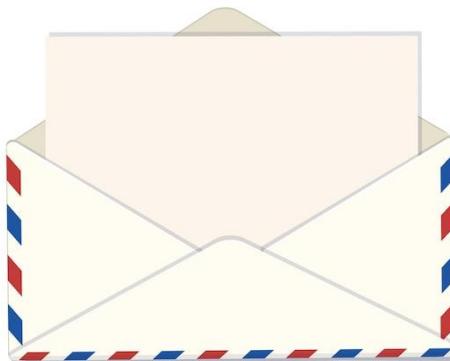
**Combinação do cadeado: NFN**



**Consequência:**

**Resposta esperada:** Ao abrir o diário do diretor, vocês encontram uma carta enviada entre os cientistas que trabalhavam na usina. Essa carta revela detalhes importantes sobre a principal falha que pode ter causado o acidente.

**Entregar ao grupo**



*Carta- diretora de segurança*

Qual é a principal vulnerabilidade mencionada pela Dr em relação ao sistema de segurança da usina nuclear e qual solução ela sugere?

A principal vulnerabilidade mencionada pelo cientista é a falha do sistema de resfriamento do núcleo, que pode levar ao aumento rápido da temperatura e risco de derretimento. Ela sugere a implementação de um sistema de redundância para os geradores de emergência e um plano de evacuação para as áreas circunvizinhas.

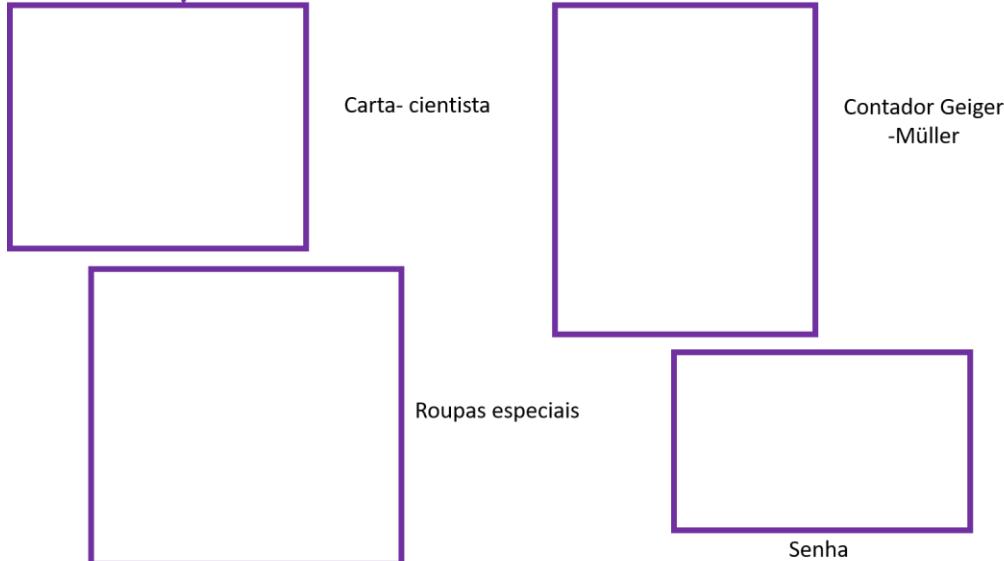
Tal falha pode ter sido a responsável pelo acidente nuclear, lembrando que usinas costumam ser seguras.

**Resposta errada:** Infelizmente, vocês não conseguiram abrir o diário do Diretor de Segurança. Como resultado, não tiveram acesso à resposta de que precisavam, apesar de terem perdido tempo tentando. Por isso, 3 horas foram adicionadas ao tempo de vocês.

Quando os alunos decidem ir até a usina, eles recebem um mapa que devem preencher com as informações e itens adquiridos nos outros locais. Se não conseguirem completar o mapa, precisarão retornar a esses locais para obter os itens necessários antes de prosseguir.



## *Requisitos de Entrada - Usina*



*Exemplo de Elementos Extras*

Algumas perguntas, diferentemente das anteriores, são feitas de forma direta por meio de cartas. Além disso, algumas consequências, como bônus, também são apresentadas através dessas cartas, conforme mostrado abaixo. O mestre também utiliza uma tabela para registrar os tempos adicionados ou perdidos, as respostas corretas e erradas, entre outras informações essenciais para o andamento do jogo.



*Exemplo de pergunta de maneira direta*



### Carta consequência

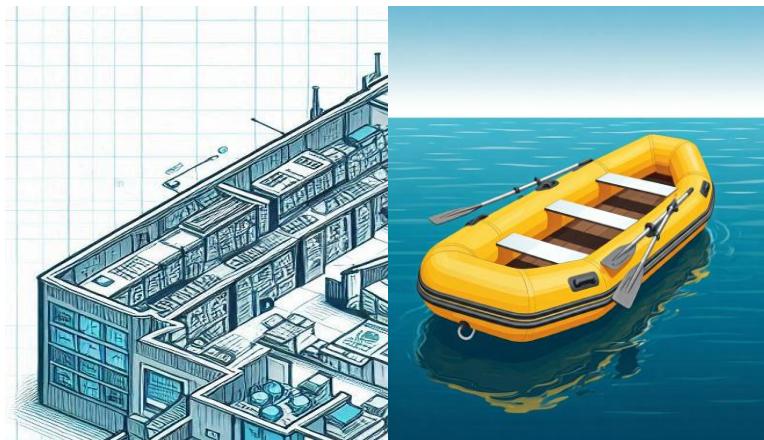
The illustration on the left shows a detailed atomic model with a central nucleus and three elliptical orbits. The card on the right has a blue border and contains the text 'Carta Curinga' in blue, with a small radiation symbol icon above it. Below the title is a blue text box containing the following text:

*Substitui qualquer item necessário para acessar a usina ou reduz até 5 horas do tempo total do grupo.*

*Carta consequência positiva: Carta Curinga*

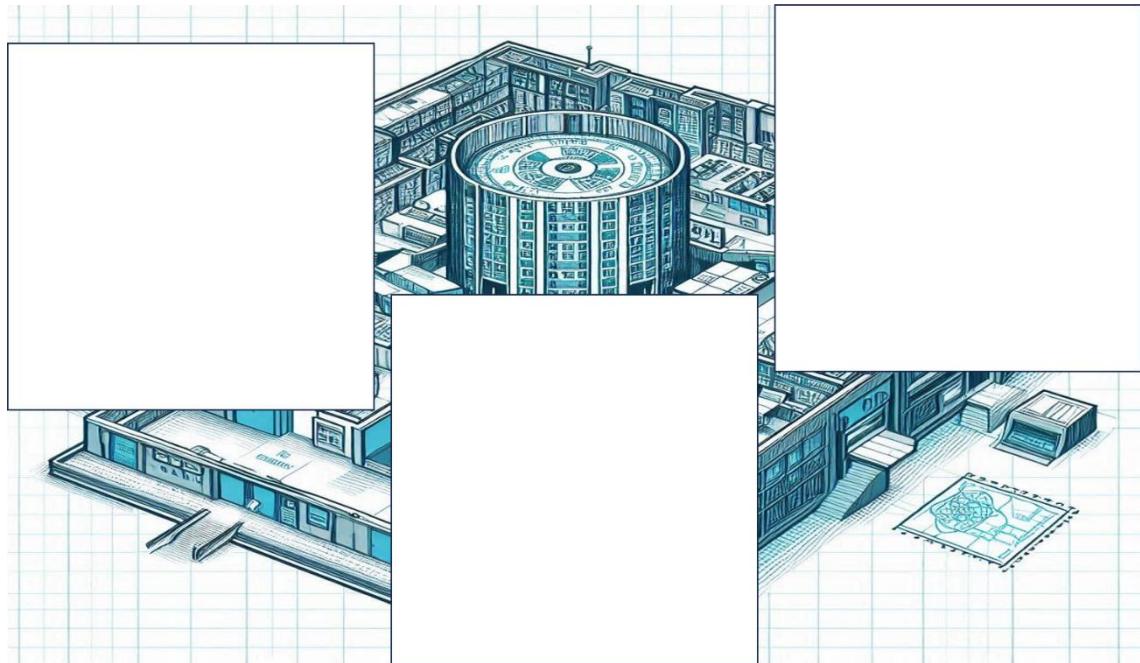
Caso seja necessário, deixarei mais algumas fases a seguir. No entanto, com o que foi apresentado anteriormente, já é possível compreender a aplicação do jogo e seu funcionamento.

Abaixo, há um exemplo de uma consequência representada por uma carta dupla. Nesse caso, o grupo recebeu como consequência um bote, que pode ser fundamental para escapar da ilha. No verso da carta, há um dos itens que completa o mapa de saída, essencial para encontrar o caminho definitivo para a fuga.





## Mapa de saída - emergência



*O Mapa de Saída – Emergência- incompleto*



## APÊNDICE B

### 1.1. Questionário de Validação do Jogo Educativo sobre Física Nuclear e das radiações

Prezado professor (a)

Este questionário tem como objetivo avaliar a eficácia do jogo educativo aplicado ao ensino de Física Nuclear no Ensino Médio. Sua opinião é essencial para validar e aprimorar o material, garantindo que ele seja uma ferramenta eficaz no processo de ensino-aprendizagem.

As respostas a seguir devem ser fornecidas com base em sua experiência como professor, considerando que o jogo ainda não foi aplicado diretamente aos seus alunos. Dessa forma, sua análise será fundamentada em sua vivência em sala de aula, no conhecimento sobre as necessidades e dificuldades dos estudantes e na sua percepção sobre a eficácia de recursos educativos semelhantes

#### Informações básicas:

- Nome (opcional): \_\_\_\_\_
- Disciplina lecionada: \_\_\_\_\_

#### 1. Aspectos Pedagógicos

1.1 O jogo está alinhado aos conteúdos curriculares de Física Nuclear para o ensino médio?

- ( ) Sim, totalmente
- ( ) Parcialmente
- ( ) Não

1.2 O jogo contribui para a compreensão dos conceitos fundamentais da Física Nuclear (exemplo: radioatividade, decaimento, reações nucleares, entre outros)?

- ( ) Sim, de forma clara e eficaz
- ( ) Sim, mas precisa ser aprimorado
- ( ) Não contribui

1.3 O jogo estimula o pensamento crítico e a aplicação dos conceitos físicos em diferentes contextos?



- ( ) Sim, significativamente
- ( ) Parcialmente
- ( ) Não

1.4 A linguagem e os conteúdos do jogo são adequados ao nível dos alunos do Ensino Médio?

- ( ) Sim
- ( ) Parcialmente, alguns ajustes são necessários
- ( ) Não

## **2. Dinâmica e Jogabilidade**

2.1 Você acredita que a mecânica do jogo é intuitiva e de fácil compreensão para os alunos?

- ( ) Sim, os alunos compreendem rapidamente
- ( ) Parcialmente, há necessidade de explicações adicionais
- ( ) Não, a mecânica é complexa e confusa

2.2 Você considera que jogo mantém os alunos engajados e motivados durante a atividade?

- ( ) Sim, os alunos se envolvemativamente
- ( ) Parcialmente, uma parte significativa não se envolve
- ( ) Não, a maioria não se envolve

2.3 Há um equilíbrio adequado entre desafios e acessibilidade no jogo?

- ( ) Sim, o nível de dificuldade é apropriado
- ( ) Parcialmente, alguns ajustes são necessários
- ( ) Não, o jogo é muito difícil/fácil

## **3. Impacto no Aprendizado**

3.1 você acredita que após jogar, os alunos irão demonstrar maior interesse pelo tema da Física Nuclear?

- ( ) Sim, haveria um aumento significativo no interesse
- ( ) Parcialmente, alguns alunos se interessariam mais



- ( ) Não, o jogo não influenciaria o interesse

3.2 O jogo pode ser usado como uma ferramenta complementar eficaz no ensino de Física Nuclear?

- ( ) Sim, é uma excelente ferramenta
- ( ) Sim, mas precisa de ajustes
- ( ) Não é um método eficaz

#### **4. Sugestões e Comentários**

4.1 O que você destacaria como o maior ponto positivo do jogo?

4.2 Quais aspectos poderiam ser melhorados?

4.3 Você recomendaria o uso deste jogo para outros professores? Por quê?

#### **5. Aspectos Físicos do Jogo**

5.1 O jogo apresenta um design visual atraente e adequado para os alunos do ensino médio?

- ( ) Sim, o design é envolvente e bem elaborado
- ( ) Parcialmente, poderia ter melhorias visuais
- ( ) Não, o design é pouco atrativo

5.2 Os materiais físicos do jogo (peças, tabuleiro, cartas etc.) são de boa qualidade e adequados para uso em sala de aula?

- ( ) Sim, os materiais são resistentes e bem produzidos
- ( ) Parcialmente, alguns elementos precisam ser melhorados
- ( ) Não, a qualidade dos materiais é insuficiente

5.3 O jogo é acessível e fácil de manusear para os alunos?

- ( ) Sim, os alunos conseguem utilizar sem dificuldades
- ( ) Parcialmente, há pequenos desafios na utilização
- ( ) Não, os alunos têm dificuldade em lidar com o jogo

5.4 O espaço físico necessário para jogar é adequado ao ambiente escolar?



- ( ) Sim, é facilmente adaptável à sala de aula
- ( ) Parcialmente, necessita de ajustes no espaço
- ( ) Não, o espaço exigido dificulta sua aplicação

## **6. Eficácia do Jogo no Ensino da Física Nuclear**

6.1 O jogo consegue representar de forma fiel os conceitos da Física Nuclear?

- ( ) Sim, de maneira clara e precisa
- ( ) Parcialmente, alguns conceitos poderiam ser melhor abordados
- ( ) Não, há falhas conceituais na explicação dos conteúdos

6.2 O jogo permite que os alunos façam conexões entre o conteúdo teórico e suas aplicações no mundo real?

- ( ) Sim, os alunos compreendem melhor as aplicações práticas
- ( ) Parcialmente, algumas conexões ainda não ficam claras
- ( ) Não, o jogo não estabelece uma relação concreta com a realidade

6.3 A abordagem do jogo é eficaz para introduzir e fixar conceitos complexos da Física Nuclear?

- ( ) Sim, facilita a compreensão e retenção do conhecimento
- ( ) Parcialmente, mas requer complementação com outras metodologias
- ( ) Não, não substitui métodos tradicionais de ensino

6.4 Você acredita que a dinâmica do jogo ajuda a promover a interação e o trabalho em equipe entre os alunos?

- ( ) Sim, incentiva a colaboração e a troca de conhecimento
- ( ) Parcialmente, poderia estimular mais a interação
- ( ) Não, o jogo é mais individual e não incentiva o trabalho em equipe

6.5 O tempo de jogo é adequado para sua aplicação dentro da carga horária escolar?

- ( ) Sim, pode ser aplicado sem comprometer outras atividades
- ( ) Parcialmente, pode ser necessário dividir em mais de uma aula
- ( ) Não, o tempo de jogo é muito longo ou muito curto

6.6 Você acredita que o jogo poderia substituir ou complementar outras formas de ensino da Física Nuclear?



- ( ) Sim, poderia até substituir algumas abordagens tradicionais
- ( ) Sim, mas deve ser utilizado como complemento ao ensino tradicional
- ( ) Não, ele não é suficientemente eficaz como ferramenta de ensino

## 7. Avaliação do Mapa do Jogo

7.1 O mapa do jogo é visualmente atraente e compreensível para os alunos?

- ( ) Sim, é bem elaborado e de fácil entendimento
- ( ) Parcialmente, alguns elementos poderiam ser mais claros
- ( ) Não, o mapa é confuso e pouco intuitivo

7.2 O mapa representa adequadamente o contexto do jogo e está alinhado com os conceitos de Física Nuclear abordados?

- ( ) Sim, os locais são coerentes com a temática do jogo
- ( ) Parcialmente, alguns locais poderiam ser melhor contextualizados
- ( ) Não, os locais não parecem ter relação com Física Nuclear

7.3 O tamanho do mapa e a disposição dos elementos favorecem a jogabilidade?

- ( ) Sim, o mapa é bem estruturado e facilita o jogo
- ( ) Parcialmente, poderia ser ajustado para melhor fluidez
- ( ) Não, o mapa atrapalha a dinâmica do jogo

7.4 Os jogadores conseguem navegar pelo mapa de forma intuitiva e lógica?

- ( ) Sim, a movimentação e a exploração fazem sentido
- ( ) Parcialmente, há momentos em que fica confuso
- ( ) Não, a navegação pelo mapa é difícil de entender

## 8. Avaliação das Cartas do Jogo

8.1 As cartas do jogo são bem elaboradas e visualmente atrativas?

- ( ) Sim, possuem um design claro e chamativo
- ( ) Parcialmente, algumas informações poderiam ser mais destacadas
- ( ) Não, as cartas são confusas ou pouco atrativas

8.2 As informações contidas nas cartas são coerentes com o tema do jogo e auxiliam no aprendizado da Física Nuclear?



- ( ) Sim, todas as informações são relevantes e bem contextualizadas
- ( ) Parcialmente, algumas cartas poderiam ser mais explicativas
- ( ) Não, as cartas não contribuem significativamente para o aprendizado

8.3 As instruções presentes nas cartas são fáceis de entender e aplicar durante o jogo?

- ( ) Sim, as regras e instruções são claras
- ( ) Parcialmente, alguns trechos poderiam ser mais explicativos
- ( ) Não, as regras são confusas ou difíceis de seguir

8.4 A variedade de cartas é suficiente para manter o jogo dinâmico e interessante?

- ( ) Sim, há diversidade e desafios que tornam o jogo envolvente
- ( ) Parcialmente, algumas cartas se repetem ou poderiam ser mais variadas
- ( ) Não, as cartas são muito repetitivas e tornam o jogo previsível

## **9. Avaliação das Situações Apresentadas no Jogo**

9.1 As situações apresentadas no jogo são realistas e condizem com os conceitos de Física Nuclear?

- ( ) Sim, são bem elaboradas e realistas dentro do tema
- ( ) Parcialmente, algumas situações poderiam ser melhor embasadas científicamente
- ( ) Não, algumas situações são pouco coerentes com a Física Nuclear

9.2 As decisões que os jogadores devem tomar refletem dilemas reais envolvendo Física Nuclear?

- ( ) Sim, os desafios apresentados são realistas e envolvem tomada de decisão crítica
- ( ) Parcialmente, alguns dilemas poderiam ser mais bem explorados
- ( ) Não, as situações não exigem raciocínio ou aplicação de conhecimento científico

9.3 As consequências das escolhas feitas pelos jogadores são bem definidas e fazem sentido dentro da lógica do jogo?

- ( ) Sim, as consequências são bem estruturadas e coerentes
- ( ) Parcialmente, algumas escolhas poderiam ter impactos mais claros
- ( ) Não, as consequências parecem aleatórias e desconectadas da realidade

9.4 O nível de dificuldade das situações apresentadas é adequado ao conhecimento dos alunos do ensino médio?



- ( ) Sim, está bem equilibrado e desafiador na medida certa
- ( ) Parcialmente, algumas situações são muito fáceis/difíceis
- ( ) Não, o nível de dificuldade não é adequado para os alunos

## **10. Avaliação das Imagens Utilizadas no Jogo**

10.1 O uso de imagens no jogo contribui para a imersão dos jogadores na temática proposta?

- ( ) Sim, as imagens tornam a experiência mais envolvente
- ( ) Parcialmente, algumas imagens não combinam com a proposta
- ( ) Não, as imagens não impactam na experiência do jogo

10.2 O contraste e a legibilidade das imagens são adequados para que os alunos compreendam bem os elementos visuais do jogo?

- ( ) Sim, a qualidade visual é excelente
- ( ) Parcialmente, algumas imagens poderiam ter melhor contraste ou nitidez
- ( ) Não, algumas imagens são confusas ou difíceis de visualizar

## **11. Avaliação da Descrição dos Locais no Jogo**

11.1 A descrição dos locais do jogo é clara e fornece informações suficientes para contextualizar os jogadores?

- ( ) Sim, a ambientação está bem detalhada
- ( ) Parcialmente, algumas descrições poderiam ser mais elaboradas
- ( ) Não, as descrições são vagas e pouco informativas

11.2 Os locais apresentados no jogo condizem com a temática da Física Nuclear?

- ( ) Sim, são bem escolhidos e relevantes para o tema
- ( ) Parcialmente, alguns locais poderiam ser melhor justificados cientificamente
- ( ) Não, alguns locais não parecem ter relação com Física Nuclear

11.3 Os locais possuem um nível adequado de detalhamento para tornar o jogo mais envolvente?

- ( ) Sim, o nível de detalhes é suficiente para imersão
- ( ) Parcialmente, algumas descrições poderiam ser mais ricas

- ( ) Não, os locais são muito genéricos e pouco envolventes

## 12. Avaliação do Diário do Cientista

12.1 O Diário do Cientista é um recurso útil para auxiliar os alunos na compreensão dos conceitos de Física Nuclear?

- ( ) Sim, ele fornece informações essenciais e de forma clara
- ( ) Parcialmente, algumas partes poderiam ser mais explicativas
- ( ) Não, ele não é muito útil para o entendimento do conteúdo

12.2 O conteúdo do diário está bem escrito e de fácil compreensão para alunos do ensino médio?

- ( ) Sim, a linguagem é acessível e bem estruturada
- ( ) Parcialmente, alguns trechos são confusos ou técnicos demais
- ( ) Não, a linguagem é difícil e pode prejudicar o aprendizado

12.3 O Diário do Cientista apresenta explicações científicas corretas e alinhadas com o currículo de Física do ensino médio?

- ( ) Sim, os conceitos apresentados estão corretos e bem alinhados
- ( ) Parcialmente, há algumas explicações que poderiam ser revisadas
- ( ) Não, alguns conceitos não estão corretos ou são mal explicados

12.4 O diário ajuda os alunos a resolver desafios e tomar decisões no jogo?

- ( ) Sim, ele fornece informações que auxiliam diretamente nas escolhas
- ( ) Parcialmente, mas poderia oferecer dicas mais aplicáveis ao jogo
- ( ) Não, ele não contribui significativamente para a tomada de decisões

12.5 A forma como o diário apresenta os conceitos, é eficiente para o aprendizado?

- ( ) Sim, o diário usa recursos variados que facilitam a compreensão
- ( ) Parcialmente, poderia ter mais imagens, esquemas ou exemplos práticos
- ( ) Não, a apresentação do conteúdo não é eficaz para os alunos

12.6 O diário poderia ser aprimorado com recursos extras, como vídeos, animações ou interatividade digital?

- ( ) Sim, recursos multimídia tornariam a experiência mais rica
- ( ) Parcialmente, mas a versão atual já é bem funcional
- ( ) Não, o formato textual é suficiente para o propósito do jogo

# Além do Reator

## Desafios na Cidade Radioativa

Tábatha Cristina de Amorim Ferreira Sampaio

Cláudio Maia Porto

Francisco Antônio Lopes Laudares



PPGEduCIMAT

**Apresentação**

**do**

**Jogo Didático**

## **Apresentação do Jogo Didático – Além do Reator**

Nesse capítulo, a primeira parte oferece um resumo conciso para consulta rápida durante o jogo, enquanto a segunda parte apresenta uma explicação mais detalhada, proporcionando uma compreensão aprofundada dos elementos abordados.

### **Introdução**

🎲 Além do reator - Desafios na Cidade Radioativa é um jogo de tabuleiro educativo desenvolvido para auxiliar no ensino de Física Nuclear de forma dinâmica e interativa. Criado para envolver os alunos em uma experiência imersiva, o jogo os coloca no papel de exploradores que, após um problema em sua embarcação, acabam presos em uma ilha contaminada por radiação. Seu objetivo é escapar da ilha em um tempo fictício de 24 horas dentro do jogo, enfrentando desafios e tomando decisões estratégicas baseadas em conceitos científicos.

### **Objetivo Pedagógico**

O jogo foi elaborado para complementar o ensino de Física Nuclear no Ensino Médio, promovendo o aprendizado através de situações-problema, raciocínio lógico e trabalho em equipe. Ele proporciona:

- ✓ Aprendizado ativo e envolvente;
- ✓ Desenvolvimento do pensamento crítico e da tomada de decisões;
- ✓ Integração de conceitos científicos a um cenário prático e lúdico;
- ✓ Trabalho em equipe e gestão de recursos.

### **Como Funciona o Jogo?**

- 📌 1. Escolha do Local – Os jogadores escolhem um local para explorar no tabuleiro. Cada local tem uma descrição específica, que é lida pelo Mestre (moderador do jogo).
- 📌 2. Definição da Fase – O Mestre informa quantas fases estão disponíveis no local escolhido e os jogadores decidem qual fase querem jogar.
- 📌 3. Leitura do Contexto – O Mestre lê a situação-problema referente à fase escolhida.

- 👉 4. Resolução da Fase – Os jogadores tentam resolver a questão apresentada, utilizando o diário de um cientista como fonte de apoio.
- 👉 5. Registro de Consequências – O Mestre registra se os jogadores ganharam ou perderam horas no tempo fictício do jogo. Se houver outras consequências, como aquisição de itens ou pistas, o Mestre também as entrega.
- 👉 6. Continuação do Jogo – O grupo segue explorando outros locais e enfrentando desafios até encontrar a saída da ilha dentro do tempo limite.

### Papel do Professor (Mestre)

O professor (Mestre) assume o papel de facilitador e pode personalizar a experiência do jogo, determinando:

- ⌚ O tempo real da partida (recomendado: 1h30);
- 👤 O número de jogadores por grupo (indicado: 3 a 6 jogadores + Mestre);
- 💡 Se haverá um vencedor (opcional – pode-se premiar o grupo que conseguir escapar com menos horas acumuladas);
- 💡 O nível de dificuldade e o número de desafios opcionais.

### Elementos do Jogo

- 👉 Mestre: Responsável por narrar, orientar e registrar o progresso do jogo.
- 👉 Diário do Cientista: Fonte de informações e pistas para ajudar os jogadores a resolverem as questões.
- 👉 Cartas de Perguntas: Com desafios variados (Verdadeiro ou Falso, Palavras Cruzadas, Preenchimento de Tabelas, etc.).
- 👉 Perguntas Desafio: Questões mais difíceis que oferecem grandes vantagens, mas não são obrigatórias.

💡 Mapa da Ilha: Indica os locais a serem explorados, sendo necessário passar por algumas fases antes de alcançar a saída.

## Conclusão

Além do reator é uma ferramenta inovadora para tornar o ensino de Física Nuclear mais atrativo e dinâmico. Ele pode ser facilmente adaptado à realidade de cada turma, incentivando os alunos a aplicarem o conhecimento de maneira prática e colaborativa.

# Apresentação do jogo estendida

Este jogo foi desenvolvido com o objetivo de aprimorar o ensino de física nuclear nas escolas, servindo como um recurso complementar para os professores. A ideia central é que os alunos estudem previamente para poder jogar e vencer com base em seus conhecimentos, tornando o aprendizado mais dinâmico e envolvente. Dessa forma, espera-se que os alunos adquiram um conhecimento prévio antes de utilizar o jogo, incentivando um estudo mais ativo e participativo.

A estratégia de aplicação fica a critério do professor, que pode adaptá-la conforme as necessidades da turma. Ele pode orientar diretamente quais conceitos devem ser estudados, permitir que os alunos realizem pesquisas independentes, disponibilizar uma apostila didática ou até mesmo dedicar uma aula exclusivamente para esclarecer dúvidas após a fase de pesquisa dos alunos. Essa flexibilidade permite que o jogo se adeque ao estilo de ensino e ao ritmo de cada grupo.

Além disso, o jogo foi projetado para se adaptar ao tempo disponível em aula, ao nível de dificuldade das turmas e, principalmente, para poder ser jogado novamente garantindo uma experiência enriquecedora e dinâmica a cada partida.

O jogo desenvolvido é um jogo de tabuleiro, que incorpora abordagens de outros tipos de jogos, como, por exemplo, o RPG (Role Playing Game), no qual a descrição de ambientes é utilizada para proporcionar uma imersão mais profunda aos alunos.

Além disso, o jogo envolve diretamente o mestre, que pode ser o professor ou outra pessoa responsável pela orientação da partida, o que é outra característica encontrada dentro do RPG. Ele inclui também cartas que são responsáveis pelo direcionamento da partida.

A composição do jogo é reunida em um kit que engloba todos os materiais essenciais, abrangendo uma variedade de elementos, como um tabuleiro, cartas, e um diário de bordo para fornecer orientação completa durante o jogo. Além do livro do mestre e um livro de regras.

O jogo consiste em uma situação na qual os alunos, durante uma viagem escolar após um acidente, encontram-se em uma região específica, mais precisamente em uma ilha contaminada por elementos radioativos originados de um acidente em uma usina nuclear e de outros experimentos conduzidos no local. A região é minuciosamente caracterizada, apresentando diversos

cenários nos quais os jogadores enfrentam obstáculos e desafios, assim exigindo que explorem a ilha em busca de soluções.

A cidade é uma cidade fictícia incluindo situações reais e não reais para assim facilitar na hora da elaboração das situações encontradas.

Nesse contexto, o objetivo central dos participantes é encontrar uma maneira de deixar a ilha. Para alcançar essa meta, os jogadores devem aplicar seus conhecimentos sobre física nuclear para resolver os enigmas propostos e avançar nas chamadas fases. Cada fase representa um local específico da cidade, abordando conceitos diversos. Para direcionar os jogadores, eles terão em mãos um diário de um cientista que trabalhava na usina. Através dessas anotações, os jogadores terão as informações necessárias para adquirir e consolidar seus conhecimentos.

A progressão ocorre a partir do desenrolar de situações apresentadas por meio de perguntas. É importante destacar que essas chamadas "perguntas" podem ser feitas de forma direta ou indireta. Na verdade, o que existe são situações-problema apresentadas aos alunos, que podem aparecer em forma de perguntas ou de maneiras alternativas, como palavras cruzadas, atividades de verdadeiro ou falso, montagem de tabelas, entre outros.

O jogo é composto por locais específicos no mapa, conforme já mencionado, e a progressão das fases ocorre por meio de perguntas. Ele conta com 14 locais que podem ser explorados, abrangendo um total de 30 fases, que os jogadores podem escolher passar ou não. No entanto, apenas 9 dessas fases contêm itens essenciais para que os alunos possam concluir o jogo.

Essa estrutura tem o objetivo de tornar o jogo dinâmico e não linear ("fechado") ou seja, cada partida é única, dependendo das escolhas feitas pelos alunos. Eles podem jogar várias vezes, explorando locais diferentes e, consequentemente, vivenciando situações distintas a cada nova experiência.

Além disso, o professor tem total conhecimento das nove fases que os jogadores precisam completar. Caso o tempo de aula esteja se esgotando, ele pode direcionar os alunos para essas fases específicas, garantindo que os conteúdos essenciais sejam abordados. Embora essa abordagem possa reduzir a dinâmica do jogo, o principal objetivo, que é o aprendizado didático, permanece intacto

Outro aspecto é que o jogo trabalha com duas categorias de tempo: o "tempo do jogo" e o "tempo real". Dessa forma, além do objetivo principal de escapar da ilha, há uma contagem

regressiva que representa o avanço do *tempo do jogo*. Devido ao elevado nível de contaminação no local, os alunos têm um período limitado para evacuar a ilha, ou seja, "sair da ilha". Esse tempo foi definido como o *tempo do jogo*, que começa em 0 horas e pode chegar até um máximo de 24 horas. Essas 24h fictícias corresponde ao tempo que os jogadores têm para concluir a missão. Esse período é contabilizado com base nas ações realizadas e nas consequências enfrentadas pelos alunos durante a partida. Se esse tempo se esgotar antes da conclusão dos objetivos, os jogadores perdem o jogo.

Essas horas fictícias podem ser adicionadas ou reduzidas de diferentes maneiras. Elas diminuem como recompensa por respostas corretas e aumentam como consequência de respostas erradas. Além disso, o uso de dicas também pode influenciar o tempo, tornando a gestão dessas horas um elemento estratégico dentro do jogo.

Outro aspecto importante é que o jogo foi cuidadosamente planejado para incentivar os alunos a buscar ativamente o conhecimento e adquirir novos aprendizados ao longo da experiência. Em cada fase, alguns locais oferecem dicas que adicionam 2 horas ao tempo total do jogo, enquanto respostas erradas resultam em um acréscimo de 3 horas. Essa mecânica incentiva os alunos a refletirem antes de responder, promovendo a construção do conhecimento em vez de simplesmente "chutar" as respostas.

Já o *tempo da partida* refere-se ao tempo real, com duração de 90 minutos. Caso esse limite seja alcançado sem que os jogadores tenham cumprido suas metas, considera-se que perderam a partida também. Essa estrutura permite ao professor controlar a duração do jogo de forma eficiente. No entanto, o tempo da partida não é um limite rígido. Se o professor dispuser de mais tempo ou desejar proporcionar uma imersão maior, ou ainda incluir dinâmicas diferentes, é possível ajustar a duração de acordo com as necessidades da turma.

O jogo foi desenvolvido para ser totalmente ajustável às necessidades da turma e do professor. Dessa forma, as perguntas podem ser modificadas conforme necessário, além das perguntas extras que já estão disponíveis. O professor também tem a liberdade de inserir novas questões durante o jogo, tornando a experiência ainda mais personalizada e adequada ao contexto da aula.

Recomenda-se que o jogo seja realizado em grupos de 3 a 6 participantes, além do mestre. Esse número, no entanto, não é fixo. Para uma melhor integração entre os alunos, sugere-se um mínimo de 3 participantes, enquanto o limite de 6 pessoas visa facilitar a organização e garantir

que todos possam contribuir de forma significativa durante a partida. No entanto, caso o professor deseje incluir mais participantes, a dinâmica do jogo não será prejudicada.

O único local onde os jogadores não podem acessar diretamente é a usina. Para entrar nela, é necessário obter itens essenciais, que são adquiridos ao longo da partida. Esses itens são conquistados por meio das consequências geradas pelas respostas corretas, incentivando os jogadores a explorarem e aprenderem antes de avançar.

### **Vamos jogar para facilitar o entendimento?**

Mapa da cidade



Primeiro, os alunos devem escolher um local para visitar. Supondo que decidam ir à casa do Cientista 2, eles terão acesso ao diário do cientista. Esse diário fica com os alunos, permitindo consulta direta. As anotações registradas nele sempre estarão relacionadas à pergunta feita, auxiliando na construção do raciocínio e na tomada de decisões durante o jogo, e principalmente trazendo informações e conceitos novos aos alunos.

### Diário do Cientista

Esse é um estudo enviado ao cientista sobre um acidente que aconteceu no Brasil.

O acidente de Goiânia ocorreu em 13 de setembro de 1987 e é considerado um dos piores acidentes radioativos da história. Ele aconteceu quando dois catadores de sucata encontraram um aparelho de radioterapia abandonado em uma clínica desativada no centro de Goiânia, Goiás. O aparelho continha Césio-137, uma substância altamente radioativa. Os catadores abriram o equipamento e, fascinados pela substância que brilhava no escuro, levaram parte do material para casa. Isso resultou em contaminação radioativa em várias áreas da cidade. O acidente levou à morte de quatro pessoas, à contaminação de centenas e à evacuação de áreas afetadas. Mais de 100 mil pessoas foram monitoradas, e várias casas e objetos tiveram que ser destruídos ou descontaminados.

#### Como foi feita a descontaminação após o acidente de Goiânia?

Após o acidente de Goiânia, uma grande operação de descontaminação foi iniciada. Equipamentos e especialistas do Brasil e de outros países foram mobilizados. Muitas casas e prédios tiveram que ser destruídos porque a radiação havia se infiltrado em paredes, móveis e objetos. O solo de áreas contaminadas foi removido e enterrado em locais controlados. Pessoas contaminadas foram isoladas e tratadas, e seus pertences pessoais, incluindo roupas e utensílios, foram incinerados ou descartados. A descontaminação foi difícil, pois a radiação do Césio-137 pode ser persistente e difícil de remover completamente. O acidente resultou na geração de toneladas de lixo radioativo, que foi armazenado em locais seguros.

No acidente, muitas vítimas sofreram envenenamento por radiação devido ao manuseio inadequado do material radioativo e à falta de conhecimento sobre os perigos do Césio-137.

Assim que os alunos escolhem o local, o mestre lê para eles a descrição correspondente, que está disponível no livro do mestre. No caso de escolherem a casa do Cientista 2, a descrição a ser lida é a seguinte:

A casa modesta, agora esquecida e coberta, está em ruínas após anos de abandono. O telhado está cedendo, com telhas caídas espalhadas pelo chão, e as paredes de madeira estão apodrecidas, manchadas por infiltração e radiação. As janelas, quebradas e sujas, deixam o vento frio assobiar pelos cômodos.

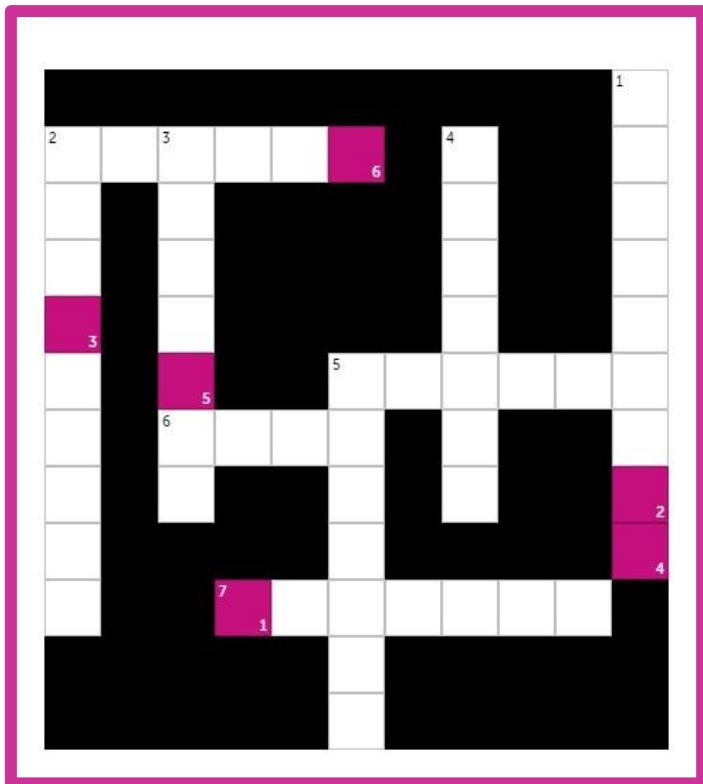
Na pequena sala de estar, móveis simples estão cobertos de poeira e desgastados pelo tempo. Uma mesa de madeira está tombada, com alguns pratos quebrados ao lado, e uma velha poltrona, rasgada e desbotada, repousa em um canto. Fotografias familiares desbotadas ainda estão penduradas, retratando um cotidiano interrompido de forma abrupta. No quarto, a cama de ferro está enferrujada, com lençóis amarelados e rasgados, e um único guarda-roupa permanece aberto, com roupas comuns ainda penduradas.

Após isso, o mestre informa quantas fases estão disponíveis para escolha. Em locais com mais de uma fase, cada uma é independente, permitindo que os alunos escolham quais responder. No caso em questão, o local possui apenas uma fase; assim, o mestre esclarece essa informação e prossegue para a resolução do problema proposto. Cada fase inclui um contexto seguido de uma pergunta.

A seguir o mestre lê o contexto e faz a entrega da pergunta:

**Contexto:** Assim que entram, vocês encontram no chão um papel que pode conter pistas importantes. O documento menciona um acidente que o cientista estava investigando; talvez o diário contenha mais informações sobre o acidente que ocorreu em Goiânia.

### Entregar ao grupo



1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

### **horizontal**

- 2 Doença causada pela exposição à radiação durante o acidente
- 5 Material no qual o Césio-137 estava encapsulado originalmente
- 6 Cor da substância radioativa que atraiu a atenção das vítimas
- 7 Cidade onde ocorreu o acidente radiológico no Brasil

### **vertical**

- 1 Grupo profissional que encontrou e manipulou o equipamento radioativo.
- 2 Material radioativo envolvido no acidente de Goiânia
- 3 Um dos principais sintomas da exposição à radiação
- 4 Objeto de onde foi retirado o Césio-137
- 5 Local de onde o equipamento radioativo foi retirado indevidamente.

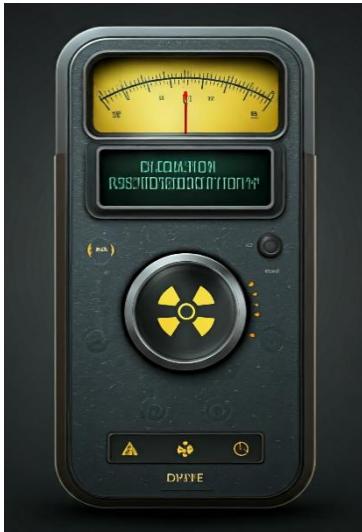
Algumas fases incluem dicas, enquanto outras não. Todas essas informações estão claramente especificadas no livro do mestre.

O livro do mestre também contém as respostas esperadas para auxiliar o professor ou quem estiver no papel de mestre. Além disso, ele inclui as consequências para respostas corretas e erradas.

### **Consequências:**

Resposta esperada: Ao encontrar a resposta, vocês notam que sobre a mesa está um contador Geiger, um equipamento essencial para a jornada. Com ele, vocês poderão monitorar os níveis de radiação e garantir acesso seguro a determinados locais durante a exploração. Esse item será crucial para avançar com segurança na missão!

### **Entregar ao aluno**



Resposta errada: Infelizmente, vocês erraram a resposta e não conseguiram encontrar um item essencial para ajudar na saída da ilha. Como consequência, 3 horas foram adicionadas ao tempo de vocês. É importante que tentem novamente, caso queiram, pois esse item será fundamental para a jornada de vocês.

#### Dinâmica de outro local:

Supondo que o local escolhido tenha sido a casa do Presidente e Diretor de Segurança da Usina, as dinâmicas do jogo já foram explicadas anteriormente, então algumas repetições serão evitadas. Os alunos já possuem o diário em mãos, conforme mencionado anteriormente

## CASA - DIRETOR DE SEGURANÇA

### Local com fase única

#### Diário do Cientista

“Carta escrita pela Diretora de segurança para o cientista.

Caro, recentemente, estive revisando os protocolos de segurança da usina nuclear e fiquei alarmado com alguns dos resultados que obtivemos. Durante os testes, percebemos que o sistema de contenção apresenta uma vulnerabilidade significativa em relação ao resfriamento do núcleo em caso de falha de energia. A análise revelou que, caso o sistema de resfriamento falhe, a

temperatura do núcleo do reator pode subir rapidamente, aumentando o risco de derretimento. Isso ocorre porque, sem resfriamento adequado, o calor gerado pelas reações nucleares continua se acumulando, podendo levar a um acidente grave.

Para evitar esse cenário, sugiro que adotemos um sistema de redundância para os geradores de emergência, garantindo que haja fontes alternativas de energia para manter o resfriamento. Além disso, é fundamental desenvolver um plano de evacuação para as áreas próximas, garantindo a segurança da população em caso de emergência.

A segurança deve ser nossa prioridade absoluta. Precisamos discutir esse assunto na próxima reunião e elaborar um relatório detalhado com as medidas necessárias para minimizar os riscos.

Atenciosamente,  
Helena Almeida”

### **Descrição do local- encontrado no livro do mestre.**

Por dentro, a mansão de dois andares, outrora luxuosa, está em ruínas. O hall de entrada, com um lustre de cristal quebrado e paredes rachadas, reflete o abandono. O chão de mármore e madeira está desgastado, e o grande piano de cauda na sala de estar repousa em silêncio, coberto de poeira. Móveis de couro rasgados e poltronas desfeitas sugerem um passado opulento. O piso de madeira, outrora impecável, está deformado e range sob qualquer movimento

A sala de jantar, ainda com pratos de porcelana fina e cadeiras de veludo tombadas, dá a sensação de que a família fugiu às pressas. Escadas largas e imponentes levam ao segundo andar, mas os degraus estão parcialmente quebrados, tornando a subida perigosa.

Nos quartos do segundo andar, camas desfeitas e roupas caras ainda penduradas evocam uma fuga abrupta. Uma grande varanda com portas de vidro oferece uma vista desoladora de um jardim outrora bem cuidado, agora tomado pela vegetação mutante e deformada.

Enquanto examinam alguns papéis espalhados pelo chão, vocês descobrem que o antigo morador da casa era um importante diretor de segurança em assuntos nucleares, que havia vindo à cidade para fiscalizar o funcionamento da usina. Além disso, ele estava estudando um outro acidente que já havia ocorrido.

Como já mencionado, assim que os alunos escolhem o local para visitar, eles consultam o diário do cientista. Em seguida, o mestre lê a descrição do ambiente e, logo após, apresenta o contexto da fase, finalizando com a entrega da pergunta aos alunos.

**Contexto:** Após encontrarem a carta, vocês veem sobre a mesa de jantar uma possível resposta do Diretor, explicando vulnerabilidades da usina. Essas informações podem ajudar a resolver problemas em outros locais mencionados em um segundo diário, que pode ser acessado na seguinte situação: para abrir o diário e ver o que está escrito, é necessário descobrir a combinação. Lembrem-se que a combinação é formada por 3 letras — a primeira letra de cada resposta. Combinadas, essas letras abrem o diário.

## Entregar ao grupo.

### Pergunta

1. Qual é a partícula subatômica que não tem carga elétrica e reside no núcleo do átomo?
2. Qual é o processo pelo qual um núcleo instável libera energia na forma de radiação?
3. Como se chama a força responsável por manter os núcleos atômicos unidos?

Qual a combinação do cadeado?

### Resposta:

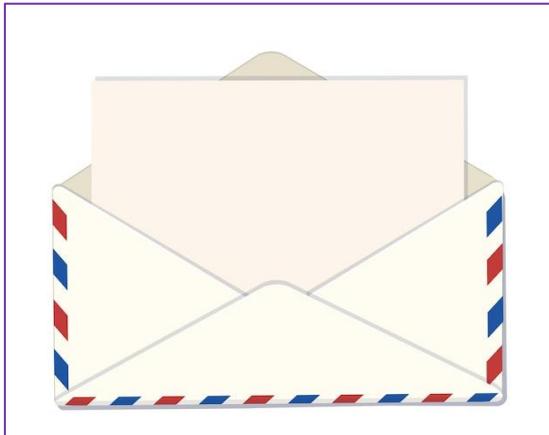
1. Pergunta 1: Qual é a partícula subatômica que não tem carga elétrica e reside no núcleo do átomo?  
Resposta: Nêutron (letra inicial: N)
2. Pergunta 2: Qual é o processo pelo qual um núcleo instável libera energia na forma de radiação?  
Resposta: Fissão (letra inicial: F)
3. Pergunta 3: Como se chama a força responsável por manter os núcleos atômicos unidos?  
Resposta: Força nuclear (letra inicial: F)

### Combinação do cadeado: NFF

### Consequência:

**Resposta esperada:** Ao abrir o diário do diretor, vocês encontram uma carta enviada entre os cientistas que trabalhavam na usina. Essa carta revela detalhes importantes sobre a principal falha que pode ter causado o acidente.

## Entregar ao grupo



“Qual é a principal vulnerabilidade mencionada pela Dra em relação ao sistema de segurança da usina nuclear e qual solução ela sugere?

A principal vulnerabilidade mencionada pelo cientista é a falha do sistema de resfriamento do núcleo, que pode levar ao aumento rápido da temperatura e risco de derretimento. Ela sugere a implementação de um sistema de redundância para os geradores de emergência e um plano de evacuação para as áreas circunvizinhas. No contexto de usinas nucleares, um sistema de redundância para os geradores de emergência significa ter múltiplas fontes de energia reserva. Isso é essencial porque, se o sistema de resfriamento falhar e não houver energia alternativa para mantê-lo funcionando, a temperatura do núcleo do reator pode aumentar rapidamente, levando ao risco de um derretimento nuclear.

Por exemplo, uma usina pode ter geradores a diesel e baterias de backup para garantir que o resfriamento do reator continue funcionando mesmo em caso de falha na rede elétrica principal.

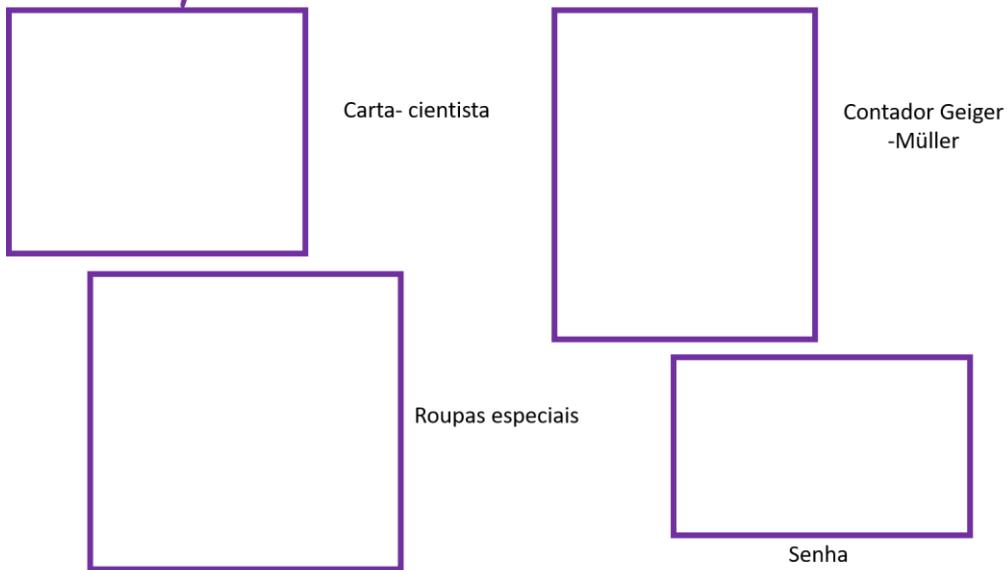
Isso é uma prática comum em engenharia de segurança, não só em usinas nucleares, mas também em aviões, hospitais, servidores de internet e sistemas industriais onde qualquer falha pode ter consequências graves.

Tal falha pode ter sido a responsável pelo acidente nuclear, lembrando que usinas costumam ser seguras. “

**Resposta errada:** Infelizmente, vocês não conseguiram abrir o diário do Diretor de Segurança. Como resultado, não tiveram acesso à resposta de que precisavam, apesar de terem perdido tempo tentando. Por isso, 3 horas foram adicionadas ao tempo de vocês.

Quando os alunos decidem ir até a usina, eles recebem um mapa que devem preencher com as informações e itens adquiridos nos outros locais. Se não conseguirem completar o mapa, precisarão retornar a esses locais para obter os itens necessários antes de prosseguir.

## Requisitos de Entrada - Usina



Algumas perguntas, diferentemente das anteriores, são feitas de forma direta por meio de cartas. Além disso, algumas consequências, como bônus, também são apresentadas através dessas cartas, conforme mostrado abaixo. O mestre também utiliza uma tabela para registrar os tempos adicionados ou perdidos, as respostas corretas e erradas, entre outras informações essenciais para o andamento do jogo.



### 14 USINA

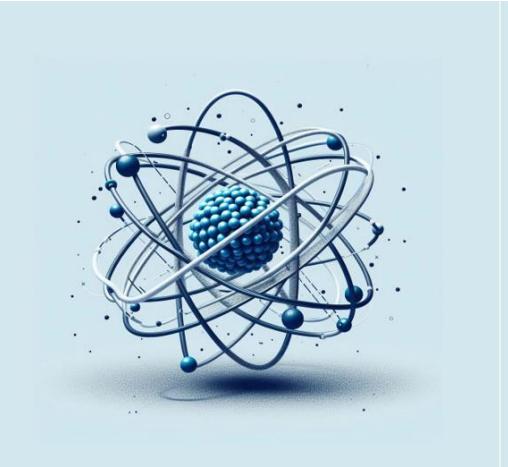
**Pergunta:** Um contador Geiger detecta 500 partículas por segundo em uma amostra. Se a atividade dessa amostra decai exponencialmente com uma meia-vida de 5 minutos, quantas partículas serão detectadas por segundo após 15 minutos?

### 1 CASA DO CIENTISTA 1

**Pergunta:** Com base no conhecimento sobre meia-vida, vocês devem decidir se pegam a chave ou não, sabendo que o local pode estar abandonado há pelo menos 15 anos.



### Carta consequência

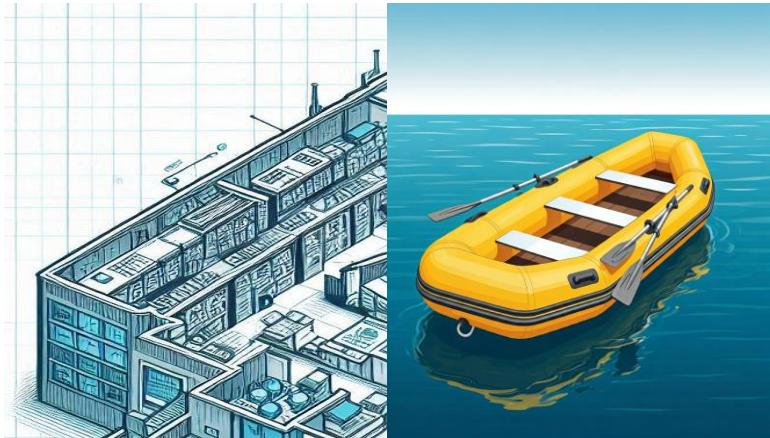


**Carta Curinga**

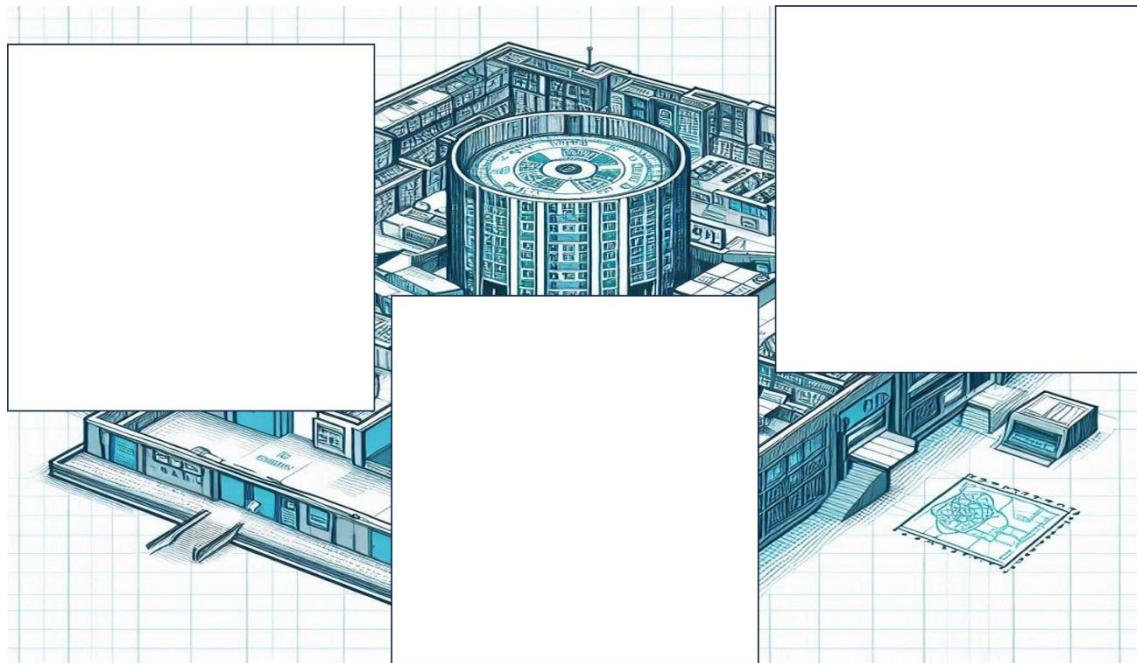
*Substitui qualquer item necessário para acessar a usina ou reduz até 5 horas do tempo total do grupo.*

Caso seja necessário, deixarei mais algumas fases a seguir. No entanto, com o que foi apresentado anteriormente, já é possível compreender a aplicação do jogo e seu funcionamento.

Abaixo, há um exemplo de uma consequência representada por uma carta dupla. Nesse caso, o grupo recebeu como consequência um bote, que pode ser fundamental para escapar da ilha. No verso da carta, há um dos itens que completa o mapa de saída, essencial para encontrar o caminho definitivo para a fuga.



## *Mapa de saída - emergência*



**LIVRO**

**DE**

**REGAS**

# LIVRO DE REGRAS – ALÉM DO REATOR- DESAFIO NA CIDADE RADIOATIVA

## INTRODUÇÃO

Bem-vindo(a) a **Cidade Radioativa** um jogo de tabuleiro educativo que desafia os jogadores a escapar de uma ilha contaminada por radiação nuclear. Vocês eram exploradores a bordo de uma embarcação quando, devido a um problema técnico, foram forçados a desembarcar em uma ilha misteriosa. Ao explorá-la, descobrem que ela foi contaminada por um acidente em uma usina nuclear, tornando a fuga um desafio contra o tempo. ☹

O objetivo do jogo é explorar diferentes locais da ilha, resolver desafios e coletar recursos e dicas que os ajudarão a escapar. No entanto, cada decisão tomada pode aproximar vocês do limite de **24 horas fictícias** que possuem para sair da ilha. Estratégia e conhecimento serão essenciais para garantir a sobrevivência! 🌴⚠️

---

## OBJETIVO DO JOGO

Os jogadores devem trabalhar em equipe para explorar a ilha, completar desafios e coletar informações que os ajudem a encontrar uma saída. O tempo no jogo é limitado a **24 horas fictícias**, e cada ação pode consumir parte desse tempo, tornando a tomada de decisões um fator crucial.

Caso o professor queira, ele pode estabelecer um **tempo real de jogo**, com uma duração de **1h30min**, limitando a partida dentro desse período. Essa escolha é opcional e fica a critério do professor.

---

## COMPONENTES DO JOGO

- 🎪 Mestre: Responsável por narrar, orientar e registrar o progresso do jogo.
- 📄 Diário do Cientista: Fonte de informações e pistas para ajudar os jogadores a resolverem as questões.
- 📃 Cartas de Perguntas: Com desafios variados (Verdadeiro ou Falso, Palavras Cruzadas, Preenchimento de Tabelas, etc.).
- 🔮 Perguntas Desafio: Questões mais difíceis que oferecem grandes vantagens, mas não são obrigatórias.
- 🗺️ Mapa da Ilha: Indica os locais a serem explorados, sendo necessário passar por algumas fases antes de alcançar a saída.
- 📋 Prontuário: Local onde o mestre faz anotações importantes sobre o jogo, como aumento e diminuição de horas.

- Livro do Mestre: Contém informações essenciais para a narrativa e gestão do jogo.
  - Livro de Regras: Apresenta as diretrizes e as regras que os jogadores devem seguir durante o jogo.
  - Elementos Extras: Itens entregues aos alunos como consequências positivas que ajudam a avançar no jogo.
  - Cartas Consequências: Trazem elementos extras, bônus de horas e vantagens que ajudam os alunos.
  - Fotos dos Locais: Imagens dos lugares para ajudar os alunos na imersão no jogo.
- 

## ORGANIZAÇÃO DO JOGO

1. **Escolha do Mestre:** Antes de iniciar a partida, um professor, ou um aluno indicado pelo professor, assume o papel de Mestre. Ele será responsável por orientar e organizar o jogo, apresentando desafios, controlando o tempo e garantindo que as regras sejam seguidas. Além disso, ele entrega as cartas do jogo, lê as descrições dos locais escolhidos e anota o ganho e a perda de horas dos jogadores.
2. **Número de Jogadores:** O jogo foi projetado para ser jogado entre **3 a 6 jogadores** mais o Mestre. No entanto, o professor pode ajustar essa quantidade conforme necessário.
3. **Exploração da Ilha:** O tabuleiro é composto por diferentes locais que representam fases do jogo. Os jogadores escolhem quais locais explorar, mas devem ficar atentos: cada escolha consome um número específico de horas!
4. **Cada Local Tem uma Descrição:** Cada local escolhido para exploração possui uma descrição específica, que é lida pelo Mestre antes do início da fase.
5. **Funcionamento do Jogo:**
  - Os jogadores escolhem um local para explorar.
  - O Mestre lê a descrição do local e informa quantas fases estão disponíveis.
  - Os jogadores escolhem qual fase jogar.
  - O Mestre lê o contexto da fase e entrega a pergunta aos jogadores.
  - Os jogadores respondem.
  - O Mestre anota na ficha se ganharam ou perderam horas.
  - Se houver outras consequências, o Mestre entrega os elementos adicionais aos jogadores.
  - O ciclo se repete até que os jogadores consigam sair da ilha ou fiquem sem tempo.

6. **Uso do Diário do Cientista:** Os jogadores têm em mãos um diário deixado por um cientista que trabalhou na usina. Esse diário pode conter informações valiosas para responder às questões do jogo e entender melhor a situação da ilha.
7. **Tipos de Perguntas:** As perguntas são apresentadas como situações-problema e podem ser entregues de diferentes formas, incluindo:
  - Cartas com perguntas diretas
  - Questões de verdadeiro ou falso
  - Completar tabelas
  - Palavras cruzadas
  - Outras dinâmicas interativas
8. **Consequências das Respostas:**
  - Se os jogadores responderem corretamente, recebem recompensas e dicas que os ajudam na fuga.
  - Se errarem, há consequências negativas: **ganho de 3 horas no tempo total**, aproximando-os do limite de 24 horas.
9. **Perguntas Desafio:** Durante a partida, os jogadores poderão encontrar **perguntas desafio**. Elas são mais difíceis, mas suas recompensas são mais valiosas. Essas perguntas são **opcionais** e não são essenciais para a conclusão do jogo, mas podem oferecer vantagens importantes para a equipe.
10. **Uso de Dicas:** Algumas fases oferecem dicas que podem auxiliar na resolução dos desafios. No entanto, usar uma dica adiciona **2 horas ao tempo total do jogo**. Assim, os jogadores devem decidir estrategicamente se vale a pena arriscar ou buscar uma dica antes de responder.
11. **Gerenciamento do Tempo:** O tempo fictício no jogo é limitado a **24 horas**. Cada deslocamento entre locais e cada desafio tentado podem consumir uma parte desse tempo, tornando fundamental a escolha estratégica das ações.
12. **Conquista da Fuga e Vencedores:**
  - O jogo termina quando os jogadores encontram a saída da ilha ou quando o tempo chega a zero. Caso o tempo acabe antes da fuga, os jogadores perdem a partida.
  - O único local que não pode ser acessado diretamente é **Usina nuclear**. Para chegar até lá, os jogadores precisam passar por algumas fases antes.
  - Caso o professor deseje, ele pode adicionar um elemento competitivo ao jogo, definindo um **grupo vencedor**. O grupo que conseguir escapar da ilha com o menor número de horas acumuladas será declarado vencedor. Essa opção é facultativa e depende da forma como o professor deseja conduzir a partida.

- No geral, todos os jogadores que conseguirem escapar da ilha são considerados vencedores.

Abaixo segue uma descrição do funcionamento do jogo em ordem, de forma mais direta, para uma consulta rápida. É um guia rápido das regras.

## Como Jogar

### 1 Escolha um Local

- O grupo decide qual local deseja explorar no tabuleiro.
- O Mestre do Jogo lê a descrição do local, trazendo mais imersão para a narrativa.

### 2 Defina a Fase

- O Mestre informa quantas fases existem nesse local.
- Os jogadores escolhem qual fase desejam jogar (podem pular fases se quiserem).

### 3 Situação-Problema e Perguntas

- O Mestre lê o contexto da fase e entrega as perguntas.
- As perguntas aparecem em diferentes formatos: múltipla escolha, verdadeiro ou falso, tabelas, palavras cruzadas e muito mais!

### 4 Resolvendo as Perguntas

- Se os jogadores acertarem, recebem recompensas e seguem adiante! 
- Se errarem, ganham +3 horas no tempo total, aproximando-se do limite de 24h!  
- Algumas fases oferecem Dicas , mas usar uma aumenta +2 horas no tempo do jogo.

### 5 Registro das Consequências

- O Mestre anota na ficha de prontuário se o grupo ganhou ou perdeu horas.
- Caso existam outros elementos (itens, pistas, penalidades), ele os entrega aos jogadores.
- O jogo segue até que os jogadores consigam (ou não) sair da ilha!  

## O Papel do Mestre

O Mestre do Jogo é essencial para a dinâmica! Ele:

-  Organiza e guia o jogo.
-  Lê as descrições dos locais e contextos das fases.
-  Entrega e corrige as perguntas.
-  Registra o ganho e perda de horas.
-  Distribui recompensas ou penalidades conforme necessário.

---

### Tempo de Partida

O professor pode definir um **tempo real de jogo** (sugerido: **1h30**). Se esse tempo acabar antes que os alunos escapem, o jogo termina!

---

### Número de Jogadores

◆ O jogo foi projetado para **3 a 6 jogadores + 1 Mestre**. ◆ O professor pode ajustar esse número conforme necessário.

---

### Condições de Vitória

 No geral, **todos que conseguirem escapar da ilha são vencedores!**  Caso o professor queira um sistema competitivo, pode definir que o grupo que sair da ilha com **menos horas acumuladas** seja o vencedor!

---

### Restrições no Jogo

 O único local que **não pode ser acessado diretamente** é a **saída da ilha**. Antes disso, os jogadores precisam explorar outros locais e resolver desafios!

---

### Perguntas-Desafio

 Algumas fases possuem **Perguntas-Desafio**: ◆ Elas são **mais difíceis**, mas têm **grandes recompensas!** ◆ São **opcionais**, não sendo obrigatórias para a conclusão do jogo.

---

### Itens Extras

 **Diário do Cientista:** um diário misterioso encontrado na ilha. Ele contém informações que podem ajudar a resolver desafios e escapar! 

 **Narrativa Imersiva:** Cada local tem sua **própria história e descrição**. O Mestre deve lê-las para criar uma experiência mais envolvente para os jogadores!

## Consequências Positivas ao Acertar as Perguntas:

-  **Carta Horas:** Permite que o grupo responda a uma pergunta sem acrescentar horas ao tempo total do jogo, ajudando no controle do cronômetro da missão.

-  Isenção de Locais Inúteis: O grupo recebe a informação de que não precisa visitar determinado local, economizando tempo e recursos.
-  Cartas Essenciais: Incluem elementos indispensáveis para escapar da ilha, como objetos extras e itens-chave.
-  Carta de Pesquisa Livre: Autoriza o grupo a realizar uma pesquisa ou consulta por até 3 minutos da forma que preferirem, podendo ser usada em qualquer momento estratégico.
-  Carta Pesquisa com Amigos: Permite que os jogadores consultem um amigo ou outro grupo para tirar dúvidas sempre que necessário.
-  Dicas Estratégicas: Fornece orientações valiosas para direcionar o grupo a locais importantes para o avanço no jogo.
-  Carta de Redução de Horas: Reduz automaticamente um número específico de horas do tempo total do grupo, acelerando o progresso.
-  Acesso a Locais Especiais: Concede autorização para entrar em áreas restritas do jogo, sem a necessidade de cumprir requisitos adicionais.
-  Carta Resposta: Garante ao grupo a resposta correta de uma fase diretamente do mestre, obtendo automaticamente a consequência positiva daquela fase sem precisar responder.
-  Carta Curinga: Substitui qualquer item necessário para acessar a usina ou reduz até 5 horas do tempo total do grupo.
-  Carta Bônus de Horas: Permite que o grupo responda a uma pergunta sem perder horas, mesmo que errem. Pode ser usada uma vez em qualquer momento da partida

# **INTRODUÇÃO AO JOGO**

## **ALÉM DO REATOR- DESAFIOS NA CIDADE RÁDIOATIVA**

Vocês são um grupo de estudantes escolhidos para uma expedição científica única, com o objetivo de estudar ecossistemas isolados e coletar dados sobre a biodiversidade de uma ilha remota e misteriosa.

A viagem ocorre em um moderno navio-laboratório, equipado com tecnologia de ponta, garantindo uma estadia segura e produtiva. Durante a jornada, é explicado que a ilha está desabitada há anos, tornando-se um refúgio perfeito para a pesquisa científica. No entanto, há rumores sobre antigas instalações militares e experimentos secretos no local.

Ao se aproximarem da ilha, algo inesperado acontece. Uma explosão súbita no horizonte ilumina o céu noturno, e um pulso eletromagnético desativa os sistemas do navio. Sem controle sobre a embarcação, vocês são levados pela correnteza e naufragam na praia.

Agora, isolados e sem comunicação com o mundo exterior, percebem que a ilha guarda um terrível segredo: níveis perigosos de radiação e sinais de um desastre nuclear recente. A missão científica se transforma em uma corrida pela sobrevivência. Vocês precisam descobrir o que aconteceu, encontrar uma maneira de sair da ilha.

**DIÁRIO**

**DO**

**CIENTISTA**

## Sumário

<u>Casa do cientista</u> .....	4
<u>Casa cientista 2</u> .....	6
<u>Casa 1</u> .....	8
<u>Casa 2</u> .....	10
<u>Casa - Presidente diretor de segurança</u> .....	12
<u>Floresta</u> .....	13
<u>Parque</u> .....	15
<u>Laboratório (centro de pesquisas antigas - cpa)</u> .....	16
<u>Laboratório</u> .....	17
<u>Lago</u> .....	18
<u>Gruta</u> .....	19
<u>Laboratório Radius</u> .....	20
<u>Hospital</u> .....	23
<u>Usina Nuclear</u> .....	25

# Informações

Este é um diário que contém informações de um cientista que trabalhava na usina.

Nesse diário, encontra-se anotações do cientista que pode te ajudar a encontrar informações para sair da ilha. O cientista esteve em cada local, então busque por essas anotações e as informações necessárias para ajudar vocês nessa jornada.

Neste diário, há anotações feitas tanto antes quanto depois do acidente. É importante que vocês usem discernimento ao interpretar essas informações, pois nem todas serão úteis em todas as situações. A maioria das anotações pode ajudar diretamente na fase em que vocês estão, então consultem o diário e procurem as informações relacionadas ao local onde se encontram.

# Casa do cientista

Hoje foi um dia dedicado ao estudo das partículas. Estou me aprofundando na análise de cada uma delas e no entendimento mais detalhado de seus métodos de funcionamento. Após concluir esses estudos preliminares, planejo visitar o laboratório Radius para explorar a história de cada partícula e compreender melhor seu papel no desenvolvimento da ciência.

- **Partículas alfa:** São formadas por dois prótons e dois nêutrons (núcleos de hélio) e têm grande massa e carga positiva. Elas têm baixa capacidade de penetração e podem ser bloqueadas por uma folha de papel ou a pele humana.
- **Radiação gama:** É uma forma de radiação eletromagnética de alta energia e não tem massa nem carga. É altamente penetrante e precisa de espessas camadas de chumbo ou concreto para ser bloqueada.
- **Radiação beta:** \*\*\*\*\*

## Tempo de meia vida

O tempo de meia-vida é o tempo necessário para que metade dos núcleos de um elemento radioativo se desintegre ou decaia, transformando-se em outro elemento ou isótopo. Esse conceito é fundamental para entender como funciona o processo de decaimento radioativo e como a radiação diminui com o tempo.

Cada elemento radioativo tem um tempo de meia-vida específico, que pode variar de frações de segundos a milhões ou até bilhões de anos, dependendo do material. Por exemplo, o Carbono-14, usado na datação de fósseis e artefatos antigos, tem um tempo de meia-vida de aproximadamente 5.730 anos, enquanto o Urânio-238, utilizado em datação geológica, tem uma meia-vida de 4,5 bilhões de anos.

Durante o tempo de meia-vida, metade dos átomos de uma amostra de material radioativo decai, mas o processo não para aí. Após o tempo de duas meias-vidas, restará apenas 25% da quantidade original, e após três meias-vidas, 12,5%, e assim por diante.

*Analise do enxofre radioativo - Estou fazendo uma pesquisa mais profunda sobre enxofre e como pode ser utilizado:*

O enxofre radioativo, especialmente o enxofre-35, é um isótopo produzido por reações nucleares, geralmente em aceleradores de partículas ou reatores. Ele possui uma meia-vida de cerca de 87 dias e emite radiação beta de baixa energia. É amplamente utilizado em pesquisas científicas, como em estudos de biologia molecular e metabolismo, onde pode ser incorporado em moléculas para rastrear processos biológicos. Apesar de sua baixa energia, deve ser manuseado com cuidado para evitar contaminação e exposição prolongada. Para deixar de ser radioativo é necessárias 10 meias vida, pelo menos.

## Casa cientista 2

Hoje decidi visitar a usina para analisar seu funcionamento de perto. Observei atentamente os processos operacionais e revisei diversos relatórios técnicos para compreender melhor seu desempenho. Além disso, realizei pesquisas e entrevistei médicos especialistas para entender os efeitos da radiação no corpo humano. Busquei informações sobre os impactos a curto e longo prazo da exposição, os principais riscos envolvidos e as possíveis formas de mitigação.

A exposição à radiação ocorre quando o corpo humano entra em contato com partículas ou ondas emitidas por materiais radioativos. Ela pode ser externa, como em exames de raio-X, ou interna, quando substâncias radioativas são ingeridas ou inaladas. Os efeitos da exposição dependem da dose recebida: doses baixas geralmente não causam danos significativos, mas doses altas podem provocar queimaduras, danos ao DNA, câncer e até morte. Proteções como reduzir o tempo de exposição, aumentar a distância da fonte e usar blindagem são essenciais para minimizar os riscos.

Importante: Rem e Sievert (Sv): Avaliam os efeitos biológicos da radiação em tecidos vivos. O Sievert é a unidade mais usada atualmente, levando em conta o tipo de radiação e sua interação com o organismo.

### Explicação do provável funcionamento da usina

Uma usina nuclear gera energia elétrica usando o calor produzido por reações nucleares controladas. O processo acontece no reator nuclear, onde átomos de urânio ou plutônio sofrem .....(se dividem), liberando uma grande quantidade de calor. Esse calor aquece a água, gerando vapor.

O vapor movimenta turbinas conectadas a geradores, que convertem a energia mecânica em eletricidade. Após isso, o vapor é resfriado, transformado novamente em água e reutilizado.

As usinas nucleares são altamente eficientes e produzem grandes quantidades de energia sem emitir gases do efeito estufa, mas requerem rigorosos sistemas de segurança para evitar acidentes e lidar com os resíduos radioativos.

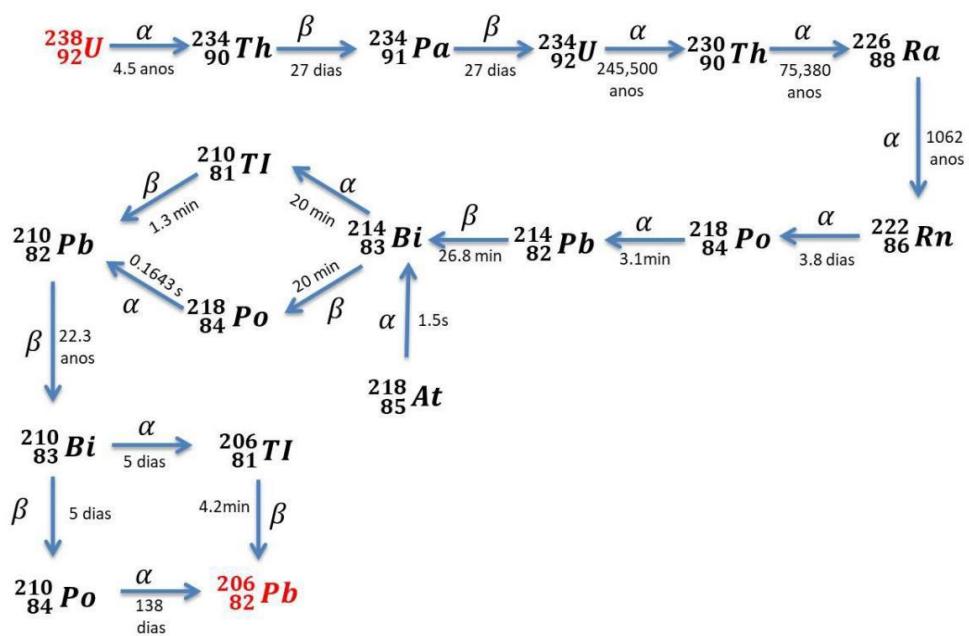
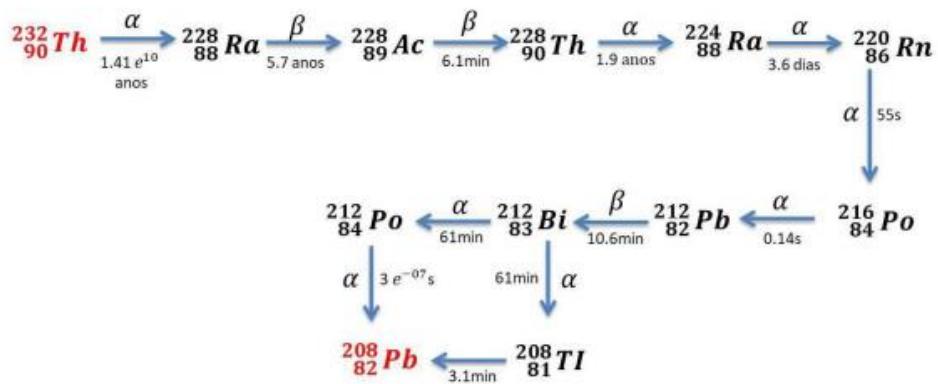
## Casa 1

Estou estudando os processos de decaimento radioativo e suas diferentes formas de transformação. Analisei especificamente o decaimento de elementos como o urânio e o tório, observando suas séries de desintegração e os produtos gerados ao longo do tempo. O que mais me chama atenção é a variação no tempo de meia-vida de diferentes isótopos radioativos, pois alguns levam poucos segundos para decair, enquanto outros podem permanecer radioativos por milhões ou até bilhões de anos antes de se tornarem estáveis. Esse fator é crucial na avaliação dos impactos ambientais e na segurança radiológica, pois, dependendo do tipo de isótopo presente em uma contaminação, a área afetada pode permanecer inhabitável por séculos ou até milênios. Isso reforça a importância de um manejo adequado de materiais radioativos e do desenvolvimento de estratégias para minimizar os riscos associados à radiação.

O decaimento radioativo é o processo natural pelo qual átomos instáveis de um elemento se transformam em átomos mais estáveis, liberando energia na forma de radiação. Existem três principais tipos de decaimento: alfa, onde partículas pesadas são emitidas; beta, com a transformação de um nêutron em próton ou vice-versa, liberando elétrons ou pósitrons; e gama, que emite radiação eletromagnética sem alterar a composição do núcleo.

Urânio-238 se transforma em Chumbo-206.

Outro exemplo do decaimento:



## Casa 2

(Trabalhador da Usina)

Esse é um estudo enviado ao cientista sobre um acidente que aconteceu no Brasil.

O acidente de Goiânia ocorreu em 13 de setembro de 1987 e é considerado um dos piores acidentes radioativos da história. Ele aconteceu quando dois catadores de sucata encontraram um aparelho de radio-terapia abandonado em uma clínica desativada no centro de Goiânia, Goiás. O aparelho continha Césio-137, uma substância altamente radioativa. Os catadores abriram o equipamento e, fascinados pela substância que brilhava no escuro, levaram parte do material para casa. Isso resultou em contaminação radioativa em várias áreas da cidade. O acidente levou à morte de quatro pessoas, à contaminação de centenas e à evacuação de áreas afetadas. Mais de 100 mil pessoas foram monitoradas, e várias casas e objetos tiveram que ser destruídos ou descontaminados.

Como foi feita a descontaminação após o acidente de Goiânia?

Após o acidente de Goiânia, uma grande operação de descontaminação foi iniciada. Equipamentos e especialistas do Brasil e de outros países foram mobilizados. Muitas casas e prédios tiveram que ser destruídos porque a radiação havia se infiltrado em paredes, móveis e objetos. O solo de áreas contaminadas foi removido e enterrado em locais controlados. Pessoas contaminadas foram isoladas e tratadas, e seus pertences pessoais, incluindo roupas e utensílios, foram incinerados ou

descartados. A descontaminação foi difícil, pois a radiação do Césio-137 pode ser persistente e difícil de remover completamente. O acidente resultou na geração de toneladas de lixo radioativo, que foi armazenado em locais seguros.

No acidente, muitas vítimas sofreram envenenamento por radiação devido ao manuseio inadequado do material radioativo e à falta de conhecimento sobre os perigos do Césio-137.

# Casa - Presidente diretor de segurança

“Carta escrita pela Diretora de segurança para o cientista.

Caro,

Recentemente, estive revisando os protocolos de segurança da usina nuclear e fiquei alarmado com alguns dos resultados que obtivemos. Durante os testes, percebemos que o sistema de contenção apresenta uma vulnerabilidade significativa em relação ao resfriamento do núcleo em caso de falha de energia. A análise revelou que, caso o sistema de resfriamento falhe, a temperatura do núcleo do reator pode subir rapidamente, aumentando o risco de derretimento. Isso ocorre porque, sem resfriamento adequado, o calor gerado pelas reações nucleares continua se acumulando, podendo levar a um acidente grave.

Para evitar esse cenário, sugiro que adotemos um sistema de redundância para os geradores de emergência, garantindo que haja fontes alternativas de energia para manter o resfriamento. Além disso, é fundamental desenvolver um plano de evacuação para as áreas próximas, garantindo a segurança da população em caso de emergência.

A segurança deve ser nossa prioridade absoluta. Precisamos discutir esse assunto na próxima reunião e elaborar um relatório detalhado com as medidas necessárias para minimizar os riscos.

Atenciosamente,

Helena Almeida”

# Floresta

Aqui estão algumas características da Floresta Vermelha:

1. **Árvores Mortas e Mutação Vegetal:** Após o acidente, a vegetação original da floresta morreu rapidamente. Muitas árvores caíram ou foram removidas, e a área foi enterrada para conter a radiação. No entanto, a vegetação que se regenerou apresenta sinais de mutação, como deformidades nas árvores e plantas que crescem de maneira incomum.
2. **Altos Níveis de Radiação:** A Floresta Vermelha é considerada uma das zonas mais radioativas da Terra. Mesmo décadas após o desastre, o solo e a vegetação ainda emitem radiação intensa. O nível de radiação é alto o suficiente para que a exposição prolongada seja perigosa para humanos.
3. **Vida Selvagem:** Apesar da contaminação, a Floresta Vermelha se tornou um inesperado refúgio para a vida selvagem. Animais como lobos, alces, raposas e javalis, além de várias espécies de aves, são encontrados na área. A ausência da presença humana permitiu que a fauna florescesse, embora alguns animais apresentem mutações sutis.
4. **Atmosfera Sinistra:** A Floresta Vermelha tem uma atmosfera fantasmagórica. O silêncio da área, combinado com as árvores mortas, deformadas e a coloração incomum, cria um cenário desolador e estranho. A vegetação que se regenerou muitas vezes parece retorcida e fora do comum, dando a sensação de que a própria natureza foi afetada pela radiação.

**5. Isolamento e Contenção:** A Floresta Vermelha faz parte da zona de exclusão de Chernobyl, uma área restrita onde a presença humana é limitada. Há áreas onde o nível de radiação é alto o suficiente para ser detectado por instrumentos mesmo a uma grande distância.

Nesse local existe um item curinga que pode ajudar vocês a entrarem na usina.

# Parque

Hoje dediquei meu estudo à intensidade da radiação, explorando sua fórmula e os impactos que pode causar na vida das pessoas. A intensidade da radiação segue a Lei do Inverso do Quadrado da Distância, o que significa que sua força diminui exponencialmente à medida que nos afastamos da fonte emissora.

Visitei o parque hoje e encontrei um cenário desolador. Antes frequentado por muitas pessoas, o local está completamente devastado. Para garantir minha segurança, utilizei um contador Geiger para medir os níveis de radiação e determinar um tempo seguro de permanência na área. A dosagem de radiação absorvida pelo corpo segue o conceito de dose equivalente, medido em sieverts (Sv), e deve ser monitorada para evitar efeitos nocivos, como danos celulares e mutações genéticas.

Definição de como saber a intensidade da radiação.

$$I_1 = I_2 \times \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

Sempre que vou nessa floresta uso um contador Gêiser, para saber o tempo que posso ficar lá.

# Laboratório (centro de pesquisas antigas-cpa)

Hoje, passei o dia no laboratório de pesquisas antigas e tive a oportunidade de acessar materiais realmente valiosos. Conseguí algumas anotações detalhadas sobre as "garotas do rádio", um tema fascinante que explora a importância feminina. Além disso, também encontrei diversas pesquisas relacionadas à história, que oferecem uma nova perspectiva sobre eventos e figuras do passado.

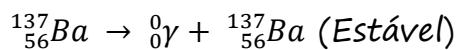
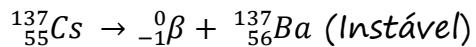
Relógios antigos, especialmente fabricados nas primeiras décadas do século 20, eram revestidos com uma substância que brilhava no escuro graças à presença de um elemento radioativo. As trabalhadoras que aplicavam a tinta de rádio nesses relógios ficaram conhecidas como as "Garotas do Rádio", e muitas delas sofreram graves problemas de saúde devido à exposição à radiação. O problema de saúde surgiu porque as trabalhadoras, as "Garotas do Rádio", frequentemente usavam pincéis finos para aplicar a tinta e, para moldar as cerdas, acabavam levando o pincel à boca, ingerindo pequenas quantidades de rádio....

## Pesquisas sobre Raios X

Durante a Primeira Guerra Mundial, a tecnologia de raios X desempenhou um papel crucial no tratamento de soldados feridos no campo de batalha. Muitas vidas foram salvas graças à descoberta dos raios X.

# Laboratório

Decaimento do Césio( $Cs^{137}$ )



O chumbo é amplamente utilizado como barreira contra a radiação devido à sua alta densidade e capacidade de absorver partículas e raios gama. Ele não é radioativo, mas sua estrutura atômica permite bloquear efetivamente radiações de alta energia, protegendo pessoas e equipamentos. Por isso, é comum em blindagens de reatores nucleares, coletes de proteção em exames médicos, como raios-X, e embalagens de transporte de materiais radioativos.

## Lago

O lago, tornou-se extremamente perigoso porque foi utilizado durante décadas para o descarte de resíduos nucleares de uma instalação de armas nucleares próxima chamada Mayak. Resíduos de reatores e produtos de fissão altamente radioativos foram despejados no lago sem medidas adequadas de contenção.

O lixo nuclear descartado contém isótopos de longa vida, como o estrôncio-90 e o césio-137, que emitem radiação ionizante. Com o tempo, a radiação na área ao redor do lago atingiu níveis tão altos que, em alguns pontos, uma pessoa exposta por apenas uma hora poderia receber uma dose letal de radiação.

Durante períodos de seca, o leito do lago secava parcialmente, permitindo que os ventos levantassem a poeira radioativa, espalhando a contaminação por uma área ainda maior. Existem anotações deixadas enterradas ao lado do lago.

# Gruta

Escrevo aqui algumas formulas importantes que podem me ajudar a entender algumas coisas.....

$$Tempo = \frac{Dose\ limite}{Taxa\ de\ Radiação}$$

$$Tempo = \frac{Dose\ Letal}{Taxa\ de\ radiação}$$

$$I_1 = I_2 \times \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

Ao chegar na gruta resolvi esconder minha caixa com algumas informações importantes, assim posso buscar depois.....

Ao final da gruta existe uma caixa muito importante.....

# Laboratório Radius

## 1. Medicina

- **Radioterapia:** Tratamento de câncer por meio da destruição de células tumorais.
- **Diagnóstico por Imagem:** Uso de raios X, tomografia computadorizada (CT) e PET scans para diagnosticar doenças e lesões.
- **Esterilização de Equipamentos Médicos:** Radiação usada para esterilizar materiais e instrumentos médicos sem o uso de calor.

## 2. Agricultura e Segurança Alimentar

- **Irradiação de Alimentos:** Eliminação de bactérias, fungos e outros patógenos, prolongando a vida útil e a segurança dos alimentos.
- **Controle de Pragas:** Técnica de esterilização de insetos com radiação para controle biológico, evitando o uso excessivo de pesticidas.
- **Aumento da Produtividade Agrícola:** Estudo de mutações benéficas em plantas para produzir variedades mais resistentes e nutritivas.

## 3. Energia

- **Energia Nuclear:** Produção de eletricidade limpa e eficiente a partir da fissão nuclear, com baixo impacto de emissões de carbono.

- **Produção de Hidrogênio:** Uso da radiação em processos que separam hidrogênio da água, possibilitando uma futura fonte limpa de energia.

#### 4. Arqueologia e Geologia

- **Datação por Carbono-14:** Técnica para determinar a idade de materiais orgânicos em fósseis e artefatos, essencial para estudos históricos.
- **Datação de Rochas e Minerais:** Uso de radioatividade para determinar a idade de formações geológicas e entender a história do planeta.

#### 5. Segurança

- **Scanners de Segurança:** Aplicação de radiação de baixa dose em aeroportos e áreas de grande circulação para detectar armas e explosivos sem abrir bagagens.
- **Detecção de Explosivos e Materiais Radioativos:** Técnicas para detectar dispositivos perigosos em tempo real, reforçando a segurança pública.

#### 6. Pesquisa Científica e Industrial

- **Traçadores Radioativos:** Uso em pesquisas biológicas, médicas e industriais para seguir e estudar processos naturais e verificar sistemas.
- **Controle de Qualidade:** Inspeção de materiais e soldas em indústrias usando radiação para identificar defeitos internos.

- *Estudo de Processos Químicos e Biológicos: Uso de isótopos radioativos para rastrear e analisar reações e processos complexos.*

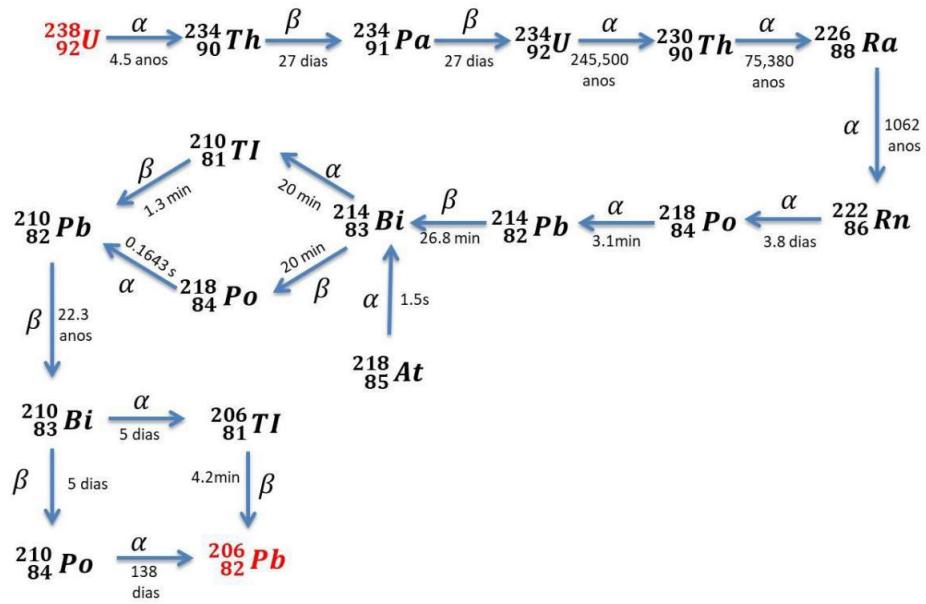
# Hospital

Diário do cientista: Quando entrei nesse hospital, o que percebi foi um cenário desolador. As salas estavam cheias, e a equipe médica, pouco equipada para lidar com níveis tão intensos de radiação, trabalhava sob pressão e incerteza. Roupas, botas e equipamentos dos trabalhadores, altamente contaminados, eram jogados às pressas nos porões e nas salas de descarte. Esses itens vão emitir radiação por muitos anos.

As paredes e superfícies eram limpas constantemente na tentativa de conter a contaminação, mas a radiação se impregnava nos materiais e até nos lençóis das camas, deixando o local permanentemente marcado pelo desastre. Os corredores ficavam lotados de pacientes deitados em macas ou no chão, alguns esperando por atendimento, outros em observação, enquanto médicos e enfermeiras tentavam lidar com o caos e os sintomas alarmantes dos pacientes.

## Limites de Exposição:

- A dose máxima anual recomendada para trabalhadores da área nuclear é de 20 mSv/ano em muitos países (com limite de 50 mSv em um único ano em situações excepcionais).
- Para o público em geral, o limite recomendado é de 1 mSv por ano.



# Usina Nuclear

Tentativas de explicação do que aconteceu:

A explosão do Reator ocorreu durante um teste de segurança. Que de início foi programado, mas ao logo do dia os planos mudaram, porque?

Será que o problema foi humano? Ou não? Porque a equipe não estava preparada? Porque o chefe não parou o teste?

Durante um teste de segurança, a explosão do reator ocorreu de forma inesperada. Inicialmente, o teste estava programado para avaliar se a energia residual seria suficiente para manter as bombas de resfriamento ativas em caso de queda de energia. Contudo, conforme o dia avançava, mudanças de planos surgiram, levantando questionamentos: teria o problema sido causado por erros humanos, pela falta de preparo da equipe ou por decisões equivocadas da liderança?

A análise inicial indica que o desastre foi resultado de uma combinação de falhas de projeto do reator RBMK e erros operacionais cometidos durante o teste. Essas vulnerabilidades, somadas a fatores imprevistos, desencadearam uma reação descontrolada, culminando na explosão do reator.

Iodo e seus isótopos:  $I^{53}$ ;  $I^{131}$ ;  $I^{127}$

						18
13	14	15	16	17	2	He
5 <b>B</b> Boro	6 <b>C</b> Carbono	7 <b>N</b> Nitrogênio	8 <b>O</b> Oxigênio	9 <b>F</b> Flúor	10 <b>Ne</b> Neônio	
13 <b>Al</b> Alumínio	14 <b>Si</b> Silício	15 <b>P</b> Fósforo	16 <b>S</b> Enxofre	17 <b>Cl</b> Cloro	18 <b>Ar</b> Argônio	
31 <b>Ga</b> Cálio	32 <b>Ce</b> Germânia	33 <b>As</b> Arsênio	34 <b>Se</b> Selênio	35 <b>Br</b> Bromo	36 <b>Kr</b> Kriptônio	
49 <b>In</b> Índio	50 <b>Sn</b> Estanho	51 <b>Sb</b> Antimônio	52 <b>Te</b> Telúrio	53 <b>I</b> Iodo	54 <b>Xe</b> Xenônio	
81 <b>Tl</b> Tólio	82 <b>Pb</b> Chumbo	83 <b>Bi</b> Bismuto	84 <b>Po</b> Polônio	85 <b>Af</b> Ástatio	86 <b>Rn</b> Radônio	
113 <b>Nh</b> Ununfríio	114 <b>Fl</b> Fleróvio	115 <b>Mc</b> Ununpentíio	116 <b>Lv</b> Livermório	117 <b>Ts</b> Ununséptio	118 <b>Og</b> Oganessênio	
66 <b>Dy</b> Disprósio	67 <b>Ho</b> Hólmino	68 <b>Er</b> Érbio	69 <b>Tm</b> Túlio	70 <b>Yb</b> Ilérbio	71 <b>Lu</b> Luécio	
98 <b>Cf</b> Califórnia	99 <b>Es</b> Einstênia	100 <b>Fm</b> Férmito	101 <b>Md</b> Mendelévio	102 <b>No</b> Nobélia	103 <b>Lr</b> Laurêncio	

**LIVRO**

**DO**

**MESTRE**

# Sumário

<u>1.</u>	<u>Apresentação do Jogo Didático</u>	3
<u>1.1.</u>	<u>Introdução</u>	4
<u>1.2.</u>	<u>Objetivo Pedagógico</u> 	4
<u>2.</u>	<u>Manual do Jogo: Guia Completo</u>	5
<u>2.1</u>	<u>Escolhendo o Mestre</u> 	5
<u>2.2</u>	<u>Guia do Mestre: Seu Papel na Condução do Jogo</u> 	6
<u>2.3</u>	<u>Respostas do jogo</u>	7
<u>2.4</u>	<u>Tempo de Jogo e Adaptações</u>	7
<u>2.5</u>	<u>Flexibilidade para o Professor</u>	9
<u>3.</u>	<u>Como Funciona o Jogo</u>	10
<u>3.1</u>	<u>Locais dentro do Jogo:</u>	10
<u>4.</u>	<u>Além do reator – Desafios na Cidade Radioativa</u>	13
<u>5.</u>	<u>Orientação do jogo</u>	15
	<u>Casa do cientista</u>	15
	<u>Casa cientista 2</u>	19
	<u>Casa 1</u>	24
	<u>Casa 2</u>	26
	<u>Casa - diretor de segurança</u>	30
	<u>Floresta</u>	33
	<u>Parque</u>	35
	<u>Laboratório (centro de pesquisas antigas - CPA)</u>	39
	<u>Laboratório</u>	45
	<u>Lago</u>	53
	<u>Gruta Abandonada</u>	56
	<u>Laboratório Radius</u>	60
	<u>Hospital</u>	63
	<u>Usina nuclear</u>	74
<u>6.</u>	<u>Perguntas extras que podem ser usadas pelos professores</u>	95

## **Apresentação do Jogo Didático**

Prezado(a) professor(a),

É com grande satisfação que apresentamos este jogo didático, desenvolvido para auxiliar no ensino de Física Nuclear de forma dinâmica e interativa. O jogo propõe uma abordagem lúdica para trabalhar conceitos científicos em sala de aula, estimulando o raciocínio crítico, a tomada de decisões estratégicas e a colaboração entre os alunos.

A trama do jogo se desenvolve em uma ilha contaminada por radiação, onde os alunos, após um problema inesperado em sua embarcação, se veem obrigados a encontrar uma maneira de escapar antes que o tempo se esgote. Para isso, precisarão explorar diferentes locais do mapa, enfrentando desafios e resolvendo situações-problema que envolvem conceitos de Física Nuclear. Cada decisão tomada impacta diretamente o tempo disponível para a fuga, tornando essencial a análise cuidadosa das estratégias.

O jogo é conduzido por um mestre, que assume o papel de mediador, responsável por apresentar os desafios, registrar o desempenho dos jogadores e garantir a dinâmica do jogo. Os alunos, por sua vez, podem jogar em grupos de três a seis participantes, com a possibilidade de estabelecer um tempo máximo de partida, conforme a necessidade do professor. O jogo também permite a adaptação de regras, podendo ser utilizado como uma atividade complementar ou uma avaliação lúdica do conteúdo.

Além de tornar o aprendizado mais engajador, o jogo favorece a contextualização dos conceitos científicos, aproximando a teoria da prática por meio da resolução de problemas em um cenário fictício, mas baseado em princípios reais da Física Nuclear e das radiações. A experiência do jogo estimula a curiosidade e o envolvimento ativo dos alunos, promovendo um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e significativo.

Esperamos que esta ferramenta contribua para o enriquecimento do ensino de Física e para o desenvolvimento das habilidades analíticas e cooperativas dos alunos.

# Além do Reator- Desafios na cidade radioativa

⚠️⚠️⚠️ seja bem-vindo! Se você tem esse livro em mãos, você é o mestre do jogo. Isso significa que o andamento do jogo, o bom funcionamento, fazer com que as regras sejam compridas tudo isso é uma responsabilidade sua, e por esse motivo é muito importante que você conheça todo o funcionamento do jogo e sua missão.

## 1.1. Introdução

💡 Além do reator - Desafio é um jogo de tabuleiro educativo desenvolvido para auxiliar no ensino de Física Nuclear de forma dinâmica e interativa. Criado para envolver os alunos em uma experiência imersiva, o jogo os coloca no papel de exploradores que, após um problema em sua embarcação, acabam presos em uma ilha contaminada por radiação. Seu objetivo é escapar da ilha em um tempo fictício de 24 horas dentro do jogo, enfrentando desafios e tomando decisões estratégicas baseadas em conceitos científicos.

## 1.2. Objetivo Pedagógico 📋

O jogo foi elaborado para complementar o ensino de Física Nuclear no Ensino Médio, promovendo o aprendizado através de situações-problema, raciocínio lógico e trabalho em equipe. Ele proporciona:

- ✓ Aprendizado ativo e envolvente;
- ✓ Desenvolvimento do pensamento crítico e da tomada de decisões;
- ✓ Integração de conceitos científicos a um cenário prático e lúdico;
- ✓ Trabalho em equipe e gestão de recursos.

# Manual do Jogo: Guia Completo

Este manual contém todas as informações necessárias para compreender e conduzir o jogo de forma eficaz. Nele, você encontrará:

- **Regras e Dinâmicas:** Descrição detalhada das regras do jogo, incluindo suas dinâmicas e possibilidades.
- **Orientações para o Mestre:** Instruções específicas para o mestre do jogo, seja ele o professor ou outro responsável, sobre como orientar os alunos durante a partida.
- **Materiais para os Alunos:** Modelos de materiais que podem ser entregues aos alunos, terá uma orientação direta.
- **Espaço para Anotações:** Seções dedicadas para que o mestre possa fazer anotações relevantes ao andamento do jogo e ao desempenho dos participantes.

## Escolhendo o Mestre

A proposta inicial é que o professor assuma o papel de mestre. No entanto, caso seja necessário dividir a turma, o professor pode designar alguns alunos para desempenharem essa função, oferecendo supervisão ocasional sempre que necessário. Os alunos designados como mestres contarão com o suporte completo desse livro guiá-los na condução do jogo.

O Mestre é responsável por coordenar o jogo, garantir que as regras sejam seguidas e guiar os jogadores em sua jornada pela ilha contaminada. Ele também controla o andamento da partida, verifica respostas e distribui penalidades ou recompensas. Em resumo, o Mestre:

- Garante que os jogadores sigam as regras;
- Lê as descrições dos locais e desafios;
- Controla o tempo da partida e registra ganho/perda de horas;
- Fornece informações adicionais e media o jogo quando necessário.

## Guia do Mestre: Seu Papel na Condução do Jogo



Como Mestre, você desempenha um papel fundamental na orientação e condução da partida. Sua função é garantir que as regras sejam seguidas e que os jogadores tenham uma experiência envolvente e educativa. Ao escolherem um local para explorar, é sua responsabilidade apresentar as possibilidades disponíveis, informar quantas fases existem naquele local, orientar os jogadores e criar uma atmosfera imersiva ao ler as descrições correspondentes.

Em resumo, o Mestre:

- Garante que os jogadores sigam as regras;
- Lê as descrições dos locais e desafios;
- Controla o tempo da partida e registra ganho/perda de horas;

Além disso, você deve verificar as respostas dos alunos, organizar as consequências das decisões tomadas, controlar o tempo acumulado e gerenciar toda a dinâmica da partida. É essencial incentivar a colaboração entre os jogadores, garantindo que todos participem ativamente e contribuam para a resolução dos desafios. Estimular a discussão, promover a argumentação e manter a imersão no ambiente do jogo são aspectos-chave de sua função.

Para auxiliá-lo nessa tarefa, este livro reúne todas as informações necessárias para a condução do jogo, incluindo:

- **Descrição dos locais:** Detalhes sobre cada área que os jogadores podem explorar.
- **Número de fases em cada local:** Informações sobre as etapas que compõem cada área.
- **Fases essenciais para o progresso do jogo:** Indicação das etapas críticas para o avanço na narrativa.
- **Contextos e situações-problema:** Cenários e desafios que os jogadores deverão enfrentar.
- **Consequências das ações dos jogadores:** Resultados possíveis das decisões tomadas pelos participantes.

- **Elementos extras que enriquecem a dinâmica da partida:** Componentes adicionais que tornam o jogo mais envolvente.

## Respostas do jogo

Este livro também contém as respostas esperadas para as perguntas que surgem ao longo do jogo, servindo como uma fonte de consulta para você. Isso é especialmente útil quando o Mestre é um aluno escolhido pelo professor, pois o material oferece toda a base necessária para conduzir o jogo de forma eficiente, com o apoio e a supervisão do professor sempre que for preciso.

### 2.4 Tempo de Jogo e Adaptações

Como Mestre, é essencial que você compreenda e gerencie as duas categorias de tempo no jogo: o "*tempo do jogo*" e o "*tempo real*". O "*tempo do jogo*" representa o período fictício que os jogadores têm para escapar da ilha contaminada, começando em 0 horas e podendo acumular até 24 horas. Este limite simboliza o tempo máximo que os jogadores podem suportar a contaminação antes de sucumbirem, resultando na perda da partida.

O acúmulo de horas no "*tempo do jogo*" ocorre de diversas formas:

- Escolha por passar por fases: Cada fase explorada adiciona horas ao total acumulado, representando o tempo gasto na exploração. Acrescenta 2h na partida.
- Uso de dicas: Solicitar dicas implica em penalidades de tempo, aumentando o total de horas acumuladas. Acrescenta 2h na partida.
- Respostas incorretas: Erros nas respostas resultam em penalidades de tempo, atrasando o progresso do grupo. Acrescenta 2h na partida.

É fundamental que você controle rigorosamente o "*tempo do jogo*", registrando o acúmulo de horas conforme as ações dos jogadores. Lembre-se: ao atingir o limite de 24 horas, os jogadores perdem a partida. Portanto, incentive-os a gerenciar o tempo de forma estratégica, refletindo antes de explorar todas as fases e considerando as consequências de suas decisões. Uma gestão cuidadosa do tempo é essencial para o sucesso da missão e para manter o dinamismo da partida.

O tempo real da partida é estimado em 90 minutos. Esse limite foi pensado para facilitar a aplicação do jogo em diferentes contextos escolares, permitindo que professores o utilizem de forma prática em salas de aula com horários variados.

Apesar disso, o tempo real não é fixo. O jogo é flexível e pode ser adaptado de acordo com a disponibilidade do professor. Caso haja mais tempo, é possível:

- Adicionar novas fases;
- Modificar as consequências de determinadas ações;
- Estimular maior interação entre os alunos;
- Prolongar a duração da partida.

No jogo, é dada prioridade à tentativa de acertar em vez de simplesmente usar respostas aleatórias. Dessa forma, uma resposta diretamente incorreta resulta em uma penalização de mais horas (3h), enquanto respostas com auxílio das cartas acarretam em uma penalização menor (2h).

Ao final da partida, você pode comparar o "*tempo do jogo*" acumulado por cada grupo. Embora todos os grupos que escapem da ilha dentro do tempo estabelecido sejam considerados vencedores, essa comparação pode destacar o grupo que concluiu a missão de forma mais eficiente. Essa abordagem é opcional e deve ser alinhada aos objetivos educacionais definidos por você e pelo professor.

## **Flexibilidade para o Professor**

O Mestre tem a possibilidade de modificar as perguntas apresentadas no jogo. Isso permite que o professor adapte o jogo à realidade de sua turma, tornando a experiência mais personalizada e dinâmica. Além disso, essa flexibilidade possibilita que o jogo seja jogado diversas vezes sem perder o interesse dos alunos.

O professor também pode alterar as fases essenciais para a conclusão do jogo. Dessa forma, os objetivos nunca serão exatamente os mesmos, tornando cada partida única. Existe ainda a possibilidade de manter os mesmos ambientes, mas mudar as perguntas, garantindo variedade e desafios diferentes a cada nova sessão.

Outra possibilidade é adicionar desafios extras, como missões secundárias ou elementos surpresa que podem modificar o andamento da partida, exigindo que os jogadores pensem estrategicamente sobre suas escolhas.

Como algumas fases não são essenciais para a resolução dos desafios, é possível que os alunos não passem por todas elas. Caso o tempo disponível seja limitado, o professor, ou mestre, pode orientar os alunos sobre quais locais devem ir otimizando o tempo para garantir a finalização da partida. Embora essa intervenção possa reduzir um pouco o dinamismo do jogo, ela não compromete seu objetivo principal, que é o aprendizado.

# Como Funciona o Jogo

Siga os seguintes passos:

1. **Escolha do Mestre:** Você, como professor, ou um aluno designado, assumirá o papel de Mestre. 
2. **Definição dos Jogadores:** Forme grupos de 3 a 6 jogadores, além do Mestre. Esse número pode ser ajustado conforme necessário. 
3. **Exploração da Ilha:** Os jogadores escolhem quais locais explorar no tabuleiro. Cada escolha consome um número específico de horas. 
4. **Descrição dos Locais:** Cada local possui uma descrição específica que você deverá ler antes do início de cada fase. 
5. **Fluxo de Jogo:**
  - Os jogadores escolhem um local para explorar. 
  - Você lê a descrição do local e informa as fases disponíveis. 
  - Os jogadores escolhem qual fase jogar. 
  - Você lê o contexto da fase e apresenta a pergunta. 
  - Os jogadores respondem. 
  - Registre se ganharam ou perderam horas. 
  - Se houver outras consequências, forneça os elementos adicionais. 
  - Se houver outras consequências, o Mestre fornece elementos adicionais.
  - O ciclo se repete até que os jogadores escapem da ilha ou fiquem sem tempo. 

## Locais dentro do Jogo:

- Casa do cientista 1
- Casa do cientista 2
- Casa 1
- Casas 2
- Casa diretor de segurança da usina
- Hospital

- Lago
- Parque da cidade
- Laboratório
- Laboratório CPA – Centro de pesquisas antigas
- Laboratório Radius
- Gruta
- Floresta vermelha
- Usina

Para que os jogadores consigam escapar da ilha e vencer o jogo, é essencial que explorem os seguintes locais e completem as fases correspondentes:

- **Casa do Cientista 1** 

  - Fase 1

- **Casa 2** 
- **Casa do Diretor de Segurança** 
- **Lago** 
- **Laboratório Radius** 
- **Locais dentro da Usina** 
  - Fase 1
  - Fase 2
  - Fase 5
  - Fase 7

# **ORIENTAÇÃO DO JOGO**

## **Além do reator – Desafios na Cidade Radioativa**

**Parabéns por assumir o papel de Mestre nesta aventura! Como guia e narrador, você possui todas as ferramentas necessárias para conduzir o jogo de maneira envolvente e dinâmica. A seguir, apresentamos as diretrizes essenciais para iniciar e orientar a partida:**

### **Início do Jogo**

1. **Introdução da História:** Comece lendo a narrativa inicial aos jogadores, estabelecendo o cenário e o contexto da expedição. Isso ajudará a imergi-los na atmosfera do jogo.
2. **Orientações aos Jogadores:** Após a introdução da história, também se encontra o que precisa ser lido aos alunos, com o título de “orientações dadas aos alunos”.
3. **Distribuição do diário do Cientista:** Entregue este material aos jogadores, permitindo que escolham a fase inicial que desejam explorar.

Lembre-se, como Mestre, você é o fio condutor que une todos os elementos do jogo. Sua orientação é fundamental para que os jogadores vivenciem uma jornada memorável. Boa sorte e que todos desfrutem desta expedição emocionante!

# **INÍCIO DO JOGO**

Vocês são um grupo de estudantes escolhidos para uma expedição científica única, com o objetivo de estudar ecossistemas isolados e coletar dados sobre a biodiversidade de uma ilha remota e misteriosa.

A viagem ocorre em um moderno navio-laboratório, equipado com tecnologia de ponta, garantindo uma estadia segura e produtiva. Durante a jornada, é explicado que a ilha está desabitada há anos, tornando-se um refúgio perfeito para a pesquisa científica. No entanto, há rumores sobre antigas instalações militares e experimentos secretos no local.

Ao se aproximarem da ilha, algo inesperado acontece. Uma explosão súbita no horizonte ilumina o céu noturno, e um pulso eletromagnético desativa os sistemas do navio. Sem controle sobre a embarcação, vocês são levados pela correnteza e naufragam na praia.

Agora, isolados e sem comunicação com o mundo exterior, percebem que a ilha guarda um terrível segredo: níveis perigosos de radiação e sinais de um desastre nuclear

recente. A missão científica se transforma em uma corrida pela sobrevivência. Vocês precisam descobrir o que aconteceu, encontrar uma maneira de sair da ilha.

## Orientações dadas aos alunos.

O grupo de vocês entra e observa o quarto do cientista, vocês encontraram um diário de um cientista que trabalhava na usina. Nesse diário, encontra-se anotações do cientista que pode ajudar vocês a encontrar informações para sair da ilha. O cientista esteve em cada local, então busque por essas anotações e as informações necessárias para ajudar vocês nessa jornada.

Neste diário, há anotações feitas tanto antes quanto depois do acidente. É importante que vocês usem discernimento ao interpretar essas informações, pois nem todas serão úteis em todas as situações. A maioria das anotações pode ajudar diretamente na fase em que vocês estão, então consultem o diário e procurem as informações relacionadas ao local onde se encontram. Escolham um local no mapa para começar a jornada de vocês, lembrando a usina é o único local que não pode ser acessada nas primeiras jogadas.

# Orientação do jogo

## CASA DO CIENTISTA

### Local com 2 fases

#### Descrição: Quarto do cientista

Imagine um quarto sombrio, silencioso e coberto por uma espessa camada de poeira, resultado de anos de abandono após um acidente nuclear. O ar é pesado, com uma leve luminosidade filtrada por janelas sujas e quebradas. No centro, uma mesa de trabalho robusta, com instrumentos científicos enferrujados e parcialmente desintegrados. Amostras de materiais nucleares, agora perigosamente instáveis, ainda estão presentes, encapsuladas em recipientes de vidro rachados e metálicos corroídos pelo tempo. Algumas dessas amostras emitem um brilho fraco e assustador, o que cria uma sensação de perigo iminente.

Ao redor do quarto, prateleiras estão desmoronando, repletas de livros científicos com páginas amareladas e rasgadas, muitos deles caídos no chão em desordem, cobertos pela poeira acumulada. Fórmulas complexas ainda podem ser vistas em pedaços de papel espalhados e presos a um quadro-negro em ruínas, onde equações físicas não resolvidas se misturam com desenhos de experimentos nunca concluídos. Há sinais claros de que o cientista estava no meio de algo importante quando foi forçado a abandonar tudo.

Jalecos brancos manchados de tempo e sujeira estão jogados sobre cadeiras velhas e no chão, como se o dono tivesse saído às pressas. Perto de um canto, frascos de substâncias químicas se misturam com cadernos de anotações, muitos deles abertos, revelando equações e teorias inacabadas.

### Fase 1

**Contexto:** Vocês encontram, ao centro da mesa, um objeto que à primeira vista parece uma chave, capaz de dar acesso a locais importantes. No entanto, todos percebem que a chave está próxima a alguns experimentos do cientista e apresenta uma coloração diferente. Com a ajuda do diário, é possível identificar de qual elemento se trata.

**Pergunta:** Com base no conhecimento sobre meia-vida, vocês devem decidir se pegam a chave ou não, sabendo que o local pode estar abandonado há pelo menos 15 anos.



**Dica:** Olhar o tempo necessário para deixar de ser radioativo. Olhar a fórmula de meia vida.

**Resposta:** A chave pode ser obtida. Considerando que o enxofre tem um período de meia-vida de 87,5 dias, seriam necessárias pelo menos 10 meias-vidas para que deixasse de ser radioativo. Portanto, basta fazer a multiplicação."

Período de meia vida=  $10 * 87,5$  dias = 875 dias, ou seja, aproximadamente= 2,4 anos.

### Consequência:

**Resposta certa:** vocês obtêm a chave, que permitirá acesso à Casa 2. Com isso, poderão explorar esse novo local sem impedimentos, avançando ainda mais na jornada. Certifiquem-se de aproveitar bem essa oportunidade!

## Entregar ao grupo



**Resposta errada:** Infelizmente, ao errar, vocês não conseguiram obter a chave e acabaram perdendo tempo procurando alternativas. Como consequência, 3 horas foram adicionadas ao tempo total de jogo.

## Fase 2

**Contexto:** Enquanto ainda estão no quarto do cientista, vocês encontram um dispositivo preso na parede que ainda está funcionando, capaz de medir diferentes tipos de radiação: alfa, beta e gama. Ao analisar o ambiente, o dispositivo detecta uma emissão intensa de partículas beta. Sabendo que a radiação beta é composta por elétrons de alta energia, vocês precisam decidir como investigar a área sem se expor a riscos elevados.

**Pergunta:** Descreva o que são partículas beta e como é a sua capacidade de penetração?



**Resposta:** As partículas beta são elétrons ou pósitrons emitidos por núcleos instáveis durante o decaimento beta. Elas têm massa pequena e carga elétrica (negativa para elétrons e positiva para pósitrons). As partículas beta tem uma capacidade de penetração

intermediaria: elas podem atravessar a pele, mas podem ser bloqueadas por alguns milímetros de alumínio ou vidro.

**Consequência:**

**Resposta certa:** Parabéns, vocês conseguiram investigar a casa, e de maneira correta, com isso vocês tiveram uma redução de 2h no tempo de vocês.

**Resposta errada:** Vocês não investigaram a casa corretamente, o que resultou em perda de tempo sem obter nenhuma informação útil para a jornada. Como consequência, 2 horas foram adicionadas ao tempo de vocês.

## CASA CIENTISTA 2

### Local com 2 fases e pergunta desafio.

#### Descrição casa do cientista 2

Você está entrando na casa de outro cientista que tinha contato direto com o cientista cujo diário vocês possuem. Eles costumavam conversar e trocar muitas informações.

A casa do cientista, abandonada após o desastre. O exterior tem janelas quebradas e paredes cobertas de fuligem e poeira radioativa apresenta janelas quebradas e vegetação crescendo entre as rachaduras das paredes. Na sala de estar, livros de física, papéis com anotações científicas e jornais antigos com manchetes sobre o acidente nuclear estão espalhados pelo chão. O ambiente sugere uma mente obcecada com um último experimento antes da tragédia. No escritório uma lousa com equações incompletas e um cofre de chumbo aberto com amostras radioativas. No Quarto um relógio parado e fotos de família esquecidas. Já o porão contém ferramentas científicas, equipamentos quebrados e uma sala isolada para experimentos com radiação. Equipamentos de proteção jogados no chão indicam o perigo ainda presente. Cada detalhe, dos objetos pessoais às equações inacabadas, carrega o peso da tragédia e da radiação persistente.

**Nesse local vocês tem a possibilidade de explorar duas situações diferentes. Escolha a fase 1 ou fase 2. Essa fase também possui uma pergunta desafio. Lembrando que você pode responder quantas quiserem e na ordem que quiserem.**

#### Fase 1

**Contexto:** Ao lado do relógio, encontram uma folha de cálculo com a seguinte mensagem:

"Esse relógio não mede o tempo, mede a exposição à radiação. Sabemos que após 20 minutos de exposição, uma pessoa recebeu 0,8 Sv (Sieverts) de radiação. Calcule quanto tempo seria seguro se o limite máximo para uma pessoa saudável for 1 Sv."

No quarto, há um relógio parado, mas ele não mostra o tempo. Em vez disso, ao invés de números, os ponteiros apontam para **"20 minutos"**.

**Pergunta:** Quanto tempo uma pessoa pode se expor antes de atingir 1 Sv?



**Dica:** Para resolver, lembre se que a radiação é proporcional ao tempo de exposição, lembrar da regra de três.

**Resposta :** A taxa de exposição à radiação é de 0,8 Sv em 20 minutos. Sabendo disso, podemos calcular quanto tempo seria necessário para atingir 1 Sv.

Podemos resolver isso usando uma regra de três simples, pois a radiação é proporcional ao tempo de exposição.

1. Se em 20 minutos a pessoa recebeu 0,8 Sv, queremos saber em quanto tempo ela receberia 1 Sv.

$$\frac{0,8}{20} = \frac{1}{T}$$

Agora, resolvemos para T:

$$T = \frac{1 \times 20}{0,8} = 25\text{min}$$

Portanto, uma pessoa pode se expor por **25 minutos** antes de atingir 1 Sv de radiação.

### Consequência:

**Resposta certa:** Ao acertarem e ficarem o tempo máximo permitido na sala, e assim não sofrendo nenhuma consequência da radiação. Vocês têm uma redução de 4 horas no tempo de vocês.

**Resposta errada:** Ao errarem a resposta, vocês permaneceram na casa por mais tempo do que o permitido. Além de perderem tempo, alguns membros do grupo podem começar a passar mal. Como consequência, vocês acabam de perder 3 horas

## Fase 2

**Contexto:** Olhando as anotações observa-se que ele estava tentando explicar o processo que ocorre dentro de uma usina nuclear antes do desastre. Ele descreve como grandes átomos se dividem, liberando imensa energia.

**Pergunta:** Qual é o nome do processo descrito pelo cientista e qual elemento geralmente é usado para iniciá-lo em uma usina nuclear?



**Resposta:** O processo é a fissão nuclear, e o elemento geralmente usados para iniciá-lo é o urânio. Na fissão, os átomos de urânio se dividem, liberando grandes quantidades de energia.

### Consequência

**Resposta certa:** Ao descrever o processo de maneira correta, vocês ganham uma carta pesquisa aos amigos. Isso significa que você pode consultar um amigo, ou o grupo ao lado quando quiserem para sanar dúvidas.

### ENTREGAR AO GRUPO



**Carta**  
**Pesquisa aos**  
**Amigos**

O grupo pode consultar um amigo, ou o grupo ao lado quando quiserem para sanar dúvidas. Pode ser usada uma única vez.



Resposta errada: Ao descreverem o processo de forma incorreta, vocês se atrasam tentando corrigir a explicação e, como consequência, perdem 3 horas

## Pergunta desafio

Uma série de anotações espalhadas pelo quarto explicam que o cientista estava estudando o processo de fusão nuclear. Perto de um cofre, há uma folha com a pergunta: "Responda e desvende o segredo do cofre."

**Contexto:** A fusão nuclear ocorre no Sol e em outras estrelas, e também pode ser reproduzida em laboratórios na Terra.

**Pergunta:** Qual é a principal diferença entre fusão e fissão nuclear, e por que a fusão é considerada uma fonte de energia mais limpa?

### ENTREGAR AO GRUPO





**PERGUNTA**  
**DESAFIO**

**Pergunta:** Qual é a principal diferença entre fusão e fissão nuclear, e por que a fusão é considerada uma fonte de energia mais limpa?

**CASA CIENTISTA 2**

## Resposta:

- **Fusão nuclear** ocorre quando dois núcleos leves (geralmente isótopos de hidrogênio) se combinam para formar um núcleo mais pesado, liberando uma enorme quantidade de energia.
- **Fissão nuclear**, por outro lado, é o processo em que um núcleo pesado se divide em núcleos menores, também liberando energia.

A fusão é considerada uma fonte de energia mais limpa porque, ao contrário da fissão, não gera resíduos radioativos de longa duração. Além disso, os subprodutos da fusão são relativamente inofensivos e o combustível utilizado (geralmente hidrogênio) é abundante na Terra.

## Consequências

**Resposta certa:** Parabéns vocês abriram o cofre e conseguiram encontrar uma dica. Essa dica fala para vocês não perderem tempo indo até a floresta vermelha pois lá não tem nada que poderá ajudar vocês a encontrarem a saída da ilha.

## Entregar ao aluno



**Resposta errada:** Infelizmente, vocês não conseguiram abrir o cofre, o que fez com que perdessem bastante tempo tentando, sem sucesso. Como consequência, 3 horas foram adicionadas ao tempo de vocês. O bônus não foi conquistado, mas, felizmente, ele não era essencial para a jornada. Boa sorte na próxima tentativa!

# CASA 1

## Local com 1 fase

### Descrição casa 1

A casa, abandonada há anos após o acidente nuclear, está desmoronando lentamente. Suas paredes desbotadas e rachadas estão cobertas de fuligem, enquanto a vegetação deformada pela radiação cresce ao redor. As janelas estão quebradas, e o telhado parcialmente colapsado, deixando a estrutura em ruínas. Placas antigas de "Perigo — Radiação" pendem enferrujadas na cerca caída.

O detalhe mais curioso é a porta da frente: uma pesada estrutura de metal reforçado que permanece intacta. Ao lado da maçaneta, um painel eletrônico com um teclado numérico enferrujado ainda funciona, piscando levemente, exigindo uma senha para abrir. O contraste entre a casa decadente e a porta trancada sugere que algo importante — ou perigoso — está escondido lá dentro, intacto após o desastre.

Esta casa é peculiar. Apesar do tempo, ainda há uma porta com senha que funciona para permitir a entrada. Não se sabe se essa porta foi instalada antes ou depois do acidente, nem há informações sobre há quanto tempo ela está lá.

**Nesse local vocês tem apenas uma fase para explorar.**

## Fase única

**Contexto:** Vocês querem entrar na casa e para isso, precisam descobrir a senha. A senha para continuar está no número atômico de um elemento muito importante para os reatores nucleares, o elemento utilizado na fissão. E que quando decai, transforma-se em algo mais estável.

**Pergunta:** Some o número atômico desse elemento com o de seu produto final (Final do decaimento), e você terá a combinação para a porta. Qual é a combinação correta para abrir a porta, sabendo que a senha tem 3 dígitos?"



**Dica:** olhar o decaimento do Urânia.

**Resposta:** O urânio-238 tem número atômico 92. Ao decair, ele se transforma em chumbo-206, que tem número atômico 82.

A combinação para a porta é a soma dos dois números atômicos:  
 $92 + 82 = 174$ .

A combinação é 174.

### Consequência

**Resposta certa:** Parabéns, vocês abriram a casa, no entanto não encontraram nada que pudesse ajudar durante a missão, mas como bônus vocês ganham uma redução de 3h no tempo de vocês.

**Resposta errada:** Ao errar a combinação da porta, vocês não conseguiram entrar na casa e perderam tempo tentando várias sequências sem sucesso. Como consequência, 3 horas foram adicionadas ao tempo total de vocês.

## **CASA 2**

### **(Trabalhador da Usina)**

Para acessar esta fase, é indispensável possuir a chave necessária. Caso ainda não tenham encontrado a chave, será necessário retornar à casa do Cientista 1 para buscá-la. No entanto, essa ação resultará em um acréscimo de 2 horas ao tempo de vocês, devido ao atraso causado pela ida até a casa sem sucesso.

#### **Descrição casa 2**

A casa modesta, agora esquecida e coberta, está em ruínas após anos de abandono. O telhado está cedendo, com telhas caídas espalhadas pelo chão, e as paredes de madeira estão apodrecidas, manchadas por infiltração e radiação. As janelas, quebradas e sujas, deixam o vento frio assobiar pelos cômodos.

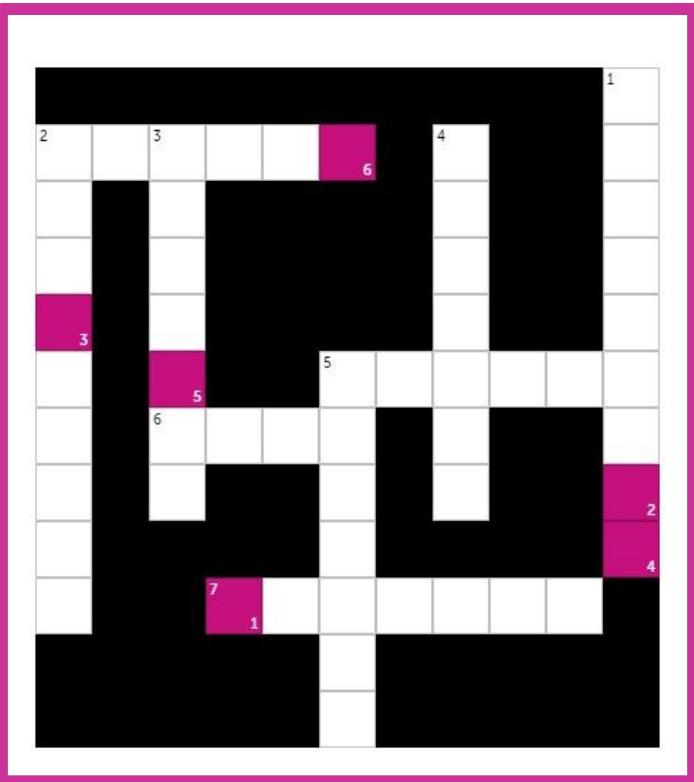
Na pequena sala de estar, móveis simples estão cobertos de poeira e desgastados pelo tempo. Uma mesa de madeira está tombada, com alguns pratos quebrados ao lado, e uma velha poltrona, rasgada e desbotada, repousa em um canto. Fotografias familiares desbotadas ainda estão penduradas, retratando um cotidiano interrompido de forma abrupta. No quarto, a cama de ferro está enferrujada, com lençóis amarelados e rasgados, e um único guarda-roupa permanece aberto, com roupas comuns ainda penduradas.

#### **Fase única**

**Contexto:** Assim que entram, vocês encontram no chão um papel que pode conter pistas importantes. O documento menciona um acidente que o cientista estava investigando; talvez o diário contenha mais informações sobre o acidente que ocorreu em Goiânia.

**Pergunta:** Ao examinar com atenção, vocês percebem que há uma resposta oculta em uma palavra cruzada. Complete a palavra cruzada para descobrir a resposta que pode ajudar a continuar a jornada.

#### **Entregar ao grupo**



1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

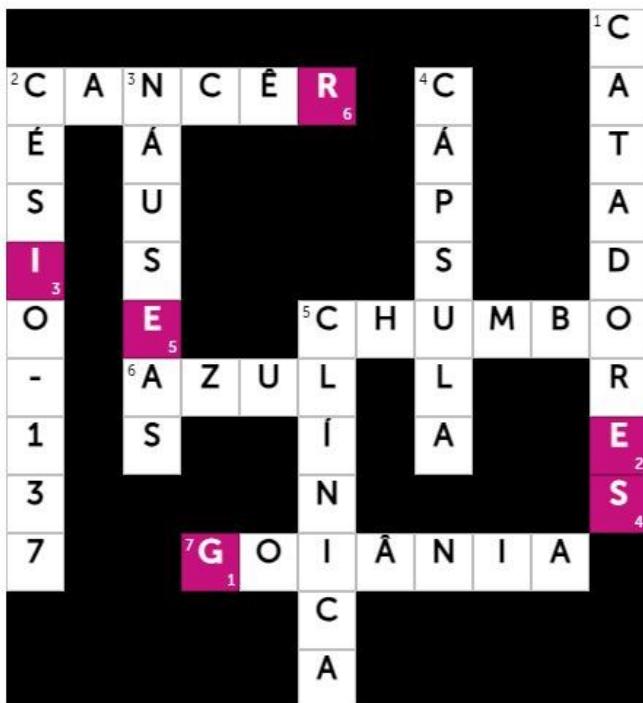
### horizontal

- 2 Doença causada pela exposição à radiação durante o acidente
- 5 Material no qual o Césio-137 estava encapsulado originalmente
- 6 Cor da substância radioativa que atraiu a atenção das vítimas
- 7 Cidade onde ocorreu o acidente radiológico no Brasil

### vertical

- 1 Grupo profissional que encontrou e manipulou o equipamento radioativo.
- 2 Material radioativo envolvido no acidente de Goiânia
- 3 Um dos principais sintomas da exposição à radiação
- 4 Objeto de onde foi retirado o Césio-137
- 5 Local de onde o equipamento radioativo foi retirado indevidamente.

**Dica:** Fase sem dicas



**Resposta secreta: Geiser**

### Consequências:

**Resposta certa:** Ao encontrar a resposta, vocês notam que sobre a mesa está um contador Geiger, um equipamento essencial para a jornada. Com ele, vocês poderão monitorar os níveis de radiação e garantir acesso seguro a determinados locais durante a exploração. Esse item será crucial para avançar com segurança na missão!

### Entregar ao aluno



**Resposta errada:** Infelizmente, vocês erraram a resposta e não conseguiram encontrar um item essencial para ajudar na saída da ilha. Como consequência, 3 horas foram adicionadas ao tempo de vocês. É importante que tentem novamente, caso queiram, pois esse item será fundamental para a jornada de vocês.

# CASA - DIRETOR DE SEGURANÇA

## Local com fase única

Por dentro, a mansão de dois andares, outrora luxuosa, está em ruínas. O hall de entrada, com um lustre de cristal quebrado e paredes rachadas, reflete o abandono. O chão de mármore e madeira está desgastado, e o grande piano de cauda na sala de estar repousa em silêncio, coberto de poeira. Móveis de couro rasgados e poltronas desfeitas sugerem um passado opulento. O piso de madeira, outrora impecável, está deformado e range sob qualquer movimento.

A sala de jantar, ainda com pratos de porcelana fina e cadeiras de veludo tombadas, dá a sensação de que a família fugiu às pressas. Escadas largas e imponentes levam ao segundo andar, mas os degraus estão parcialmente quebrados, tornando a subida perigosa.

Nos quartos do segundo andar, camas desfeitas e roupas caras ainda penduradas evocam uma fuga abrupta. Uma grande varanda com portas de vidro oferece uma vista desoladora de um jardim outrora bem cuidado, agora tomado pela vegetação mutante e deformada.

Enquanto examinam alguns papéis espalhados pelo chão, vocês descobrem que o antigo morador da casa era um importante diretor de segurança em assuntos nucleares, que havia vindo à cidade para fiscalizar o funcionamento da usina. Além disso, ele estava estudando um outro acidente que já havia ocorrido.

## Fase única

**Contexto:** Após encontrarem a carta, vocês veem sobre a mesa de jantar uma possível resposta do Diretor, explicando vulnerabilidades da usina. Essas informações podem ajudar a resolver problemas em outros locais mencionados em um segundo diário, que pode ser acessado na seguinte situação: para abrir o diário e ver o que está escrito, é necessário descobrir a combinação. Lembrem-se que a combinação é formada por 3 letras — a primeira letra de cada resposta. Combinadas, essas letras abrem o diário.

### Entregar ao grupo

#### Pergunta

4. Qual é a partícula subatômica que não tem carga elétrica e reside no núcleo do átomo?
5. Qual é o processo pelo qual um núcleo instável libera energia na forma de radiação?
6. Como se chama a força responsável por manter os núcleos atômicos unidos?

Qual a combinação do cadeado?

**Resposta:**

4. Pergunta 1: Qual é a partícula subatômica que não tem carga elétrica e reside no núcleo do átomo?  
Resposta: Nêutron (letra inicial: N)
5. Pergunta 2: Qual é o processo pelo qual um núcleo instável libera energia na forma de radiação?  
Resposta: Fissão (letra inicial: F)
6. Pergunta 3: Como se chama a força responsável por manter os núcleos atômicos unidos?  
Resposta: Força nuclear (letra inicial: F)

**Combinação do cadeado: NFF**

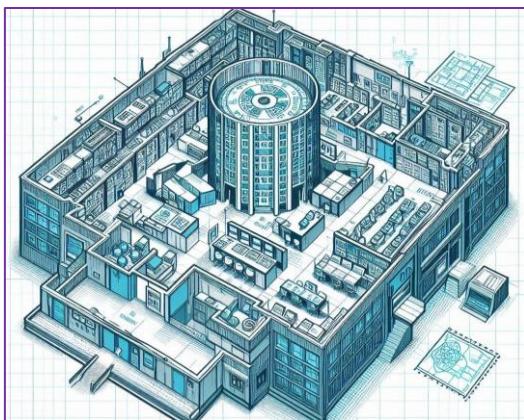
**Consequência:**

**Resposta certa:** Ao abrir o diário do diretor, vocês encontram uma carta enviada entre os cientistas que trabalhavam na usina. Essa carta revela detalhes importantes sobre a principal falha que pode ter causado o acidente.

**Entregar ao grupo**

**1º a carta como elemento extra;**

**2º a carta escrita.**



Os estudantes também têm acesso a uma explicação mais simples do que está escrito na carta:

“Qual é a principal vulnerabilidade mencionada pela Dra em relação ao sistema de segurança da usina nuclear e qual solução ela sugere?

A principal vulnerabilidade mencionada pelo cientista é a falha do sistema de resfriamento do núcleo, que pode levar ao aumento rápido da temperatura e risco de derretimento. Ela sugere a implementação de um sistema de redundância para os geradores de emergência e um plano de evacuação para as áreas circunvizinhas. No contexto de usinas nucleares, um sistema de redundância para os geradores de emergência significa ter múltiplas fontes de energia reserva. Isso é essencial porque, se o sistema de resfriamento falhar e não houver energia alternativa para mantê-lo funcionando, a temperatura do núcleo do reator pode aumentar rapidamente, levando ao risco de um derretimento nuclear. Por exemplo, uma usina pode ter geradores a diesel e baterias de backup para garantir que o resfriamento do reator continue funcionando mesmo em caso de falha na rede elétrica principal. Isso é uma prática comum em engenharia de segurança, não só em usinas nucleares, mas também em aviões, hospitais, servidores de internet e sistemas industriais onde qualquer falha pode ter consequências graves. Tal falha pode ter sido a responsável pelo acidente nuclear, lembrando que usinas costumam ser seguras. “

**Resposta errada:** infelizmente vocês não conseguiram abrir o diário do diretor de segurança, dessa forma não tiveram acesso a resposta que precisaram, mesmo gastando tempo tentando abrir. Nesse caso foram adicionados ao tempo de vocês 3h.

# FLORESTA

## Local com fase única

A floresta é um cenário surreal moldado pela radiação. As árvores, antes vibrantes e verdes, agora ostentam um tom avermelhado profundo, como se queimadas por dentro. Suas folhas caíram há muito tempo, deixando galhos secos e torcidos que se erguem como garras contra o céu nublado. O chão está coberto de uma camada de folhagem morta que parece impregnada de ferrugem, enquanto musgos esbranquiçados se agarram aos troncos, acrescentando um ar de decadênci a.

radiação transformou a flora em algo estranho e antinatural: novas plantas, com formas deformadas e tons esverdeados ou amarelados, emergem entre os restos, parecendo deslocadas. Pequenas clareiras mostram sinais de árvores que simplesmente apodreceram e desabaram, deixando vazios no denso emaranhado.

## Fase única

**Contexto:** A Floresta Vermelha, localizada próxima à Usina Nuclear, é uma das áreas mais contaminadas pela radiação após o desastre. Seu nome vem da cor avermelhada que as árvores, principalmente pinheiros, adquiriram logo após o acidente, devido à intensa exposição à radiação liberada pela explosão do reator.

Enquanto exploram a floresta, os jogadores encontram um mapa marcado com o nome “floresta vermelha” uma placa ao lado diz :

*“Hoje, ela é um dos locais mais radioativos da Terra.”*

**Pergunta:** Por que a Floresta Vermelha recebeu esse nome? Qual foi o principal impacto da radiação em suas árvores e por que ela continua perigosa mesmo após décadas?



### Resposta:

- A Floresta Vermelha recebeu esse nome porque, após o acidente de Chernobyl, a alta radiação matou as árvores, que adquiriram uma coloração avermelhada antes de secarem completamente.
- O principal impacto foi a destruição do DNA celular das árvores, causando sua morte rápida.
- A área continua perigosa porque o solo e os resíduos das árvores ainda contêm altos níveis de radioisótopos, como o césio-137 e o estrôncio-90, que têm meias-vidas longas e permanecem radioativos por décadas.

### Consequência:

**Resposta certa:** A floresta não é um local adequado para se visitar, pois os níveis de radiação ainda são altos, apesar das medidas tomadas para reduzi-los. No entanto, como vocês responderam corretamente, recebem um bônus de redução de 2 horas no tempo do jogo. Recomenda-se que sigam rapidamente para outro local.

**Resposta errada:** A floresta não é segura para visitação, e a exposição à radiação pode ter sido significativa. Como consequência, 3 horas serão adicionadas ao tempo de vocês. Recomenda-se que deixem a área o mais rápido possível.

# PARQUE

## Local com fase única

Era uma área que era frequentada pela população. O parque, antes cheio de vida, agora está totalmente deserto e tomado pela vegetação deformada. Bancos de metal enferrujados e cobertos de poeira radioativa estão caídos ao longo das trilhas rachadas e invadidas por raízes. Existe no local um parquinho infantil, com balanços quebrados e um escorregador torto. A fonte central, sem água há anos, está rachada e tomada por limo. Espalhadas pelo parque, velhas barraquinhas de comida e lembranças, corroídas pelo tempo.

**OBS:** Vocês só podem prosseguir se estiverem com um contador Gêiser próprio. Caso não tenham, adicionaram 3 horas, pois gastaram tempo indo até o parque sem conseguir entrar. Agora, vocês podem voltar para procurar o contador e retornar à floresta, ou decidir seguir para outro local. Se já tiverem o contador, podem continuar explorando o local.

**Contexto:** vocês chegam a um parque abandonado após o acidente nuclear e encontram uma placa indicando que a área está contaminada com radiação residual. No centro do parque, há uma estátua de metal que, segundo o contador Geiger, emite uma radiação de 500 mSv/h a uma distância de 2 metros. No entanto, os estudantes precisam pegar um item escondido na base da estátua para continuar o jogo. Usando a Lei do Inverso do Quadrado, calcule a intensidade da radiação se os estudantes se aproximarem até 1 metro da estátua.

**Pergunta:** Sabendo que a dose máxima de radiação que vocês podem receber sem efeitos imediatos à saúde é de 100 mSv, por quanto tempo vocês podem ficar a 1 metro da estátua antes de ultrapassar esse limite?



**Dica:** olhar primeiro a formula do inverso do quadrado. E depois a fórmula total de radiação.

**Resposta:**

1. **Primeiro, calcular a intensidade da radiação a 1 metro de distância:**

Pela Lei do Inverso do Quadrado, a intensidade da radiação é inversamente proporcional ao quadrado da distância:

$$I_1 = I_2 \times \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

$I_1$  = Intensidade da radiação a ser encontrada (?)

$I_2$  = Intensidade da radiação dada na questão (500 mSv/h)

$d_2$  = Distancia dada na questão (2m)

$d_1$  = Distância que os estudantes querem chegar (1m)

Substituindo os valores

$$I_1 = 500 \text{ mVs/h} \times \left(\frac{2}{1}\right)^2$$

$$I_1 = 500 \frac{\text{mVs}}{\text{h}} \times 4$$

$$\mathbf{I_1 = 200 \text{ mVs/h}}$$

Portanto, a radiação a 1 metro da estátua é **2000 mSv/h**.

2. Agora, calcular quanto tempo os estudantes podem permanecer a 1 metro sem ultrapassar 100 mSv:

A dose total de radiação é dada pela fórmula:

Dose = Taxa de radiação X Tempo

Queremos saber o tempo máximo que eles podem ficar sem ultrapassar 100 mSv:

$$100 \text{ mSv} = \frac{2000 \text{ mSv}}{h} \times t$$

$$t = \frac{100 \text{ mSv}}{2000 \text{ mSv}} = 0,05 \text{ h} = 3 \text{ min}$$

**Conclusão:** Os estudantes podem ficar no máximo **3 minutos** a 1 metro da estátua antes de ultrapassar a dose segura de 100 mSv.

**Consequência:**

**Resposta certa: Entregar ao grupo a consequência**

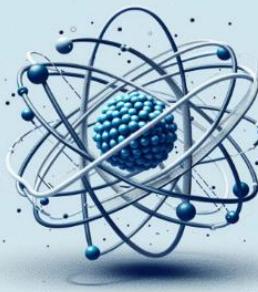
Por entenderem exatamente o tempo seguro de exposição ao local e evitarem níveis perigosos de radiação, vocês conquistaram dois benefícios valiosos:

1. Carta de Pesquisa Livre: Permite realizar uma pesquisa ou consulta de até 3 minutos da forma que preferirem, podendo utilizá-la no momento que julgarem mais estratégico.
2. Carta Bônus de Horas: Com essa carta, vocês podem responder a uma pergunta sem acrescentar horas no jogo, garantindo maior controle sobre o tempo restante da jornada.



**Carta de Pesquisa Livre**

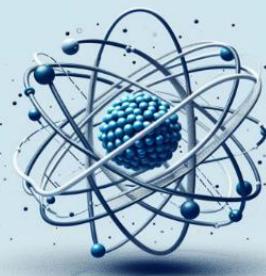
Permite realizar uma pesquisa ou consulta de até 3 minutos da forma que preferirem, podendo utilizá-la no momento que julgarem mais estratégico.





### Carta Bônus de Horas

*Com essa carta, vocês podem responder a uma pergunta sem acrescentar horas no jogo, garantindo maior controle sobre o tempo restante da jornada.*



**Resposta errada:** Ao responder de maneira equivocada, vocês podem ter permanecido além do tempo permitido e em uma distância não autorizada no local. Isso pode ser prejudicial, resultando na adição de 3 horas ao tempo de vocês.

# **LABORATÓRIO (CENTRO DE PESQUISAS ANTIGAS - CPA)**

## **Local com 3 fases**

### **Descrição CPA**

Vocês chegam a um laboratório, que se destaca por ser um pouco diferente dos demais. Esse laboratório foi utilizado para conduzir pesquisas antigas, especialmente relacionadas à física nuclear. Aqui, vocês terão a oportunidade de explorar diversos estudos e experimentos, incluindo investigações sobre incidentes e casos significativos que ocorreram no passado. As anotações e os equipamentos no local podem fornecer pistas valiosas para continuar a jornada.

O laboratório é um prédio antigo de tijolos, com janelas quebradas e cercas enferrujadas. Dentro, o ambiente é escuro e empoeirado, com mesas de madeira cobertas de equipamentos científicos obsoletos. Frascos de vidro opaco e antigos kits de química, contendo materiais radioativos, ainda estão espalhados. Em um canto, pincéis e frascos vazios usados pelas Mulheres do Rádio brilham fracamente no escuro, vestígios de tintas fosforescentes perigosas. Ao entrar, o ambiente é pesado, com o cheiro de umidade e metal oxidado. Mesas antigas de madeira estão desarrumadas, cobertas de equipamentos de pesquisa abandonados.

Estantes enferrujadas guardam livros抗igos sobre física nuclear, enquanto papéis amarelados com fórmulas complexas cobrem o chão. Uma câmara de chumbo e um contador Geiger abandonado completam o cenário. Velhas placas fotográficas penduradas nas paredes, mostrando padrões estranhos de partículas nucleares capturadas em experimentos

Vocês estão no laboratório de pesquisas antigas e podem escolher entre 3 fases para explorar o local. Escolha uma das fases para continuar.

## **Fase 1**

**Contexto:** Vocês entram em uma sala antiga bem escura dentro do laboratório, que aparentemente um dos cientistas usava para fazer estudos抗igos. Ao abrir a porta vocês encontram vários relógios抗igos ainda emitindo um brilho fraco no escuro.

**Pergunta:** Por que o rádio era usado em relógios para fazê-los brilhar no escuro, e por que isso acabou sendo um problema de saúde para as pessoas que fabricavam esses relógios?



**Dica:** Lembrar sobre porque o elemento rádio brilha.

**Resposta:** O rádio era usado nos relógios porque é um elemento radioativo que emite partículas alfa e radiação gama. Ele foi misturado com um material fluorescente, que absorvia a radiação emitida e, como resultado, brilhava no escuro, tornando esses relógios visíveis à noite.

O rádio se acumula no corpo humano, especialmente nos ossos, onde a radiação continua a causar danos ao longo do tempo, levando a doenças graves como câncer e necrose dos ossos.

### Consequência:

**Resposta certa:** Parabéns com a resposta correta vocês descobriram um pouco mais sobre a história e com isso, tiveram uma redução de 3h no tempo de vocês.

**Resposta errada:** Não ter conhecimento sobre história pode fazer com que vocês desperdem muito tempo desnecessariamente, simplesmente por não entenderem conceitos fundamentais. Como resultado, acabam adicionando 3 horas ao tempo total de vocês, o que poderia ser evitado com um melhor entendimento.

## Fase 2

**Contexto:** vocês encontram uma antiga máquina de raios X. Ao lado da máquina, uma mensagem aparece: utilizada na primeira Guerra Mundial.

**Pergunta:** Como os raios X funcionaram para ajudar médicos durante a Primeira Guerra Mundial, e quem foi a pessoa responsável por desenvolver unidades móveis de raios X para facilitar o atendimento próximo às linhas de frente?



**Dica:** Conhecer a aplicação dos raios X nos dias de hoje, assim como a resposta sobre quem contribuiu para esse avanço, está relacionado à mulher que ganhou dois Prêmios Nobel.

**Resposta:** Os raios X funcionaram durante a Primeira Guerra Mundial ao permitir que os médicos visualizassem ossos fraturados e localizassem estilhaços ou balas dentro dos corpos dos soldados sem a necessidade de abrir cirurgicamente os ferimentos. Isso acelerava o diagnóstico e tratamento, além de reduzir o sofrimento dos soldados.

A pessoa responsável por desenvolver unidades móveis de raios X para uso nas zonas de guerra foi Marie Curie. Ela trabalhou ativamente para levar essa tecnologia aos campos de batalha, equipando veículos com máquinas de raios X, que ficaram conhecidas como "Petit Curies". Esses veículos permitiam que médicos pudessem usar a tecnologia diretamente na linha de frente, salvando inúmeras vidas.

#### Consequência:

**Resposta certa:** O raio X acelerou o atendimento e ajudou vocês nesta missão. Como resultado, vocês acabam de reduzir em 3 horas o tempo total de vocês.

**Resposta errada:** sem saber o funcionamento do raio x, vocês acabaram atrasando a estada de vocês, tentando descobrir o seu funcionamento vocês acaram de aumentar em 3h no tempo total de vocês. Além disso o raio x ainda é um item importante, conhecer o seu funcionamento seria bom.

## Fase 3

**Contexto:** Em uma estante, vocês encontram um caderno com anotações de um dos cientistas que trabalhava no laboratório. Nele, há informações que misturam fatos verdadeiros e falsos, e cabe a vocês identificar quais são corretas e quais são enganosas. Ao todo, são 8 perguntas voltadas para fatos históricos, mas vocês podem escolher 3 perguntas que preferem não responder.

## Entregar ao grupo

### Perguntas:

1. Henri Becquerel descobriu um fenômeno específico: a emissão espontânea de radiação por certos elementos, como o urânio, mesmo sem a presença de luz. A descoberta ocorreu acidentalmente por Henri Becquerel enquanto ele estudava sais de urânio.

Resposta: Verdadeiro.

Henri Becquerel descobriu em 1896, de forma acidental, enquanto estudava a fluorescência de sais de urânio. Ele percebeu que as placas fotográficas ficaram impressas sem exposição à luz, o que o levou a concluir que o urânio emitia uma forma de radiação invisível.

2. Marie Curie foi a primeira pessoa a usar o termo "radioatividade" e recebeu dois prêmios Nobel por suas descobertas.

Resposta: Verdadeiro.

Marie Curie foi a primeira a usar o termo "radioatividade" e recebeu dois prêmios Nobel: um em Física (1903) junto com Henri Becquerel e Pierre Curie, e outro em Química (1911) pela descoberta dos elementos radioativos polônio e rádio.

3. Os efeitos nocivos da radiação sobre o corpo humano foram imediatamente compreendidos após sua descoberta.

Resposta: Falso.

Os efeitos nocivos da radiação só foram compreendidos anos depois de sua descoberta. Inicialmente, a radiação era vista como uma "cura milagrosa" e foi usada em diversos tratamentos médicos, cosméticos e produtos de consumo, sem plena consciência dos perigos. Os perigos à saúde, como câncer e queimaduras graves, só foram reconhecidos mais tarde.

4. O uso de radiação em relógios e outros dispositivos que brilham no escuro era seguro e nunca causou problemas de saúde.

Resposta: Falso.

O uso de radiação, especialmente o rádio, para fazer relógios brilharem no escuro causou sérios problemas de saúde. As trabalhadoras que aplicavam a tinta de rádio nos mostradores, conhecidas como "Garotas do Rádio", sofreram com envenenamento por radiação, levando a doenças graves como câncer e necrose óssea.

5. A bomba atômica lançada sobre Hiroshima usava Urânio-235 como material físsil.

Resposta: Verdadeiro.

A bomba atômica lançada sobre Hiroshima em 1945 usava Urânio-235 como material físsil. A fissão nuclear desse isótopo liberou uma quantidade massiva de energia, causando uma explosão devastadora.

6. Os raios X foram descobertos antes da radiação alfa e beta.

Resposta: Verdadeiro.

Os raios X foram descobertos por Wilhelm Conrad Röntgen em 1895, antes da descoberta das radiações alfa e beta por Ernest Rutherford em 1899. Röntgen foi o primeiro a perceber que os raios X podiam atravessar materiais e permitir a visualização de ossos no corpo humano.

7. O elemento rádio foi o primeiro isótopo radioativo a ser utilizado na medicina para o tratamento de câncer.

Resposta: Verdadeiro.

O rádio foi um dos primeiros isótopos radioativos a ser usado no tratamento do câncer, em uma técnica conhecida como braquiterapia. A radiação do rádio era usada para destruir células cancerígenas, embora os perigos da exposição prolongada só fossem compreendidos mais tarde.

8. Chernobyl foi o primeiro acidente nuclear grave da história.

Resposta: Falso.

Embora o desastre de Chernobyl, em 1986, tenha sido um dos mais graves, não foi o primeiro acidente nuclear. Um dos primeiros acidentes conhecidos ocorreu em 1957, em Windscale, no Reino Unido, quando um reator nuclear pegou fogo, liberando radiação na atmosfera.

### **Consequência:**

**Resposta certa:** Lembrem-se de que, para continuar a jornada com segurança, será essencial ter roupas especiais de proteção contra radiação e um contador Geiger. Caso ainda não tenham visitado o Laboratório Radius, é recomendável que façam isso agora. Lá, vocês encontrarão dicas valiosas que poderão ajudar a avançar.

### Entregar ao aluno



**Resposta errada:** Vocês passaram muito tempo tentando decifrar o caderno de anotações do cientista, mas, infelizmente, não encontraram nenhuma informação útil. Esse contratempo custou um tempo valioso, resultando em um acréscimo de 3 horas ao tempo de vocês.

# LABORATÓRIO

## Local com 3 Fases e uma pergunta desafio

### Descrição do laboratório

O laboratório era um prédio extenso e funcional, agora deserto, é um labirinto de corredores escuros e empoeirados. As portas de metal pesado que levam a diferentes salas de pesquisa estão enferrujadas e algumas entreabertas. Cada uma das entradas dá acesso a salas especializadas: uma para reatores em miniatura, outra para análises de partículas, e outras dedicadas à segurança radioativa. As paredes, antes revestidas de aço e chumbo para proteger contra radiação, estão rachadas e manchadas. Equipamentos quebrados e fichas antigas espalham-se pelo chão, enquanto sinais de radiação desbotados ainda alertam sobre o perigo.

## Fase 1

**Contexto:** Vocês decidem entrar em uma das salas com a porta entre aberta, e precisam procurar algo que possa ajudar a escapar da ilha. No entanto, dentro da sala, vocês encontram uma fonte de radiação gama com uma intensidade de 500 mSv/h. Felizmente, há placas de chumbo disponíveis para protegê-los enquanto fazem a busca. Cada placa de chumbo tem 1 cm de espessura.

**Pergunta:** Sabendo que, para ficarem seguros, é necessário reduzir a radiação para 62,5 mSv/h, quantos centímetros de chumbo (ou seja, quantas placas) são necessários para alcançar essa redução?

**8 LABORATÓRIO**

**Pergunta:** Sabendo que, para ficarem seguros, é necessário reduzir a radiação para 62,5 mSv/h, quantos centímetros de chumbo (ou seja, quantas placas) são necessários para alcançar essa redução?

**Dica:** Lembrem que a cada um cm de chumbo se reduz a radiação a metade.

**Resposta:** Calculando

- Após 1cm de chumbo:

$$\frac{500 \text{ mSv}}{\frac{h}{2}} = 250 \text{ mSv/h}$$

- Após 2 cm de chumbo:

$$\frac{250 \text{ mSv}}{\frac{h}{2}} = 125 \text{ mSv/h}$$

Após 3 cm de chumbo:

$$\frac{125 \text{ mSv}}{\frac{h}{2}} = 62,5 \text{ mSv/h}$$

**Resposta:** Portanto são necessários 3cm de chumbo para reduzir a radiação à 62,5 mSv/h, 3 placas de chumbo.

## **Consequência:**

**Resposta certa:** Parabéns! Ao utilizarem o chumbo de maneira correta, vocês conseguiram se proteger da radiação com eficiência. Como recompensa, vocês conquistaram a Carta Resposta.

## **Entregar ao grupo**

### **O que é a Carta Resposta?**

- Permite que vocês obtenham a resposta correta diretamente do mestre, garantindo a consequência positiva do local, sem precisar responder à pergunta.
- Pode ser usada uma única vez, em qualquer momento da jornada, sendo ideal para situações estratégicas, especialmente quando não souberem a resposta de um desafio.



**Resposta errada:** Sem conhecimento sobre os procedimentos de segurança dentro da sala e sem as devidas proteções, a exposição ao ambiente se tornou um risco para a saúde de vocês. Como resultado, alguns membros do grupo começaram a se sentir mal, levando a um acréscimo de 3 horas ao tempo total de jogo.

## Fase 2

**Contexto:** Vocês encontram uma porta trancada que curiosamente ainda funciona, com um símbolo de radiação gravado. Ao lado, uma tabela de elementos químicos com o nome "Césio-137" destacado. Abaixo da tabela, há a seguinte mensagem:

"o número de partículas alfa que o Césio-137 emite durante o seu decaimento."

**Pergunta:** Ao lado dessa porta, há uma matriz que, quando completada, dá acesso à porta trancada. Para finalizar a matriz, vocês precisam descobrir quantas partículas alfa o Césio-137 emite durante o seu decaimento. Repitam essa resposta na coluna faltante para completar a matriz e destravar o acesso à porta.

### Entregar ao grupo

$$\begin{array}{ccc} 1 & 3 & 7 \\ 0 & 5 & 6 \end{array}$$

**Dica:** Prestar atenção no tipo de decaimento sinalizado.

### Resposta:

O Césio-137 é um isótopo radioativo que não emite partículas alfa em seu processo de decaimento. Ele emite partículas beta e radiação gama. Assim, a resposta correta é que o Césio-137 emite 0 partículas alfa.

$$\begin{array}{ccc} 1 & 3 & 7 \\ 0 & 5 & 6 \\ 0 & 0 & 0 \end{array}$$

### Consequência:

**Resposta certa:** Ao entrarem na sala secreta, vocês encontram um atalho que ajudou vocês. Com isso, vocês têm uma redução de 3h no tempo de vocês.

**Resposta errada:** infelizmente vocês não conseguiram abrir a porta, e apenas perderam tempo. Espero que tenham mais sorte da próxima vez. Vocês acabam de acrescentar 3h no tempo de vocês.

## Fase 3

Ao entrar em uma das salas que aparentemente era usada para estudos, enquanto caminhiam, vocês encontram um papel sobre a mesa que contém dicas importantes para entrar na usina. No entanto, próximo ao papel, há um pó caindo sobre a mesa, vindo de um frasco aberto com o símbolo de radiação, indicando que é Césio-137. Atualmente, a contaminação é de 640 Bq. Para acessar o conteúdo do papel, vocês precisam responder à seguinte pergunta:

**Pergunta:** Quantos anos serão necessários para que a atividade do Césio caia para 80 Bq?



**Dica:** Lembrar que a cada meia vida a atividade cai à metade.

**Resposta:**

- Após 1 meia-vida (30 anos):  
 $640 \text{ Bq} \div 2 = 320 \text{ Bq}$
- Após 2 meias-vidas (60 anos):  
 $320 \text{ Bq} \div 2 = 160 \text{ Bq}$

- Após 3 meias-vidas (90 anos):  
 $160 \text{ Bq} \div 2 = 80 \text{ Bq}$

**Conclusão:** Levará 90 anos para que a atividade caia para 80 Bq.

**Consequência:**

**Resposta certa:** Parabéns! Ao acertar, vocês recebem como recompensa um binóculo, que permite ler a dica no papel.

A mensagem diz:

'Para entrar na usina, é necessário que vocês tenham encontrado, ao longo do caminho, roupas especiais usadas para proteção contra radiação. Caso contrário, vocês não poderão acessar o local. Você podem voltar nas fases anteriores para tentar encontrar essas roupas, ou usar algum bônus que vocês possuem.'

**Resposta errada:** Sem entender corretamente o conceito de meias-vidas, vocês ficaram inseguros sobre a possibilidade de se aproximar do papel. Como resultado, não conseguiram ler o que estava escrito e acabaram apenas desperdiçando tempo. Isso fez com que 3 horas fossem adicionadas ao tempo de vocês.

## Pergunta Desafio – Laboratório

Ao andar pelo laboratório, em um canto da parede vocês encontram um caixa escrito datação em cima. Ao abrir tal caixa vocês encontram um pedaço de madeira que estava em um processo de estudos para fazer datação. Sendo assim em uma anotação vocês descobrem que tal pedaço de madeira contém 25% do C-14 original. Sendo assim qual é a idade média do pedaço de madeira?

**Contexto:** Enquanto exploram o laboratório, em um canto da parede vocês encontram uma caixa com a palavra 'Datação' escrita em cima. Ao abrir a caixa, encontram um pedaço de madeira que estava sendo estudado para datação. Em uma anotação, vocês descobrem que esse pedaço de madeira contém apenas 25% do C-14 original.

**Pergunta:** Com base nisso, qual é a idade estimada do pedaço de madeira?

**Entregar ao grupo**



**PERGUNTA  
DESAFIO**

**Pergunta:** Com base nisso, qual é a idade estimada do pedaço de madeira?

**LABORATÓRIO**

**Respostas:** Como restam apenas 25% do carbono original, já se passaram 2 meias-vidas (de 50% para 25%). Considerando que a meia-vida do C-14 é de 5.730 anos, a idade do pedaço de madeira é:

$$\text{Tempo} = \text{quantidade de meia vida} \times \text{tempo de meia vida do carbono}$$

$$\text{Tempo} = 2 \times 5730 \text{ anos}$$

$$\text{Tempo} = 11.460 \text{ anos}$$

Conclusão: o pedaço de madeira tem 11.460 anos

**Consequência:** Por terem respondido corretamente ao desafio, vocês ganham a Carta de Pesquisa.

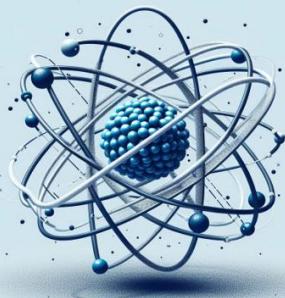
### Entregar ao grupo

Carta de Pesquisa Livre: Permite realizar uma pesquisa ou consulta de até 3 minutos da forma que preferirem, podendo utilizá-la no momento que julgarem mais estratégico.



### Carta de Pesquisa Livre

Permite realizar uma pesquisa ou consulta de até 3 minutos da forma que preferirem, podendo utilizá-la no momento que julgarem mais estratégico.



# LAGO

## Local com 1 fase

**OBS:** Vocês só podem prosseguir se estiverem usando roupas de proteção. Caso não as tenham, perderam 2 horas, pois gastaram tempo indo até o lago sem conseguir acessar. Agora, vocês podem voltar para procurar as roupas e retornar ao lago, ou decidir seguir para outro local. Se já tiverem as roupas de proteção, podem continuar explorando o local.

### Descrição do lago

O lago não é grande, com uma área modesta e uma profundidade rasa, o que permitiu que a radiação e os resíduos nucleares acumulados se concentrassem rapidamente. A água possui um brilho metálico em sua superfície, refletindo o céu. A área ao redor do lago era uma das mais perigosas do planeta. Os níveis de radiação eram tão altos que apenas uma hora de exposição nas proximidades poderia ser letal para um ser humano. Ao longo dos anos, resíduos radioativos foram despejados diretamente nas águas, acumulando-se nos sedimentos do fundo e nas margens do lago.

**Contexto:** Vocês chegam à margem de um lago aparentemente tranquilo. As leituras do contador Geiger indicam altos níveis de radiação no ambiente, e há placas antigas alertando sobre perigo de contaminação. No entanto, apesar da aparente beleza do lago, ele se tornou um dos lugares mais perigosos do mundo.

**Pergunta:** O cientista deixou, ao lado do lago, algumas anotações que podem revelar o problema causado na usina. No entanto, mesmo com roupas de proteção, o local é extremamente radioativo. Em determinadas áreas secas do lago, a radiação medida é de 5000 roentgens por hora, e sabemos que uma dose letal para um ser humano é cerca de 500 roentgens. Quanto tempo vocês poderiam permanecer ao lado do lago antes de atingir uma dose fatal de radiação?

**7 LAGO**

**Pergunta:** O cientista deixou, ao lado do lago, algumas anotações que podem revelar o problema causado na usina. No entanto, mesmo com roupas de proteção, o local é extremamente radioativo. Em determinadas áreas secas do lago, a radiação medida é de 5000 roentgens por hora, e sabemos que uma dose letal para um ser humano é cerca de 500 roentgens. Quanto tempo vocês poderiam permanecer ao lado do lago antes de atingir uma dose fatal de radiação?

**Dica:**

$$Tempo = \frac{Dose\ Letal}{Taxa\ de\ radiação}$$

**Resposta 1:**

A radiação medida é de 5000 roentgens por hora, e a dose letal para um ser humano é de aproximadamente 500 roentgens. Para calcular quanto tempo levaria para atingir essa dose, dividimos a dose letal pela taxa de exposição:

Essa pergunta envolve o cálculo de quanto tempo uma pessoa pode ficar exposta à radiação de 5000 roentgens por hora antes de atingir uma dose letal de 500 roentgens.

Passo a passo para resolver:

1. Sabemos que a dose letal é 500 roentgens.
2. A taxa de radiação é de 5000 roentgens por hora.
3. Precisamos calcular o tempo necessário para que uma pessoa absorva 500 roentgens de radiação.

$$Tempo = \frac{Dose Letal}{Taxa de radiação}$$

$$Tempo = \frac{500 \text{ roentgens}}{5000 \text{ roentgens}} = 0,1 \text{ hora}$$

Convertendo horas em minutos

$$0,1 \text{ hora} \times 60 \text{ min} = 6 \text{ min}$$

Vocês poderiam permanecer ao lado do lago por apenas 6 minutos antes de atingir uma dose fatal de radiação de 500 roentgens.

### **Consequência:**

Reposta esperada: Vocês encontram uma anotação do cientista afirmando que a usina sempre foi muito segura e equipada com todos os dispositivos de segurança. No entanto, o engenheiro-chefe decidiu realizar um teste de segurança no reator que levava os limites operacionais ao extremo. Além disso, o teste foi adiado por algumas horas, logo a equipe noturna não estava preparada para executá-lo. Mesmo assim, o supervisor responsável insistiu em fazer o teste, por negligência, o que acabou comprometendo a segurança e colocando o reator em risco.

Como já desvendaram um dos possíveis motivos da explosão na usina, vocês ganham uma senha importante que ajudara vocês a entrarem na usina.

### **Entregar ao grupo**



Resposta errada: Infelizmente, vocês não conseguiram acessar as anotações do cientista, o que resultou em um atraso sem trazer nenhum progresso. Como dica, lembrem-se de que essas anotações são essenciais para avançar no jogo. Fiquem atentos e busquem maneiras mais eficazes de encontrá-las.

# GRUTA ABANDONADA

## Local com 1 fase

### Descrição do local

Escondida à margem de uma floresta devastada pela radiação, a gruta se estende como um labirinto natural de corredores estreitos e frios. A entrada é parcialmente coberta por raízes retorcidas e vegetação avermelhada, e, ao adentrar, túneis sinuosos se desdobram em várias direções, criando uma sensação de perda e isolamento. Sons suaves de gotejamento ecoam pelas passagens. As paredes úmidas, cobertas de musgo esbranquiçado, refletem uma luz pálida que mal revela o próximo caminho. O eco dos passos ressoa.

**Contexto:** Vocês se deparam com um labirinto dentro da gruta abandonada.

No local, encontram três corredores diferentes, ao final do corredor é possível visualizar uma caixa, caixa essa que pode conter coisas importantes pois tem o símbolo da usina. ao encontrar os corredores o contador Geiger que vocês carregam indica diferentes níveis de radiação em cada um deles:

- Corredor A: 600 mSv/h (tempo de travessia: 10 minutos)
- Corredor B: 300 mSv/h (tempo de travessia: 20 minutos)
- Corredor C: 150 mSv/h (tempo de travessia: 25 minutos)

**Pergunta:** Vocês têm três opções de corredores, cada um com tempos de travessia e níveis de radiação diferentes. Sabendo que a dose máxima de radiação que vocês podem receber é de 75 mSv, calculem qual corredor permite a travessia sem exceder esse limite. Qual corredor vocês escolheriam?

## 12 GRUTA

**Pergunta:** Vocês têm três opções de corredores, cada um com tempos de travessia e níveis de radiação diferentes. Sabendo que a dose máxima de radiação que vocês podem receber é de 75 mSv, calculem qual corredor permite a travessia sem exceder esse limite. Qual corredor vocês escolheriam?



### Dica

$$Tempo = \frac{Dose\ limite}{Taxa\ de\ Radiação}$$

### Resposta:

$$Tempo = \frac{Dose\ limite}{Taxa\ de\ Radiação}$$

### Corredor A:

$$Tempo = \frac{\frac{75mSv}{h}}{\frac{600mSv}{h}}$$

$$Tempo = 0,125h = 7,5\text{min} \text{ no máximo}$$

### Corredor B

$$Tempo = \frac{\frac{75\text{mSv}}{h}}{\frac{300\text{mSv}}{h}}$$

$$Tempo = 0,25h = 15\text{ min} \text{ no máximo}$$

### Corredor C

$$Tempo = \frac{\frac{75\text{mSv}}{h}}{\frac{150\text{mSv}}{h}}$$

$$Tempo = 0,5\text{ h} = 30\text{ min} \text{ no máximo}$$

De acordo com as taxas de radiação e o tempo limite de exposição, o Corredor C é o ideal, pois vocês podem permanecer nele por até 30 minutos antes de atingir a dose limite de 75 mSv, e a travessia levaria apenas 25 minutos.

### Consequência:

**Resposta certa:** Parabéns por encontrar a caixa do cientista! Dentro dela, vocês descobrem uma carta curinga, que pode ser usada a qualquer momento da jornada. Essa carta tem poderes especiais: ela pode substituir um item necessário para entrar na usina ou reduzir em até 5 horas o tempo perdido em ações futuras. Escolham sabiamente o momento de utilizá-la, pois ela pode ser decisiva para alcançar o objetivo final!

### Entregar ao grupo



### Carta Curinga

*Substitui qualquer item necessário para acessar a usina ou reduz até 5 horas do tempo total do grupo.*



**Resposta errada:** Sem saber exatamente qual corredor seguir, vocês acabaram perdendo tempo e não encontraram a caixa que estava no final. Como consequência, deixaram de acessar as dicas valiosas que estavam dentro dela. Esse contratempo resultou em um acréscimo de 3 horas ao tempo de vocês.

# **LABORATÓRIO RADIUS**

## **Local com uma fase**

Sejam bem-vindos ao Laboratório Radius! Vocês precisarão responder corretamente às três perguntas a seguir. Caso acertem todas, terão acesso direto à porta 02 da usina, sem precisar descobrir a senha. Se não conseguirem responder corretamente, podem tentar novamente ou seguir até a usina e tentar desvendar a senha diretamente no local.

### **Descrição do laboratório Radius**

O laboratório, agora deserto, é um edifício de concreto desgastado, com vidraças sujas e algumas rachaduras profundas nas paredes. A entrada está tomada por sinais desbotados que antes alertavam sobre protocolos de segurança e níveis de exposição controlados. Corredores escuros levam a salas de pesquisa repletas de antigos equipamentos de radiação, como máquinas de raio-X e câmaras de irradiação, deixados às pressas quando o local foi evacuado.

Dentro das salas, há bancadas de metal cobertas de poeira, com frascos de vidro e etiquetas amareladas indicando substâncias que irradiavam pequenas doses controladas de radiação. Os documentos e registros de experimentos ainda estão espalhados, mostrando estudos sobre o uso da radiação em terapias de câncer, conservação de alimentos e melhoramento genético de plantas. Muitos papéis estão rasgados, e fichários caídos pelo chão sugerem uma fuga rápida e desorganizada.

Esse laboratório era utilizado para pesquisas avançadas sobre os benefícios da radiação e suas aplicações positivas na vida das pessoas. Vários cientistas se dedicavam a estudar como a radiação poderia ser usada de forma segura, especialmente nas áreas de medicina, agricultura e tecnologia, visando melhorar a qualidade de vida e contribuir para avanços científicos.

## **Fase única**

### **Entregar ao grupo**

Neste local, vocês enfrentarão um desafio triplo: três perguntas em uma única rodada.

## Como funciona?

- Vocês podem escolher duas das três perguntas para responder.
- Para conquistar o bônus e obter a recompensa completa, precisam acertar duas das três perguntas propostas.

**Contexto:** Vocês conseguem um documento em que os cientistas se reuniram para discutir os avanços no tratamento do câncer. Nessas anotações é visto que o chefe da equipe comentava sobre o impacto das tecnologias de radiação na medicina. Dentro dessas anotações é possível encontrar a seguinte frase "Sabemos que a radiação é uma ferramenta poderosa no tratamento de várias doenças".

**Pergunta:** Como exatamente a radiação é usada para ajudar a combater células cancerígenas em pacientes?"

**Resposta:** A radiação é usada na radioterapia, um tratamento em que feixes de radiação de alta energia são direcionados para destruir ou encolher células cancerígenas. É uma técnica essencial no tratamento de diversos tipos de câncer.

---

Em um outro documento, entre anotações e cálculos, um dos cientistas estudava sobre métodos para reduzir o desperdício e aumentar a segurança alimentar, esse cientista sugere que “Muitos não sabem, mas a radiação pode ajudar a preservar e tornar os alimentos mais seguros”.

**Pergunta:** Que método baseado em radiação usamos para prolongar a validade e eliminar microrganismos nos alimentos?"

**Resposta:** Esse método é a **irradiação de alimentos**. A exposição à radiação de baixa dose elimina bactérias e microrganismos, ajudando a manter os alimentos frescos por mais tempo e a reduzir o risco de contaminações.

---

**Contexto:** Em outro documento vocês encontram uma discussão sobre Soluções em Segurança, os cientistas discutem como a radiação pode ser útil para manter a segurança em locais públicos.

**Pergunta:** Sabe-se que a radiação pode ser utilizada em aeroportos para ajudar na segurança. Como ela pode ser utilizada para garantir a segurança dos passageiros?

**Resposta:** A radiação é utilizada em scanners de segurança, que permitem inspeções rápidas e seguras em aeroportos e outros locais movimentados. Esses dispositivos utilizam doses baixas de radiação para identificar itens ocultos.

### **Consequência:**

**Resposta certa:** Parabéns! Vocês acabam de completar os documentos relacionados aos estudos de física nuclear e como essa ciência pode contribuir ativamente para melhorar a vida das pessoas, oferecendo diversos benefícios. Como recompensa por esse avanço, vocês ganham roupas especiais que vai ajudar vocês a entrarem na usina e em outros locais da ilha.

### **Entregar ao grupo**



**Resposta errada:** Infelizmente, sem compreender e concluir as pesquisas avançadas que os cientistas estavam realizando sobre os benefícios da radiação, vocês não conseguiram encontrar o item necessário para avançar adequadamente no jogo. Além disso vocês perderam tempo, com isso foram acrescentadas 3h no tempo de vocês.

Aqui vai uma dica: essas pesquisas são fundamentais! Se tiverem a oportunidade, considerar refazer as situações-problema ou revisitar esse local pode ser uma estratégia válida. Prestar atenção nos benefícios da radiação pode fazer toda a diferença no progresso de vocês!

# HOSPITAL

## Local com cinco fase

### Descrição do hospital

O Hospital outrora movimentado, agora está em ruínas, corroído pelo tempo e pela radiação. Os corredores são escuros e silenciosos, com macas enferrujadas, cadeiras de rodas abandonadas e equipamentos médicos antigos espalhados, como se todos tivessem fugido às pressas. Paredes descascadas e rachadas mostram sinais de deterioração, enquanto lâmpadas piscam fracamente, lançando sombras sinistras.

Na sala de emergência, colchões rasgados e medicamentos quebrados se espalham pelo chão, criando uma atmosfera de desespero. Na UTI, camas cobertas de poeira e ventiladores enferrujados contrastam com o silêncio opressor. No porão do hospital, onde eram armazenados os equipamentos de descontaminação e roupas protetoras, há pilhas de trajes antirradiação jogados no chão, alguns ainda com manchas radioativas. Um contador Geiger que emite cliques esporádicos, indicando a presença de radiação.

Há roupas médicas e bandagens espalhadas pelo chão, além de frascos de medicamentos quebrados. Ao fundo, uma máquina de raio-X antiga e enferrujada repousa sobre um suporte quase caindo.

Há papéis médicos e relatórios espalhados pelo chão, alguns indicando o tratamento desesperado de vítimas da exposição à radiação.

## Fase 1

**Contexto:** Vocês são direcionados ao porão do hospital, um local ainda altamente contaminado, pois foi onde as roupas dos bombeiros, que foram as primeiras pessoas a responder ao acidente na usina, foram descartadas. Como ninguém sabia da gravidade da situação, os bombeiros atenderam ao chamado sem qualquer proteção. Ao entrarem na sala, vocês encontram um monitor que ainda funciona e exibe a quantidade de radiação no ambiente: 200 mSv (milisieverts) por hora. Nessa sala, vocês podem encontrar algo importante, como dados do acidente na usina.

**Pergunta:** Se vocês permanecerem nesta sala por 15 minutos, o tempo necessário para encontrar o que procuram, qual será a dose total de radiação recebida? Você decide permanecer no local ou sair?



### Resposta:

Passo 1: Informações iniciais

- Taxa de radiação: 200 mSv por hora
- Tempo de permanência: 15 minutos

Passo 2: Converter o tempo de permanência em horas

$$15\text{min} = \frac{15}{60} = 0,25\text{h}$$

Passo 3: Calcular a dose total de radiação

A dose total ( D) recebida é dada por

$$D = 200 \frac{\text{mSv}}{\text{h}} \times 0,25\text{h} = 50\text{mSv}$$

Resumo dos Cálculos:

- Dose total de radiação recebida em 15 minutos: 50 mSv

Análise de Segurança

- 50 mSv em uma única exposição é uma dose elevada, especialmente para uma exposição de curta duração.
- Este nível de radiação não é seguro para o público em geral ou trabalhadores, já que ultrapassa os limites anuais recomendados para exposição segura:

- O limite anual para trabalhadores da área nuclear é de 20 mSv por ano (com exposições ocasionais de até 50 mSv em casos excepcionais).
- Para o público em geral, o limite anual é de 1 mSv.

## Conclusão

Permanecer nessa sala por 15 minutos, recebendo 50 mSv, não é seguro para a maioria das pessoas, dado que essa dose representa um risco elevado de efeitos adversos à saúde.

### **Consequência:**

#### **Resposta certa:**

Sabendo que não é seguro permanecer na sala por mais de 15 min, vocês fazem uma busca e resolvem sair do local de forma rápida. No entanto, descobrem um documento que pode ajudar vocês, assim vocês conquistaram a Carta Resposta

### **Entregar ao aluno**

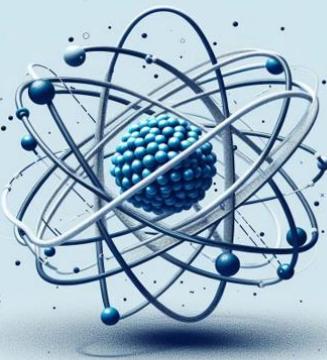
O que é a Carta Resposta?

- Permite que vocês obtenham a resposta correta diretamente do mestre, garantindo a consequência positiva do local, sem precisar responder à pergunta.
- Pode ser usada uma única vez, em qualquer momento da jornada, sendo ideal para situações estratégicas, especialmente quando não souberem a resposta de um desafio.



**Carta  
Resposta**

*Permite que vocês obtenham a resposta correta diretamente do mestre, garantindo a consequência positiva do local, sem precisar responder à pergunta.*



**Resposta errada:** Permanecer por mais de 15 minutos neste local será extremamente prejudicial. Os níveis de radiação recebidos não são adequados e podem causar danos

graves. Apesar de o acidente ter ocorrido há muito tempo, as roupas ainda emitem radiação. Como consequência, vocês acabam de acrescentar 3 horas ao tempo de jogo.

## Fase 2

**Contexto:** Ao entrarem em uma sala, vocês encontram um frasco com uma anotação ao lado, indicando que ele foi utilizado nos dias seguintes ao acidente para ajudar a prevenir danos causados pela radiação no corpo. No entanto, o rótulo do frasco está danificado, e tudo o que vocês sabem é que o medicamento serve para proteger a tireoide.

**Pergunta:** Sabendo que esse medicamento pode ajudar na proteção em locais altamente contaminados, de qual substância se trata? Você decidiriam tomá-lo?



**Resposta:** O medicamento é o iodo estável (iodeto de potássio), que protege a glândula tireoide, bloqueando a absorção de iodo radioativo. Isso ajuda a prevenir o desenvolvimento de câncer de tireoide.

### Consequência:

**Resposta certa:** vocês tomaram a medicação que irá ajudar vocês a se protegerem, dessa forma vocês reduzem 4h do tempo de vocês.

**Resposta errada:** Sem saber exatamente o que estão bebendo, há o risco de ingerirem algum remédio que poderia prejudicá-los. Diante da incerteza, vocês perderam tempo tentando decifrar a situação. Como consequência, 3 horas foram acrescentadas ao tempo de vocês.

## Fase 3

**Contexto:** Vocês encontram um relatório de um cientista dentro de uma sala de descontaminação no hospital, onde ele registra os tipos de elementos radioativos presentes em alguns dos pacientes expostos. O relatório menciona que o elemento principal é o Urânio-238 (U-238), que sofre uma série de decaimentos para formar outros elementos radioativos até finalmente se estabilizar como Chumbo-206 (Pb-206).

O cientista destacou que um dos elementos intermediários, que é o terceiro na sequência de decaimento, é crucial para entender os perigos de exposição, pois ele também emite partículas alfa.

**Pergunta:** Identifique o terceiro elemento da cadeia de decaimento do Urânio-238. Com o nome desse elemento, vocês conseguirão destrancar o armário do cientista, que contém informações importantes sobre os procedimentos de descontaminação.



### Dicas:

- Observem a sequência dos decaimentos nucleares começando com o Urânio-238.
- Lembrem-se de que o terceiro elemento também é um tipo de urânio, mas com uma massa diferente.

### Resposta:

Aqui está a sequência correta dos primeiros elementos na série de decaimento do Urânio-238:

1. Urânio-238 (U-238) decai para Tório-234 (Th-234).

2. Tório-234 (Th-234) decai para Protactínio-234 (Pa-234).
3. Protactínio-234 (Pa-234) decai para Urânio-234 (U-234).

O terceiro elemento na série de decaimento do Urânio-238, portanto, é Urânio-234 (U-234).

### **Consequência:**

**Resposta certa:** Ao identificar corretamente o elemento ao qual o cientista se referia, vocês adquiriram uma compreensão mais profunda sobre como se proteger contra seus efeitos. Além disso, encontraram outro relatório crucial, que aponta para a possibilidade de algo importante estar localizado na fase 7 da usina nuclear. Assim que entrarem na usina, vocês já saberão exatamente onde concentrar seus esforços para avançar com mais eficiência. Boa sorte na próxima etapa!

**Resposta errada:** Sem saber qual elemento o cientista estava pesquisando e se ele poderia causar algum dano, vocês ficaram sem informações sobre a substância. Dessa forma, perderam tempo indo até o local indicado. Como consequência, 3 horas foram acrescentadas ao tempo do grupo.

## **Fase 4**

**contexto:** Ao entrarem em uma sala, vocês encontram registros que listam os nomes dos pacientes, organizados conforme a gravidade de sua condição. Este hospital se tornou uma importante fonte de informações, já que foi o local mais acessado e utilizado para atender os afetados logo após o acidente. Algo essencial que os médicos sempre precisaram observar, é a diferença entre tipos de contaminação. Alguns pacientes sofreram contaminação direta, enquanto outros tiveram apenas exposição indireta. Assim, a equipe médica precisou fazer uma triagem cuidadosa para determinar onde cada paciente deveria ser atendido.

**Pergunta:** Por que é importante diferenciar entre contaminação e exposição à radiação ao tratar pacientes vindos da área da usina?



**Resposta:** É importante porque exposição significa que o paciente foi atingido por radiação externa e pode não estar mais radioativo, enquanto contaminação indica que partículas radioativas aderiram ao corpo ou entraram no organismo, podendo continuar emitindo radiação. Contaminação exige medidas adicionais para remover partículas radioativas, como lavagem e descarte de roupas.

#### Consequência:

Ao compreenderem a diferença entre exposição e contaminação por radiação, vocês conseguem planejar de forma mais eficaz como atravessar os locais da ilha. Essa distinção é essencial para evitar riscos desnecessários e garantir a segurança na jornada.

Para aprimorar ainda mais sua missão, é recomendado que vocês visitem a Casa 2, onde poderão encontrar informações cruciais para facilitar a entrada na usina. Caso já tenham explorado a Casa 2, como bônus, vocês recebem uma redução de 4h no tempo de vocês.

## Fase 5

**Contexto:** Vocês continuam caminhando pelo hospital e encontram várias anotações espalhadas pelo chão. Essas informações podem ser importantes, já que, em algum momento, vocês terão que entrar no local mais contaminado da cidade: a usina nuclear. Quanto mais vocês souberem sobre proteção, melhor estarão preparados. Decidem então pegar algumas anotações em uma prateleira, mas muitas delas foram apagadas pelo tempo. Essas anotações abordam os efeitos dos diferentes tipos de radiação nos pacientes.

A primeira parte está preservada e diz o seguinte: “Radiação alfa tem baixa penetração e não atravessa a pele, mas é perigosa se inalada ou ingerida.”

**Pergunta:** Para compreenderem melhor como a radiação pode afetá-los, continuem a descrição acima com as características da radiação beta e da radiação gama.



**Resposta:**

- **Radiação alfa** tem baixa penetração e não atravessa a pele, mas é perigosa se inaladas ou ingeridas.
- **Radiação beta** pode penetrar alguns milímetros na pele e causar queimaduras, mas é barrada por roupas e vidros finos.
- **Radiação gama** tem alta penetração e pode atravessar o corpo e tecidos, exigindo barreiras espessas como chumbo para proteção.

**Consequência:**

**Resposta certa:** vocês ganham uma carta muito importante, a carta bônus horas.

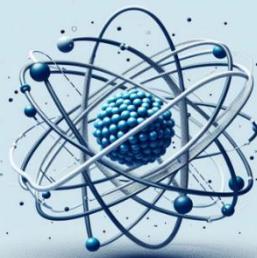
**Entregar ao aluno**

- 1- Carta Bônus de Horas: Com essa carta, vocês podem responder a uma pergunta e mesmo errando vocês não perderão horas. Vocês podem usar 1x a qualquer momento no jogo.



### Carta bônus horas

*Com essa carta, vocês podem responder a uma pergunta e mesmo errando vocês não perderão horas. Você pode usar 1x a qualquer momento no jogo.*



**Resposta errada:** Sem conhecer a definição de cada tipo de partícula e seus possíveis efeitos, é arriscado transitar por esse local sem a devida informação. A falta de conhecimento sobre o caminho seguro faz com que vocês se atrasem, resultando na perda de tempo. Como consequência, 3 horas foram acrescentadas ao tempo de vocês.

### Pergunta Desafio:

**Contexto:** Após o acidente na usina, um cientista deixou instruções detalhadas sobre a necessidade de monitorar uma área específica do hospital, onde os pacientes mais graves ficaram. Esta sala do hospital foi exposta a uma fonte de radiação de césio-137, que decai em uma meia-vida de 30 anos. A exposição inicial nessa sala é de 500 roentgens por hora. Um trabalhador precisa entrar nessa área uma vez por ano por 30 minutos para realizar medições importantes, e fará isso ao longo de 10 anos.

**Pergunta:** Considerando que a radiação de césio-137 diminui pela metade a cada 30 anos, qual será a dose acumulada ao final dos 10 anos?

**Entregar ao grupo**



## **PERGUNTA DESAFIO**

**Pergunta:** Considerando que a radiação de césio-137 diminui pela metade a cada 30 anos, qual será a dose acumulada ao final dos 10 anos?

HOSPITAL

**Dica:** Calcule a dose de cada exposição anual considerando o decaimento ao longo dos anos, e some os valores obtidos para encontrar a dose total acumulada.

Para responder essa pergunta, precisamos calcular a dose de radiação acumulada que o trabalhador receberá ao longo de 10 anos, considerando a meia-vida do Césio-137 e a duração da exposição.

Aqui está a abordagem passo a passo para calcular a dose:

1. Entender a taxa de exposição inicial: A exposição inicial na sala é de 500 roentgens por hora (R/h).
  2. Calcular a dose para cada visita de 30 minutos:

$$\text{Dose por visita} = \frac{500R}{2} = 250R$$

3. Considerar a meia-vida do Césio-137:
    - O Césio-137 tem uma meia-vida de 30 anos, o que significa que ao final dos 10 anos, sua radiação será praticamente a mesma, pois 10 anos é apenas 1/3 de uma meia-vida. Portanto, a exposição pode ser considerada constante ao longo dos 10 anos para simplificação.
  4. Calcular a dose total ao longo dos 10 anos:
    - O trabalhador realiza essa medição uma vez por ano durante 10 anos.

$$\text{Dose aculumada} = 250\text{R} \times 10 = 2500\text{R}$$

## Resumo da Resposta:

A dose acumulada ao final dos 10 anos será de 2500 roentgens.

### **Consequência:**

**Resposta certa:** Após calcular a dose acumulada vocês podem monitorar o local, com essa descoberta, vocês ganham um benefício especial: ao entrarem na usina, terão acesso direto à consequência da Fase 6 sem a necessidade de responder à pergunta dessa etapa.

Importante: Ao chegarem à usina, lembrem-se de informar o mestre para ativar o benefício. Boa sorte!

### **Entregar ao grupo**



**Resposta errada:** Sem saber exatamente o nível de radioatividade presente na sala, vocês não ganham o bônus, infelizmente. Vocês continuam a missão, mas com um acréscimo de 3 horas.

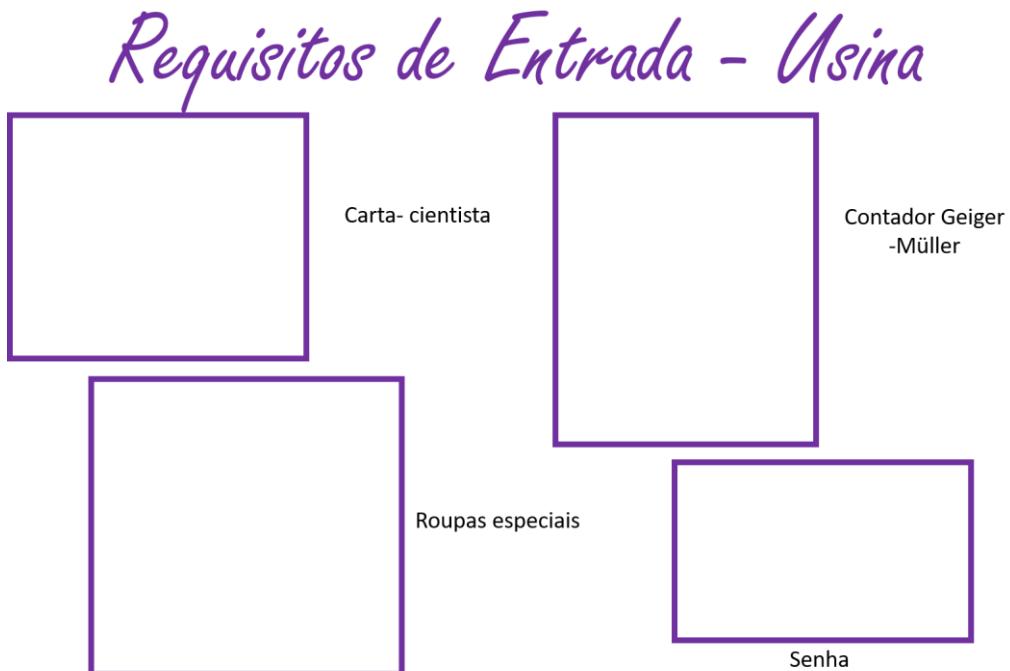
# USINA NUCLEAR

Para ingressar na usina, vocês precisam reunir todos os itens essenciais indicados na folha de requisitos entregue a vocês. Esses itens são indispensáveis para garantir sua segurança e o progresso na missão.

Caso não possuam todos os itens necessários, será preciso retornar a alguns locais anteriores para encontrá-los. Planejem bem suas ações: usem suas cartas bônus de forma estratégica e avaliem as melhores maneiras de adquirir o que falta.

Se já possuem todos os itens, parabéns! Vocês estão oficialmente prontos para entrar na usina. A jornada está chegando ao seu clímax, e a saída da ilha está cada vez mais próxima. Confie em suas decisões e continue empenhado.

## Entregar ao aluno



## Local com 6 fases

Bem-vindos a um dos locais mais perigosos do mundo: a usina nuclear após o acidente. Aqui, vocês poderão descobrir tanto uma forma de sair da ilha quanto a causa do acidente. No entanto, este ambiente é altamente radioativo, então não devem perder muito tempo.

Devido à intensa radiação, é essencial que saiam rapidamente. A usina possui várias áreas, mas vocês terão acesso apenas a um prédio afastado da área do acidente principal. O sarcófago, que contém o reator danificado, é inacessível e seria fatal permanecer ali por mais do que alguns minutos. Portanto, lembrem-se de que estão explorando apenas uma seção da usina.

Boa sorte

## Descrição Usina

A usina agora destruída, é um complexo de estruturas industriais abandonadas e corroídas, com sua construção central parcialmente destruída. O edifício do reator está envolto por andaimes danificados e camadas de concreto rachado, onde a explosão e o calor radioativo deixaram fissuras e grandes buracos nas paredes.

está contida em uma estrutura de confinamento conhecida como **Sarcófago** ou **Novo Confinamento Seguro**, que cobre o reator número, o epicentro do desastre nuclear. Essa estrutura gigantesca, foi projetada para isolar a radiação ainda presente e impedir a liberação de partículas radioativas. Ela tem uma forma de arco de aço e é resistente o suficiente para durar pelo menos um século. Seu objetivo é conter o material radioativo e dar espaço para os processos de desmantelamento seguro no futuro. Não é possível adentrar nesse ambiente.

Os outros reatores da usina foram desligados ao longo dos anos seguintes ao desastre, e o local passou por processos de contenção e descontaminação. Os níveis de radiação ainda são elevados em algumas áreas próximas ao reator, mas em níveis controlados dentro da estrutura de segurança.

**As torres de resfriamento**, imponentes, mas enferrujadas, ainda se erguem ao fundo, embora as fissuras e o concreto desmoronado revelem os anos de abandono.

Dentro do edifício principal, os corredores longos e estreitos estão cobertos de escombros: pedaços de teto desabaram, canos estão expostos, e o piso rachado apresenta poças d'água estagnada e manchas de ferrugem.

Os painéis e portas de metal, antes selados para conter a radiação, agora estão deformados e enferrujados, com algumas portas seladas permanentemente e outras abertas, revelando salas sombrias. Nas **salas de controle**, os consoles e painéis ainda apresentam restos de tecnologia da época, cobertos de poeira e vidro quebrado. As luzes vermelhas apagadas dos alarmes indicam onde as sirenes soaram pela última vez.

Tanques de resfriamento e linhas de tubos industriais serpenteiam pelo terreno, cobertos de musgo e com vazamentos esporádicos.

## FASE 1

**Contexto:** vocês chegam a uma sala, perto da sala de controle onde há sinais de perigo e de contaminação radioativa. Vocês estão cada vez mais próximo da onde ocorreu o acidente. No chão, encontram um desenho circular que marca o limite de segurança para a radiação, com uma placa ao lado que diz: áreas foram delimitadas para evitar a exposição excessiva à radiação. vocês ainda precisam encontrar dicas para sair da ilha.

**Pergunta:** Se você está a uma distância de 5 metros de uma fonte radioativa que emite 50 Sv/h (Sieverts por hora), o quanto seguro estará depois de 30 minutos de exposição para procurar algo? Qual deve ser a distância mínima para garantir que você não receba mais do que 1 Sv após esse tempo?"



**Dica:**  $Dose\ total = Taxa\ de\ exposição \times tempo$

### Parte 1: Segurança a 5 metros após 30 minutos de exposição

#### 1. Dados iniciais:

- Taxa de exposição a 5 metros: 50 Sv/h
- Tempo de exposição: 30 minutos (ou  $30/60 = 0,5$  horas)

#### 2. Calcular a dose recebida em 30 minutos:

$$Dose\ total = Taxa\ de\ exposição \times tempo =$$

$$Dose\ total = 50 \frac{Sv}{h} \times 0,5h = 25\ Sv$$

### 3. Análise de segurança:

- **25 Sv** é uma dose extremamente perigosa e letal. Ficar a 5 metros da fonte por 30 minutos **não é seguro**.

### **Parte 2: Distância mínima para limitar a exposição a 1 Sv em 30 minutos**

Para limitar a exposição a no máximo 1 Sv, usaremos o **Princípio do Inverso do Quadrado da Distância**, que indica que a intensidade da radiação diminui com o quadrado da distância da fonte.

#### 1. Dose desejada em 30 minutos:

- A exposição máxima permitida é **1 Sv** em 30 minutos.

#### 2. Converter a dose máxima para uma taxa horária:

- Para 30 minutos (ou 0,5 horas), a taxa máxima permitida é

$$Taxa\ máxima\ permitida = \frac{1\ Sv}{0,5h} = 2\ Sv/h$$

#### 3. Aplicar o Princípio do Inverso do Quadrado da Distância:

- Sabendo que a taxa de radiação a 5 metros é 50 Sv/h, queremos saber a distância d onde a taxa cai para 2 Sv/h.
- A relação entre a taxa de exposição e a distância é:

$$\frac{\frac{50vS}{h} \times (5)^2}{d^2}$$

Simplificando para d :

$$d = 5 \times \sqrt{\frac{50}{2}} = 25m$$

### **Resumo**

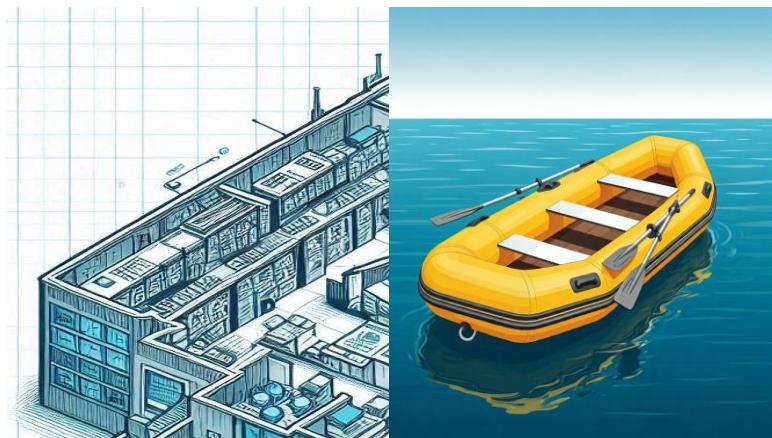
Para garantir que a exposição não ultrapasse 1 Sv em 30 minutos, você deve manter uma distância mínima de aproximadamente 25 metros da fonte de radiação.

### **Consequência:**

**Resposta certa:** Parabéns! Ao vasculhar a sala, vocês descobriram uma pista crucial para sua jornada: a localização de um bote que poderá facilitar a saída da ilha e aproximá-los do objetivo final. No entanto, a jornada ainda não está concluída. Apesar de terem encontrado o bote, é fundamental determinar a rota segura para escapar da ilha.

Sair sem o planejamento adequado pode ser fatal, já que áreas contaminadas e outros perigos estão espalhados ao redor. Vocês precisam continuar explorando a usina para encontrar os itens e informações essenciais que garantirão uma fuga segura. Mantenham o foco e estejam atentos, cada pista pode ser a chave para sua sobrevivência!

### **Entregar ao aluno**



**Resposta errada:** Sem saber exatamente qual é a distância mínima e o tempo seguro para permanecer no local, vocês optam por sair sem vasculhar a sala. Como consequência, 3 horas são acrescidas ao tempo de vocês. Lembrando que essa sala é de grande importância para a missão.

## **Fase 2**

**Contexto:** Ao entrar na sala de 6 da usina, vocês encontram um computador muito antigo, identificado com o nome de um dos técnicos que trabalhavam na usina no dia do acidente. No entanto, o acesso ao computador está protegido por uma senha. Para desbloqueá-lo, vocês precisarão decifrar a senha usando as respostas numéricas que encontraram até

agora. Cada resposta numérica corresponde a uma letra específica; ao correlacioná-las corretamente, vocês descobrirão a senha para ligar o computador.

"Cada número relacionado a um elemento radioativo que passou por decaimentos sucessivos. Descubra os números corretos usando as informações a seguir."

## Entregar ao grupo

### Pergunta:

1. Pista 1: O primeiro número corresponde ao número de decaimentos alfa que o urânio-238 precisa passar para se transformar em chumbo-206.
2. Pista 2: O segundo número é o número de decaimentos beta que o urânio-238 também passa até se transformar em chumbo-206.
3. Pista 3: O terceiro número é a quantidade de partículas alfa emitidas quando o polônio-210 decai completamente em chumbo-206.
4. Pista 4: o quarto número é o número de decaimentos gama

## Entregar ao aluno

Qual é a combinação correta do cadeado?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F	G	O	G	E	L	I	A	U	A

Usar para fazer a correlação


- 
- 
1. Primeira pista (Decaimentos alfa do urânio-238):  
O urânio-238 passa por 8 decaimentos alfa antes de se transformar em chumbo-206.

2. Segunda pista (Decaimentos beta do urânio-238):  
Durante o processo de decaimento até se transformar em chumbo-206, o urânio-238 passa por 6 decaimentos beta.
3. Terceira pista (Decaimentos alfa do polônio-210):  
O polônio-210 emite 1 partícula alfa para se transformar em chumbo-206.
4. Quarta pista: (Decaimento gama do urânio-238)  
O Urânio não passa por nenhum decaimento gama.

**Resposta:**

Palavra encontrada a partir da correlação:

<b>Números</b>	8	6	1	0
<b>Letras</b>	A	L	F	A

**Consequência:**

**Resposta correta:**

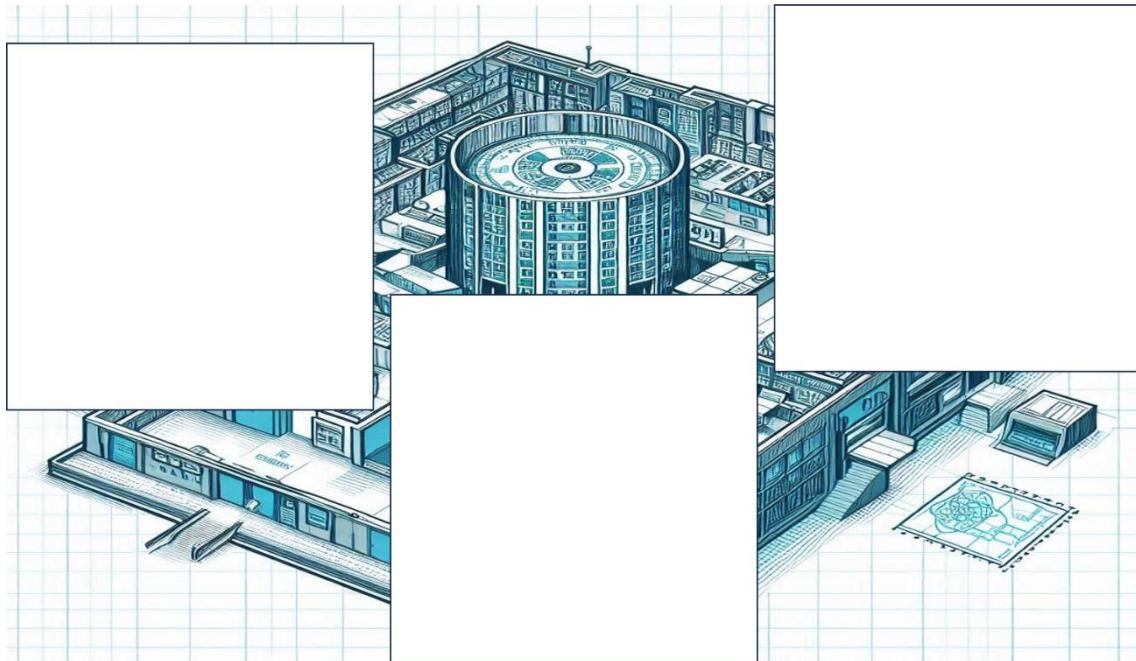
Parabéns! Vocês acabam de encontrar um mapa crucial para a sua missão. Esse mapa é incompleto, e sua tarefa será preencher-lo com informações vitais que foram coletadas ao longo da jornada. Ao completar o mapa, ele revelará a localização exata da sala de emergência, um dos poucos locais que permaneceram intactos após o acidente.

A sala de emergência é um espaço seguro, projetado para suportar situações extremas, incluindo altos níveis de radiação. É lá que vocês encontrarão os recursos necessários para organizar sua saída da ilha. Outros locais ainda estão contaminados ou apresentam perigos adicionais, tornando-os impraticáveis para fuga.

Seu desafio agora é garantir que o mapa seja completado corretamente, pois apenas a rota indicada levará vocês ao local seguro. Boa sorte, e lembrem-se de que cada decisão pode fazer a diferença!

**Entregar ao aluno**

# Mapa de saída - emergência



**Resposta errada:** Sem descobrir a senha, vocês não conseguem acessar o computador e, consequentemente, não obtêm uma informação crucial que os ajudaria diretamente a deixar a ilha. Além de acrescentar 3h no tempo de vocês.

## Fase 3

**Contexto:** Ao entrar em um setor importante da usina, é crucial determinar se o ambiente está contaminado ou seguro para permanência. Durante a exploração, vocês encontram um quadro que relaciona números a elementos químicos. Para prosseguir, é necessário decifrar o número associado ao elemento descrito na pergunta abaixo.

Mensagem no quadro: "*O segredo do quadro está no tempo que a radiação leva para se reduzir. O número que buscas é o resultado do decaimento de um elemento muito especial.*"

### Entregar ao grupo

#### Pergunta:

O número que vocês precisam está registrado em uma anotação deixada por um cientista

que trabalhava na análise de uma amostra dentro da usina. Ele estudava um elemento radioativo com uma meia-vida de 8 dias. O cientista começou com 400 gramas da amostra e 24 dias se passaram.

Quantos gramas do elemento restaram? O número de gramas restantes é o código que corresponde ao elemento químico no quadro. Com base nisso, qual era o elemento que o cientista estava estudando?

- |     |            |
|-----|------------|
| 10- | Rádio 224  |
| 20- | Césio 137  |
| 30- | Urânio 235 |
| 31- | Cobalto 60 |
| 50- | Iodo 131   |

**Dica:**

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{t}{T_{\left(\frac{1}{2}\right)}}\right)}$$

**Resposta:** A fórmula para calcular a quantidade restante de material radioativo após um tempo t é:

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{t}{T_{\left(\frac{1}{2}\right)}}\right)}$$

Onde:

- $N_0$  = quantidade inicial de Iodo – 131 ( 400g)
- $t$  = Tempo decorrido ( 24 dias)
- $T_{\left(\frac{1}{2}\right)}$  = meia vida do Iodo – 131 (8 dias)

Substituindo os valores:

$$N(24) = 400 \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{24}{8}\right)}$$

$$N(24) = 400 \left(\frac{1}{2}\right)^{(3)}$$

$$N(24) = 400 \times \left(\frac{1}{8}\right) = 50g$$

O código para o quadro é o número 50, ou seja, o elemento é o iodo 131.

### Consequência:

**Resposta certa:** o grupo descobriu o elemento correto, vocês ganham uma recompensa especial: podem optar pela redução de 4 horas no tempo total da jornada ou por uma Carta de Pesquisa, que permite realizar uma consulta de até 3 minutos em uma fonte de sua escolha. A carta pode ser usada a qualquer momento, oferecendo uma vantagem estratégica para continuar explorando as fases e a usina.

### Entregar ao grupo.



**Resposta errada:** Sem identificar corretamente o elemento que o cientista estava estudando, vocês não conseguem determinar se é seguro permanecer na sala, especialmente sem decifrar o número do elemento no quadro que faz referência às suas pesquisas. Essa falta de informação pode ser extremamente perigosa. Como consequência, 3 horas são acrescentadas ao tempo total de vocês.

## Fase 4

**Contexto:** Atrás de um quadro, vocês encontram uma pequena câmera de monitoramento de radiação, que apesar de tudo ainda funciona. Ela registra o decaimento de uma amostra (fictícia). A câmera pede um código numérico baseado no número de partículas detectadas.

**Pergunta:** Um contador Geiger detecta 500 partículas por segundo em uma amostra. Se a atividade dessa amostra decai exponencialmente com uma meia-vida de 5 minutos, quantas partículas serão detectadas por segundo após 15 minutos?



**Dica:**

$$A(t) = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{t}{T_{\left(\frac{1}{2}\right)}}\right)}$$

**Resposta:**

A atividade de uma amostra radioativa diminui de acordo com a fórmula:

$$A(t) = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{t}{T_{\left(\frac{1}{2}\right)}}\right)}$$

$A_0$  = Atividade Inicial ( 500 partículas por segundo)

$t$  = tempo decorrido ( 15 minutos)

$$T_{\left(\frac{1}{2}\right)} = \text{tempo de meia vida} (5 \text{ minutos})$$

Resolvendo:

$$A(t) = 500 \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{15}{5}\right)}$$

$$A(t) = 500 \left(\frac{1}{2}\right)^{(3)}$$

$$A(t) = 500 \times \left(\frac{1}{8}\right)$$

$$A(t) = 62,5 \text{ partículas}$$

**Resposta:** Aproximadamente 62,5 partículas por segundo

### Consequência:

**Resposta certa:** Na câmera de monitoramento, vocês encontram o que pode ser a última imagem registrada antes do acidente. Essa imagem é crucial, pois revela o caminho para uma sala importante que pode ajudar vocês a sair da usina: a sala de controle de segurança. A sala é mencionada na **Fase 7** e, se vocês já passaram por ela, estão à frente no jogo. Caso já tenham visitado a sala de controle de segurança anteriormente, vocês se anteciparam e, como recompensa, perderam 4h.

**Resposta errada:** Sem acesso a câmera e ao que ela poderia ter registrado, vocês se sentem desorientados sobre como proceder e para onde ir. Essa incerteza resulta em uma perda de tempo, adicionando 3 horas ao cronômetro de vocês.

## Fase 5

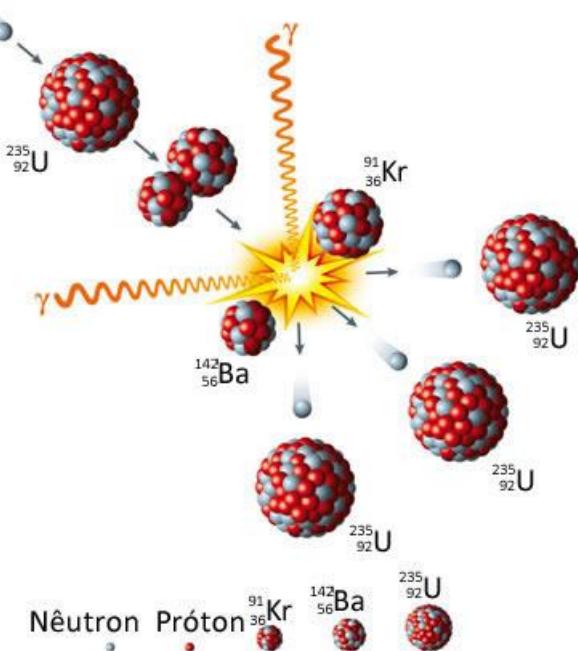
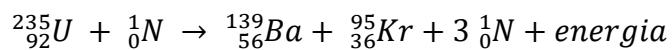
**Contexto:** vocês encontraram uma anotação de um trabalhador da usina que estava presente durante acidente. Esse documento traz informações cruciais para o entendimento do que aconteceu no dia do acidente. O documento mesmo que um pouco apagado, ainda é possível ler: “a explosão foi causada por um erro no controle da reação de fissão nuclear do urânio-235. uma grande quantidade de urânio-235 foi liberada no ambiente.”

## Entregar ao aluno

Na fissão do urânio-235  $U^{235}$ ) o núcleo do átomo é bombardeado com um nêutron  $N^1$ , que o faz se dividir em dois núcleos menores — neste caso, bário-141 ( $Ba^{141}$ ) e cripton-92 ( $Kr^{92}$ ) liberando três novos nêutrons e grande quantidade de energia.

Esses nêutrons liberados podem, por sua vez, colidir com outros átomos de urânio-235, desencadeando uma reação em cadeia. Se a reação não for controlada, ela pode liberar energia de forma muito rápida, o que pode causar uma explosão, como a que ocorreu na usina nuclear. Esse descontrole foi a causa do acidente, levando à liberação de material radioativo no ambiente.

Seguinte equação de reação de fissão nuclear:



**Pergunta:** No reator, os técnicos usavam barras de controle para moderar a reação. Sabendo que as barras de controle absorvem nêutrons, como elas evitam a aceleração da reação em cadeia?

### **Resposta:**

As barras de controle são feitas de materiais que absorvem nêutrons livres, como o boro ou o cádmio. Esses nêutrons são necessários para que a fissão do urânio-235 continue a ocorrer. Ao absorver os nêutrons, as barras de controle reduzem o número de nêutrons disponíveis para iniciar novas reações de fissão, moderando a reação em cadeia.

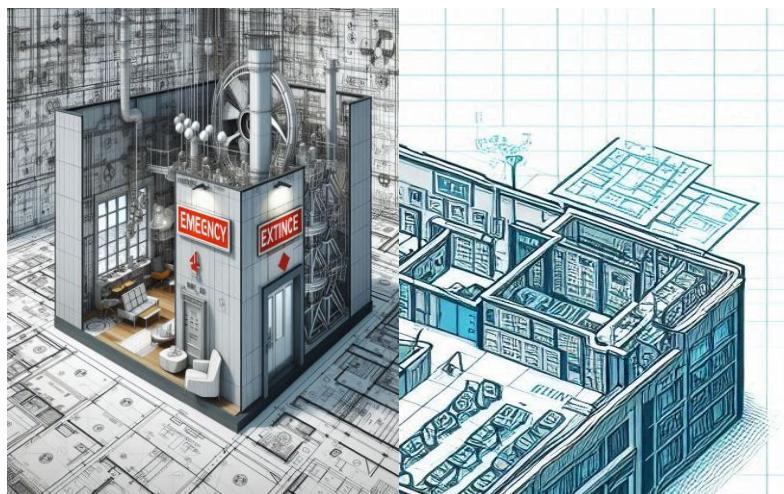
Quando as barras de controle são inseridas no reator, elas limitam a quantidade de energia liberada e mantêm a reação nuclear sob controle. No entanto, se essas barras forem retiradas ou se falharem, a reação pode acelerar de maneira descontrolada, resultando em um acidente nuclear, como o que ocorreu.

### **Consequência:**

**Resposta certa:** Vocês acabam de desvendar o que pode ter sido a principal causa do acidente na usina. Com essa descoberta, encontraram também informações valiosas: a sala de emergência e o código de acesso para entrar nela. Porém, a localização exata dessa sala ainda precisa ser encontrada, o que será crucial para saída da ilha.

Agora que vocês sabem que a sala de emergência realmente existe, começam a montar as peças do quebra-cabeça sobre o que aconteceu na usina. Essa compreensão os aproxima da solução final. Além disso por ser uma informação importante, vocês acabam de perder 3 horas.

### **Entregar ao aluno**



**Resposta errada:** Sem compreender o funcionamento de uma usina nuclear, vocês não conseguem identificar a causa do acidente, uma informação crucial para a missão. Como resultado, precisam parar para estudar, o que adiciona 3 horas ao tempo de vocês. No

entanto, como chegaram até aqui, o mestre oferece uma dica: vocês têm a opção de adicionar mais 2 horas ao tempo total e adquirir uma carta de pesquisa.

## Fase 6

**Contexto:** Ao tentar ingressar na parte principal da usina vocês encontram um painel digital, que pede um código de quatro dígitos. Perto da caixa, há um quadro que descreve: "*O código é o número de prótons, nêutrons e elétrons no isótopo de iodo mais comum utilizado em medicina. Some esses valores para encontrar o código.*"

**Pergunta:** Qual é o código?



**Dica:**

$$N = A - p$$

N= nêutrons

A= massa

p= prótons

**Resposta:** O isótopo de iodo mais comum utilizado em medicina é o iodo-131.

- O iodo tem número atômico 53, ou seja, ele tem 53 prótons e 53 elétrons.

- O número de nêutrons é dado pela diferença entre o número de massa (131) e o número de prótons (53):

N= nêutrons

A= massa

p= prótons

$$N = A - p$$

$$N = 131 - 53 = 78 \text{ (nêutrons)}$$

Somando os prótons, nêutrons e elétrons:

$$S = \text{soma} ( p + n + e )$$

$$Soma = 53 + 78 + 53$$

$$soma = 184$$

O código da caixa é 184.

### Consequência:

**Resposta certa:** Consequência: Ao descobrir que o elemento era o Iodo, e sabendo que sua meia vida é bem baixa, assim que o local é seguro vocês olham atrás do quadro e descobrem que existia uma anotação do cientista falando sobre a importância da sala 6 da usina, ou seja, a fase 2. Então é indicado que caso vocês não tenham ido até lá, é importante que vá. Caso já tenham ido podem trocar a consequência pela retirada de 2h.

**Resposta errada:** Sem o código correto para entrar, vocês perdem tempo e não conseguem descobrir o que há no local. Como consequência, 3 horas são adicionadas ao tempo do grupo.

## Fase 7

**Contexto:** Na sala de controle de segurança um equipamento indica a presença de uma amostra de Iodo-131 (I-131), um isótopo radioativo com uma constante de desintegração de  $0,1 \text{ dia}^{-1}$ . Inicialmente, a amostra tinha 8000 núcleos de Iodo-131. O objetivo de vocês é saber quantos núcleos ainda não terão se desintegrado após 10 dias, para determinar a segurança do local.

**Pergunta:** Usando a constante de desintegração de  $0,1 \text{ dia}^{-1}$ , quantos núcleos de Iodo-131 ainda restarão após 10 dias? Obs: sabemos que  $e^{-1} \approx 0,37$



**Dica:**

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

onde:

- $N_0$  = número inicial de núcleos
- $\lambda$  = constante de desintegração
- $t$  = tempo

**Resposta:**

Para encontrar o número de núcleos restantes após um tempo  $t$ , podemos usar a fórmula:

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

onde:

- $N_0 = 8000$  (número inicial de núcleos)
- $\lambda = 0,1 \text{ dia}^{-1}$
- $t = 10 \text{ dias}$

1. Substituímos os valores na fórmula:

$$N(10) = 8000 \times e^{-(0,1 \times 10)}$$

2. Calculamos

$$N(10) = 8000 \times e^{-1}$$

3. Sabemos que  $e^{-1} \approx 0,37$

4. Então:

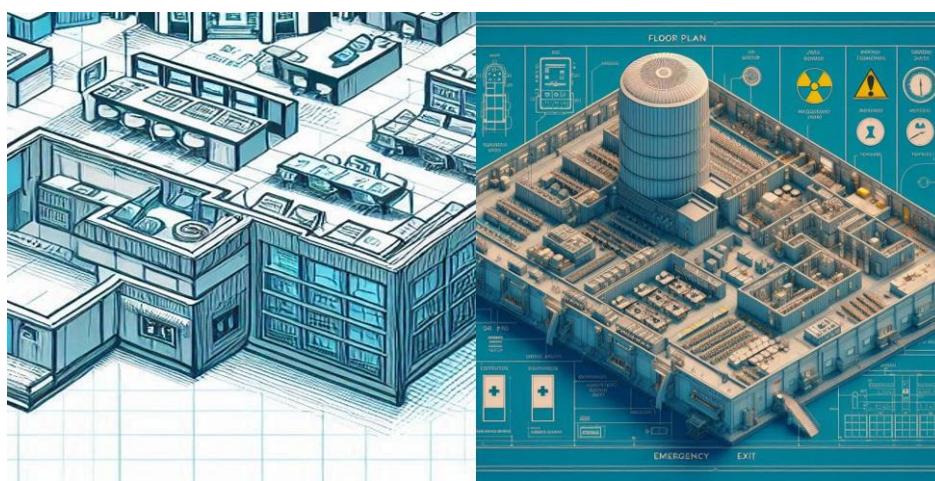
$$N(10) \approx 8000 \times 0,37 = 2960$$

Resultado: Após 10 dias, restarão aproximadamente 2960 núcleos de Iodo-131.

### **Consequência:**

**Resposta certa:** Parabéns! Vocês acabam de encontrar uma planta detalhada de uma sala especial da usina. Essa planta é um recurso valioso, pois permite que vocês se orientem melhor dentro do complexo e aumenta suas chances de encontrar uma saída segura da ilha. Prestem atenção ao mapa, pois ele pode conter pistas importantes sobre os caminhos. O objetivo principal é localizar a sala especial para sair da usina. Essa sala, por ter permanecido intacta mesmo após o acidente.

### **Entregar ao grupo**



**Resposta errada:** Resposta errada: Sem conseguir avaliar a segurança do local, vocês optam por não permanecer na área. Essa decisão impede a obtenção de um item essencial para a fuga da ilha. A falta de uma avaliação adequada de riscos pode levar à perda de oportunidades críticas e ao aumento do tempo necessário para alcançar os objetivos. Como consequência, 3 horas são adicionadas ao tempo total de vocês.

# FINALIZAÇÃO DO JOGO

**Entregar ao grupo quando montarem o mapa de evacuação.**

**Entregar ao grupo**

**Parabéns!** Vocês conseguiram montar o mapa de evacuação da cidade, descobrindo assim a rota para deixar a ilha. Após enfrentarem diversas situações desafiadoras e aplicarem seu conhecimento científico ao longo das fases, chegaram até aqui com mérito. Além disso, desvendaram o verdadeiro motivo do acidente na ilha. É importante destacar que o incidente investigado no jogo possui uma relação significativa com a realidade: o acidente de Chernobyl, ocorrido em 26 de abril de 1986, foi o mais grave da história da energia nuclear comercial, resultando na explosão do reator 4 da usina e na liberação de material radioativo na atmosfera. Mais uma vez, parabéns pela conquista e pela dedicação demonstrada ao longo do jogo.

## Anotação de Pesquisa — Investigação sobre o Acidente

*Data: 04/05/1986*

*Cientista: Dr. Mikhail Petrov*

*Título: Análise preliminar sobre as causas e sequência do acidente no Reator 4*

---

### **Resumo dos eventos:**

A explosão do Reator 4 na Usina ocorreu em 26 de abril de 1986, durante um teste de segurança programado. A análise inicial aponta que o desastre foi resultado de uma combinação complexa de falhas de projeto do reator RBMK e erros de operação. O objetivo do teste era avaliar se a energia residual seria suficiente para manter as bombas de resfriamento funcionando em caso de uma queda de energia. No entanto, diversos fatores contribuíram para uma reação descontrolada.

### **Observações preliminares:**

#### **1. Configuração dos sistemas de segurança desligada:**

Inexplicavelmente, muitos sistemas automáticos de segurança foram desativados no início do teste. Essa prática é altamente arriscada, pois qualquer falha no controle manual aumenta exponencialmente a probabilidade de uma resposta inadequada a um aumento inesperado na reatividade.

#### **2. Desenho instável do reator RBMK:**

Os reatores RBMK são conhecidos por uma característica estrutural instável em baixos níveis de potência. Suspeita-se que, quando a equipe tentou estabilizar a baixa potência, isso tenha levado a uma instabilidade na reação em cadeia. Esses

reatores apresentam um "coeficiente de vazio positivo", significando que a reação aumenta descontroladamente quando a água se vaporiza.

**3. Inserção das barras de controle:**

Em um esforço para interromper a reação descontrolada, os operadores ativaram as barras de controle de emergência, mas estas possuem pontas de grafite que podem, ironicamente, intensificar a reatividade em vez de reduzi-la, causando um aumento imediato na potência.

**4. Explosões sucessivas e liberação de radiação:**

O aumento brusco de pressão no reator levou a explosões sequenciais, destruindo a estrutura do reator e liberando uma vasta quantidade de material radioativo na atmosfera. Esse processo ainda não está completamente claro, mas é possível que a primeira explosão tenha sido de vapor, seguida por uma explosão nuclear.

**Conclusões Temporárias:**

Ainda preciso analisar os dados completos, mas é evidente que a combinação de falhas de projeto com decisões operacionais críticas causara o desastre. Esta sequência de erros reforça a necessidade de um redesenho urgente dos reatores RBMK e de maior atenção aos protocolos de segurança.

## Perguntas extras que podem ser usadas pelos professores

Essas perguntas extras foram desenvolvidas para oferecer mais flexibilidade ao professor durante o jogo. Elas permitem que o professor altere as perguntas originais, tornando o jogo mais dinâmico e adequado para ser jogado várias vezes sem que os alunos memorizem as respostas.

O professor pode substituir as perguntas por completo, ajustar os valores de algumas perguntas, ou até fazer pequenas variações que alterem significativamente a experiência do jogo. Isso garante maior variedade, engajamento e desafios personalizados para os alunos.

**Contexto:** Você está em um hospital próximo a uma usina nuclear que acaba de sofrer um grave acidente. Durante a explosão, um dos reatores entrou em colapso e começou a liberar radiação. O hospital está recebendo muitas vítimas, mas você precisa rapidamente identificar os sintomas daqueles expostos a altos níveis de radiação.

**Pergunta:** Quais são os três principais sintomas que você deve procurar nas primeiras horas após a exposição à radiação?

**Resposta:** Náuseas, vômitos e tonturas. Esses são os primeiros sinais comuns de exposição aguda à radiação.

---

**Contexto:** Em um cenário pós-desastre nuclear, você está ajudando na evacuação de uma cidade próxima ao local da explosão. As ruas estão desertas, mas você tem três opções de caminho para escapar:

- O primeiro caminho passa diretamente ao lado do reator danificado, ainda em chamas, onde as partículas de radiação estão no ar.
- O segundo caminho passa por uma ponte que está sobre um rio contaminado com material radioativo.
- O terceiro caminho segue por um túnel, onde a ventilação é ruim, mas a radiação ainda não chegou.

**Pergunta:** Qual caminho você deve escolher para minimizar sua exposição à radiação?

**Resposta:** O terceiro caminho. Embora o túnel tenha pouca ventilação, ele é o único lugar onde a radiação ainda não chegou. A radiação no ar e na água pode ser muito mais perigosa.

---

**Contexto:** Após o desastre nuclear, os médicos estão tentando prever quanto tempo levará para que a área ao redor da usina nuclear seja habitável novamente. Eles sabem que o material radioativo liberado tem uma meia-vida de 30 anos.

**Pergunta:** Se o nível de radiação atual é considerado perigoso, quanto tempo levará para que a radiação caia para um nível 1/8 do seu valor original?

**Resposta:** Levará 90 anos para que a radiação caia para 1/8 do valor original, pois são necessárias três meias-vidas (cada meia-vida é de 30 anos).

---

**Contexto:** Após o desastre, você está monitorando os níveis de radiação em um material radioativo encontrado perto da explosão. Esse material tem uma meia-vida de 10 anos. No momento, ele está emitindo uma alta quantidade de radiação.

**Pergunta:** Se você medir novamente a radiação emitida por esse material daqui a 20 anos, quanto da radiação original ele terá emitido?

**Resposta:** Em 20 anos, duas meias-vidas terão passado, então o material emitirá 1/4 da radiação original. Após 10 anos, a radiação é reduzida pela metade, e depois de mais 10 anos, é reduzida novamente pela metade.

---

**Contexto:** Você é parte de uma equipe de emergência em um hospital e precisa monitorar os níveis de radiação em torno das instalações. Você tem em mãos um contador Geiger, que mede a quantidade de radiação. De repente, você percebe que os níveis de radiação começam a aumentar conforme você se aproxima de uma sala.

**Pergunta:** O que você faz para proteger os pacientes e a equipe, e como o contador Geiger pode ajudar nesse processo?

**Resposta:** Primeiro, você deve evacuar a sala e isolar a área. O contador Geiger ajudará a identificar a origem da radiação e a medir os níveis para garantir que ninguém seja exposto a doses perigosas. Além disso, é importante limitar o tempo de exposição e usar barreiras de proteção.

---

**Contexto:** Você é parte de uma equipe de emergência em um hospital e precisa monitorar os níveis de radiação em torno das instalações. Você tem em mãos um contador Geiger, que mede a quantidade de radiação. De repente, você percebe que os níveis de radiação começam a aumentar conforme você se aproxima de uma sala.

**Pergunta:** O que você faz para proteger os pacientes e a equipe, e como o contador Geiger pode ajudar nesse processo?

**Resposta:** Primeiro, você deve evacuar a sala e isolar a área. O contador Geiger ajudará a identificar a origem da radiação e a medir os níveis para garantir que ninguém seja exposto a doses perigosas. Além disso, é importante limitar o tempo de exposição e usar barreiras de proteção.

---

**Contexto:** Em um cenário pós-desastre nuclear, você está ajudando na evacuação de uma cidade próxima ao local da explosão. As ruas estão desertas, mas você tem três opções de caminho para escapar:

- O **primeiro caminho** passa diretamente ao lado do reator danificado, ainda em chamas, onde as partículas de radiação estão no ar.
- O **segundo caminho** passa por uma ponte que está sobre um rio contaminado com material radioativo.
- O **terceiro caminho** segue por um túnel, onde a ventilação é ruim, mas a radiação ainda não chegou.

**Pergunta:** Qual caminho você deve escolher para minimizar sua exposição à radiação?

**Resposta:** O terceiro caminho. Embora o túnel tenha pouca ventilação, ele é o único lugar onde a radiação ainda não chegou. A radiação no ar e na água pode ser muito mais perigosa.

---

**Contexto:** Durante uma operação de resgate no hospital, você tem que entrar em uma área com altos níveis de radiação. Você sabe que existe uma regra crucial ao lidar com a radiação: quanto mais tempo você passar em uma área irradiada, maior será a dose absorvida.

**Pergunta:** Qual é a melhor estratégia para minimizar a quantidade de radiação absorvida enquanto você resgata as pessoas?

**Resposta:** A melhor estratégia é **limitar o tempo de exposição**, além de manter a maior distância possível da fonte de radiação e usar barreiras protetoras. Essas três medidas são fundamentais para reduzir a dose de radiação absorvida.

---

**Pergunta:** Em um dos documentos encontrados, os estudantes leem que a área foi contaminada com um material radioativo que emite partículas beta e tem uma meia-vida de 12 anos. Se a atividade inicial do material era de 2400 Bq no momento do acidente, quanto tempo levará para que a atividade caia para 300 Bq?

**Resposta:** A meia-vida do material radioativo é de 12 anos, e a atividade inicial era 2400 Bq. Queremos descobrir quanto tempo levará para que a atividade caia para 300 Bq.

Usamos a fórmula do decaimento radioativo:

$$A_{(T)} = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{t}{T_{\left(\frac{1}{2}\right)}}\right)}$$

$A_{(T)}$  = Atividade final ( 300 bq)

$A_0$  = Atividade Inicial ( 2400 partículas por segundo)

$t$  = tempo decorrido =?

$T_{\left(\frac{1}{2}\right)}$  = tempo de meia vida( 12 anos )

$$A_{(T)} = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{t}{T_{\left(\frac{1}{2}\right)}}\right)}$$

Primeiro, determinamos quantas meias-vidas são necessárias para que a atividade caia de 2400 Bq para 300 Bq:

$$\frac{A_0}{A_t} = \frac{2400}{300} = 8$$

Sabemos que a atividade cai à metade a cada meia-vida, então serão necessárias **3 meias-vidas**, já que:

---

$$2^3 = 8$$

Agora, multiplicamos o número de meias-vidas pelo tempo de uma meia-vida:

$$t = 3 \times 12 \text{ dias} = 36 \text{ anos}$$

Portanto, levará **36 anos** para que a atividade caia de 2400 Bq para 300 Bq.

---

**Contexto:** Após o desastre, você está monitorando os níveis de radiação em um material radioativo encontrado perto da explosão. Esse material tem uma meia-vida de 10 anos. No momento, ele está emitindo uma alta quantidade de radiação.

**Pergunta:** Se você medir novamente a radiação emitida por esse material daqui a 20 anos, quanto da radiação original ele terá emitido?

**Resposta:** Em 20 anos, duas meias-vidas terão passado, então o material emitirá 1/4 da radiação original. Após 10 anos, a radiação é reduzida pela metade, e depois de mais 10 anos, é reduzida novamente pela metade.

---

**Contexto :** No quarto, os alunos encontram um cofre trancado com uma combinação numérica. Perto do cofre, há uma folha com a seguinte mensagem “*O segredo para abrir o cofre está na meia-vida. Para abrir o cofre, você precisa calcular quantas meias-vidas são necessárias para que um material radioativo com uma vida inicial de 800 gramas se reduza a 100 gramas. Este material segue o decaimento de Carbono-14.*”

**Pergunta:** Quantas meias-vidas são necessárias para reduzir de 800 gramas para 100 gramas?

**Resposta:** A cada meia-vida, a quantidade de material radioativo se reduz pela metade. Para descobrir quantas meias-vidas são necessárias, podemos fazer os cálculos:

- Após 1 meia-vida:  $800 \text{ g} / 2 = 400 \text{ g}$
- Após 2 meias-vidas:  $400 \text{ g} / 2 = 200 \text{ g}$
- Após 3 meias-vidas:  $200 \text{ g} / 2 = 100 \text{ g}$

São necessárias 3 meias-vidas para que 800 gramas se reduzam a 100 gramas. A combinação do cofre é 3.

---

**Pergunta:** Se um trabalhador tivesse que trabalhar na margem do Lago por 2 horas por dia, e a taxa de exposição no local fosse de 20 roentgens por hora, qual seria a dose total de radiação recebida após 5 dias de trabalho?

**Resposta:**

A taxa de exposição é de 20 roentgens por hora, e o trabalhador estaria exposto por 2 horas por dia. A dose diária de radiação seria:

Dose diária da radiação:

$$Dose Diária : \frac{20 \text{ roentgens}}{\text{dia}} \times 2 = 40 \frac{\text{roentgens}}{\text{dia}}$$

Agora, calculamos a dose total após **5 dias** de trabalho:

$$Dose total: 40 \frac{\text{roentgens}}{\text{dia}} \times 5 \text{ dias} = 200 \text{ roentgens}$$

Portanto, o trabalhador receberia uma dose total de 200 Roentgen após 5 dias de trabalho.

---

**Contexto:** Conforme descrito, vocês encontram no quarto um cofre feito de chumbo. Ao observar mais atentamente, percebem que há outros tipos de cofres no local, feitos de diferentes materiais:

- Madeira
- Chumbo
- Vidro

**Pergunta:** Se o cientista estivesse guardando um objeto que emite radiação gama, qual desses materiais seria o mais eficaz para bloqueá-la?"

**Resposta:** O chumbo é o material mais eficaz para bloquear radiação gama. Ele é denso e pode absorver radiação de alta energia, enquanto madeira e vidro oferecem pouca proteção contra esse tipo de radiação.

---

**Contexto:** Dentro do escritório do cientista vocês encontram umas anotações de experimentos envolvendo radiação. Ele descreve sobre como existem diferentes tipos de radiação.

**Pergunta:** Existem três tipos de radiação emitidos durante o decaimento radioativo: alfa, beta e gama. Sabendo disso, qual dessas radiações tem o maior poder de penetração e por quê?

**Resposta:** Radiação gama. A radiação gama tem o maior poder de penetração porque é uma forma de radiação eletromagnética com alta energia e sem massa, o que permite atravessar materiais densos. Enquanto as partículas alfas são facilmente bloqueadas por papel e as partículas beta por vidro ou alumínio, a radiação gama só é bloqueada por barreiras densas, como chumbo.

---

**Contexto:** No meio da sala encontram um pequeno fragmento de um pó branco que brilha no escuro. Ao lado do objeto, há uma placa parcialmente destruída que menciona "Césio-137". Vocês precisam entender que pó é esse e se são maléficos a saúde de vocês.

Vocês precisam entender o que aconteceu ali para continuar sua investigação e proteger-se dos perigos que ainda existem.

**Pergunta 1:** O que é o Césio-137, e por que ele foi tão perigoso no acidente radiológico de Goiânia?

**Resposta:**

O Césio-137 é um isótopo radioativo resultante de reações nucleares, comumente utilizado em equipamentos de radioterapia para tratamento de câncer. No acidente de Goiânia, um equipamento de radioterapia foi abandonado e, ao ser desmontado por pessoas que desconheciam sua natureza perigosa, o material radioativo foi espalhado pela cidade.

O Césio-137 emite radiação beta e gama, o que o torna extremamente perigoso para a saúde humana. A exposição a essa radiação pode causar queimaduras, envenenamento por radiação e, em doses mais altas, pode ser fatal. Além disso, o pó que continha Césio-137 era altamente solúvel, o que facilitou sua dispersão e contaminação de pessoas e objetos

---

**Pergunta:** No cenário do acidente de Goiânia, várias pessoas foram contaminadas pelo pó radioativo de Césio-137. Como a radiação afeta o corpo humano e quais foram os principais sintomas observados nas vítimas desse acidente?

**Resposta:** A exposição à radiação ionizante emitida pelo Césio-137 afeta o corpo humano de várias maneiras. Os principais sintomas observados nas vítimas do acidente de Goiânia foram:

- **Queimaduras radioativas:** O pó radioativo em contato direto com a pele causava queimaduras graves e lesões locais.
  - **Síndrome aguda da radiação (SAR):** Algumas vítimas expostas a doses mais altas de radiação desenvolveram SAR, que inclui sintomas como náuseas, vômitos, diarreia e fadiga nas primeiras horas ou dias após a exposição.
  - **Danos aos órgãos internos:** A radiação gama penetra o corpo e pode danificar tecidos e células, levando a problemas no sistema imunológico e falhas de órgãos em exposições muito altas.
  - **Câncer:** A exposição prolongada ou intensa à radiação pode aumentar o risco de desenvolver cânceres no futuro, especialmente de medula óssea e leucemia.
- 

**Contexto:** Você está em um hospital próximo a uma usina nuclear que acaba de sofrer um grave acidente. Durante a explosão, um dos reatores entrou em colapso e começou a liberar radiação. O hospital está recebendo muitas vítimas, mas você precisa rapidamente identificar os sintomas daqueles expostos a altos níveis de radiação.

**Pergunta:** Quais são os três principais sintomas que você deve procurar nas primeiras horas após a exposição à radiação?

**Resposta:** Náuseas, vômitos e tonturas. Esses são os primeiros sinais comuns de exposição aguda à radiação.

# ARQUIVOS PRONTOS PARA IMPRESSÃO

- CARTAS PERGUNTAS
- CARTAS CONSEQUÊNCIAS
- ELEMENTOS EXTRAS

# CARTAS PERGUNTAS

TAMANHO PRÓPRIO  
PARA IMPRESSÃO

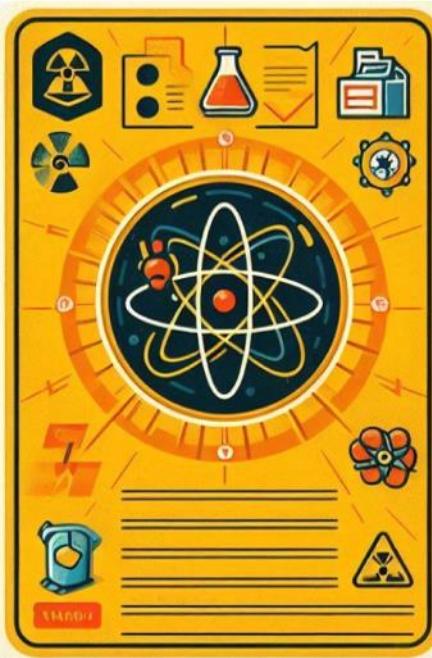
## 4 CASA 1

**Pergunta:** Some o número atômico desse elemento com o de seu produto final (Final do decaimento), e você terá a combinação para a porta. Qual é a combinação correta para abrir a porta, sabendo que a senha tem 3 dígitos?"



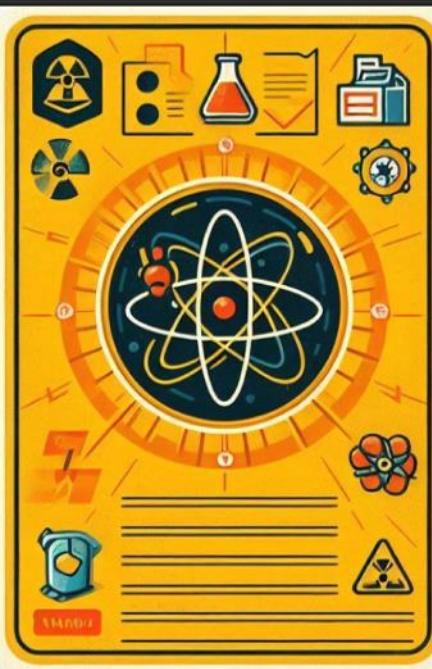
## 2 CASA DO CIENTISTA 2

**Pergunta:** Qual é o nome do processo descrito pelo cientista e qual elemento geralmente é usado para iniciá-lo em uma usina nuclear?



## 14 USINA

**Pergunta:** Qual é o código?



## 2 CASA DO CIENTISTA 2

**Pergunta:** Quanto tempo uma pessoa pode se expor antes de atingir 1 Sv?



## 1 CASA DO CIENTISTA 1

**Pergunta:** Com base no conhecimento sobre meia-vida, vocês devem decidir se pegam a chave ou não, sabendo que o local pode estar abandonado há pelo menos 15 anos.



## 1 CASA DO CIENTISTA 1

**Pergunta:** Descreva o que são partículas beta e como é a sua capacidade de penetração?



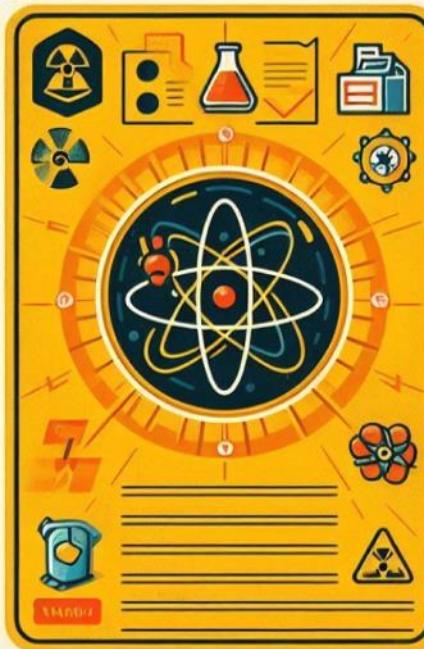
## 9 LABORATÓRIO CPA

**Pergunta:** Por que o rádio era usado em relógios para fazê-los brilhar no escuro, e por que isso acabou sendo um problema de saúde para as pessoas que fabricavam esses relógios?



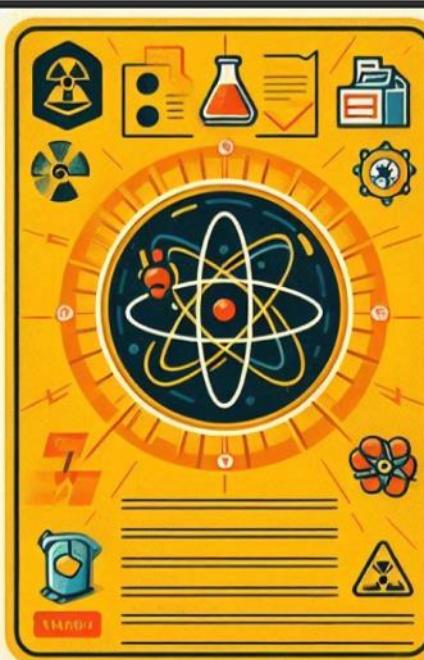
## 9 LABORATÓRIO CPA

**Pergunta:** Como os raios X funcionaram para ajudar médicos durante a Primeira Guerra Mundial, e quem foi a pessoa responsável por desenvolver unidades móveis de raios X para facilitar o atendimento próximo às linhas de frente?



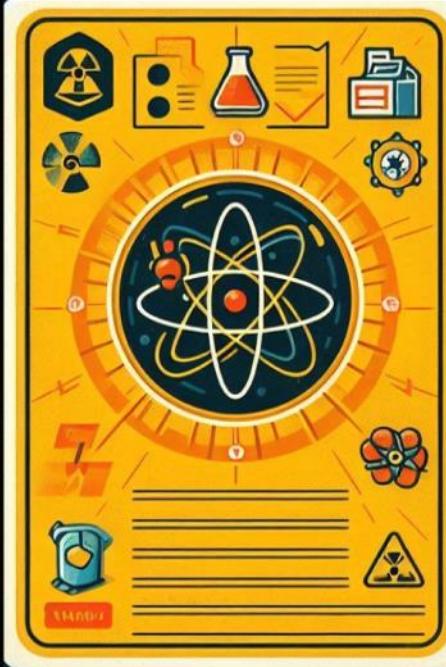
## 13 FLORESTA VERMELHA

**Pergunta:** Por que a Floresta Vermelha recebeu esse nome? Qual foi o principal impacto da radiação em suas árvores e por que ela continua perigosa mesmo após décadas?



## 12 GRUTA

**Pergunta:** Vocês têm três opções de corredores, cada um com tempos de travessia e níveis de radiação diferentes. Sabendo que a dose máxima de radiação que vocês podem receber é de 75 mSv, calculem qual corredor permite a travessia sem exceder esse limite. Qual corredor vocês escolheriam?



## 6 HOSPITAL

**Pergunta:** Se vocês permanecerem nesta sala por 15 minutos, o tempo necessário para encontrar o que procuram, qual será a dose total de radiação recebida? Você decidem permanecer no local ou sair?



## 6 HOSPITAL

**Pergunta:** Sabendo que esse medicamento pode ajudar na proteção em locais altamente contaminados, de qual substância se trata? Vocês decidiriam tomá-lo?



## 6 HOSPITAL

**Pergunta:** Identifique o terceiro elemento da cadeia de decaimento do Urânio-238. Com o nome desse elemento, vocês conseguirão destrancar o armário do cientista, que contém informações importantes sobre os procedimentos de descontaminação.



## 6 HOSPITAL

**Pergunta:** Para compreenderem melhor como a radiação pode afetá-los, continuem a descrição acima com as características da radiação beta e da radiação gama.



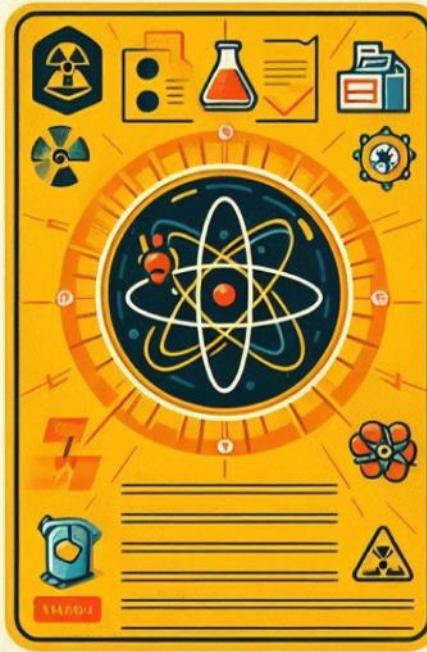
## 6 HOSPITAL

**Pergunta:** Por que é importante diferenciar entre contaminação e exposição à radiação ao tratar pacientes vindos da área da usina?



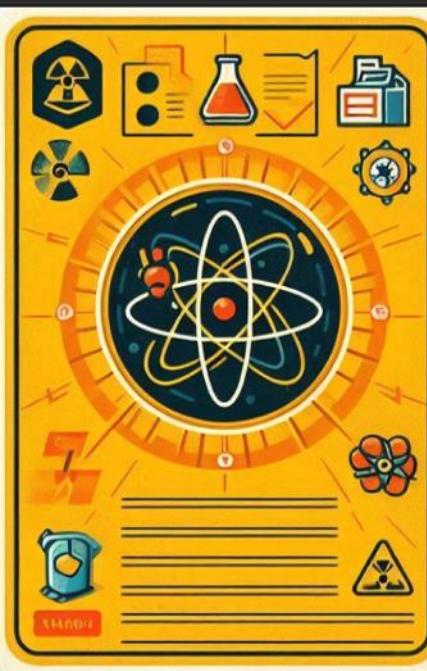
## 8 LABORATÓRIO

**Pergunta:** Quantos anos serão necessários para que a atividade do Césio caia para 80 Bq?



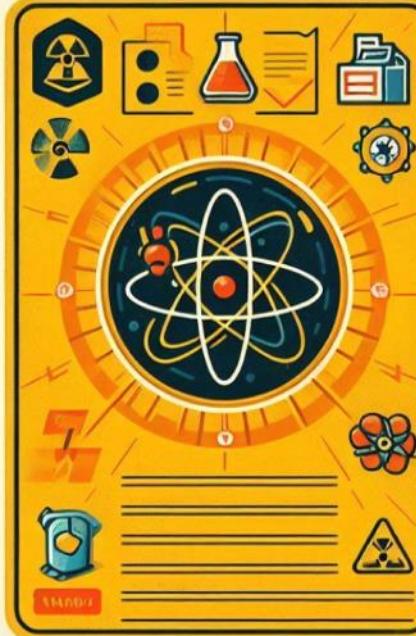
## 8 LABORATÓRIO

**Pergunta:** Sabendo que, para ficarem seguros, é necessário reduzir a radiação para 62,5 mSv/h, quantos centímetros de chumbo (ou seja, quantas placas) são necessários para alcançar essa redução?



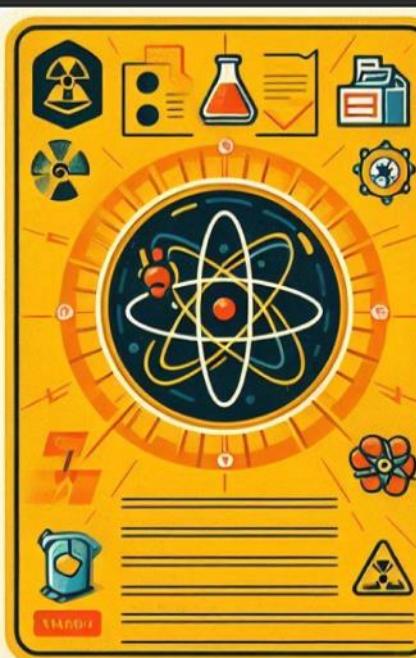
## 7 LAGO

**Pergunta:** O cientista deixou, ao lado do lago, algumas anotações que podem revelar o problema causado na usina. No entanto, mesmo com roupas de proteção, o local é extremamente radioativo. Em determinadas áreas secas do lago, a radiação medida é de 5000 roentgens por hora, e sabemos que uma dose letal para um ser humano é cerca de 500 roentgens. Quanto tempo vocês poderiam permanecer ao lado do lago antes de atingir uma dose fatal de radiação?



## 10 PARQUE

**Pergunta:** Sabendo que a dose máxima de radiação que vocês podem receber sem efeitos imediatos à saúde é de 100 mSv, por quanto tempo vocês podem ficar a 1 metro da estátua antes de ultrapassar esse limite?



## 14 USINA

**Pergunta:** Usando a constante de desintegração de  $0,1 \text{ dia}^{-1}$ , quantos núcleos de Iodo-131 ainda restarão após 10 dias?  
Obs: sabemos que  $e^{-1} \approx 0,37$



## 14 USINA

**Pergunta:** Se você está a uma distância de 5 metros de uma fonte radioativa que emite 50 Sv/h (Sieverts por hora), o quanto seguro estará depois de 30 minutos de exposição para procurar algo? Qual deve ser a distância mínima para garantir que você não receba mais do que 1 Sv após esse tempo?



## 14 USINA

**Pergunta:** Um contador Geiger detecta 500 partículas por segundo em uma amostra. Se a atividade dessa amostra decai exponencialmente com uma meia-vida de 5 minutos, quantas partículas serão detectadas por segundo após 15 minutos?



## 14 USINA

**Pergunta:** Qual é o código?

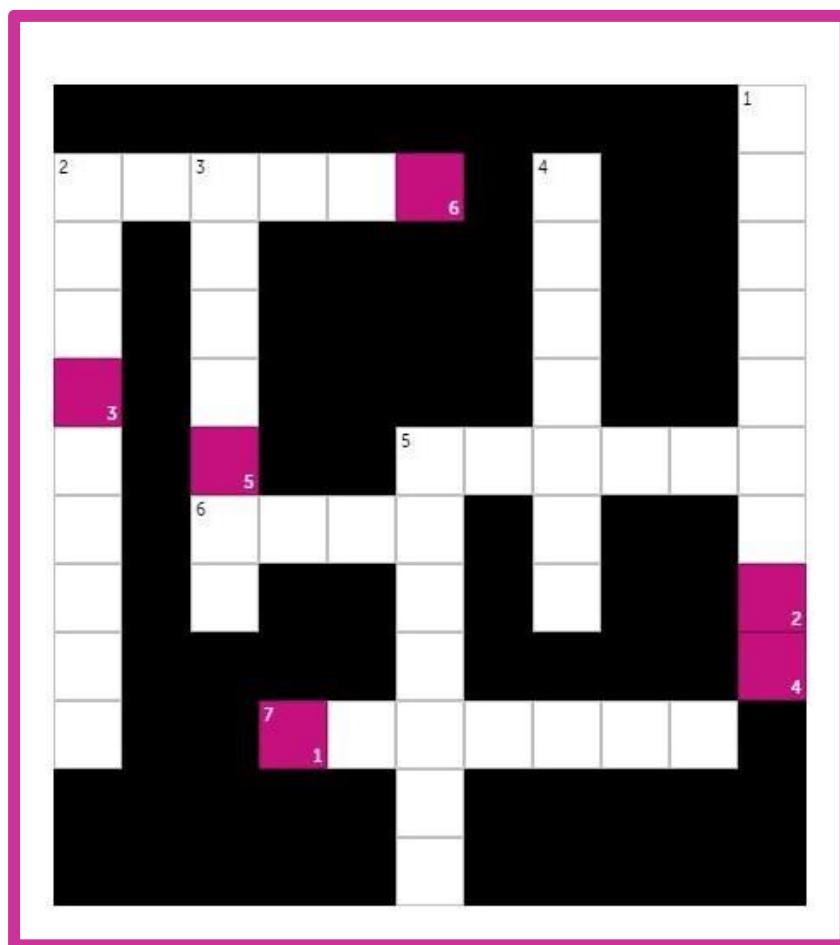


**FASES**

**INDIRETAS**

# CASA 2

## (Trabalhador da Usina)



1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

### horizontal

- 2 Doença causada pela exposição à radiação durante o acidente
- 5 Material no qual o Césio-137 estava encapsulado originalmente
- 6 Cor da substância radioativa que atraiu a atenção das vítimas
- 7 Cidade onde ocorreu o acidente radiológico no Brasil

### vertical

- 1 Grupo profissional que encontrou e manipulou o equipamento radioativo.
- 2 Material radioativo envolvido no acidente de Goiânia
- 3 Um dos principais sintomas da exposição à radiação
- 4 Objeto de onde foi retirado o Césio-137
- 5 Local de onde o equipamento radioativo foi retirado indevidamente.

# **LABORATÓRIO (CENTRO DE PESQUISAS ANTIGAS -CPA)**

## **Perguntas:**

1. A radiação foi descoberta accidentalmente por Henri Becquerel enquanto ele estudava sais de urânio.
2. Marie Curie foi a primeira pessoa a usar o termo "radioatividade" e recebeu dois prêmios Nobel por suas descobertas.
3. Os efeitos nocivos da radiação sobre o corpo humano foram imediatamente compreendidos após sua descoberta.
4. O uso de radiação em relógios e outros dispositivos que brilham no escuro era seguro e nunca causou problemas de saúde.
5. A bomba atômica lançada sobre Hiroshima usava Urânia-235 como material físsil.
6. Os raios X foram descobertos antes da radiação alfa e beta.
7. O elemento rádio foi o primeiro isótopo radioativo a ser utilizado na medicina para o tratamento de câncer.
8. Chernobyl foi o primeiro acidente nuclear grave da história.

# LABORATÓRIO

**Pergunta:** Ao lado dessa porta, há uma matriz que, quando completada, dá acesso à porta trancada. Para finalizar a matriz, vocês precisam descobrir quantas partículas alfa o Césio-137 emite durante o seu decaimento. Repitam essa resposta na coluna faltante para completar a matriz e destravar o acesso à porta.

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 7 \\ 0 & 5 & 6 \end{pmatrix}$$

# LABORATÓRIO RADIUS

Neste local, vocês enfrentarão um desafio triplo: três perguntas em uma única rodada. Como funciona?

- Vocês podem escolher duas das três perguntas para responder.
- Para conquistar o bônus e obter a recompensa completa, precisam acertar duas das três perguntas propostas.

**Contexto:** Vocês conseguem um documento em que os cientistas se reuniram para discutir os avanços no tratamento do câncer. Nessas anotações é visto que o chefe da equipe comentava sobre o impacto das tecnologias de radiação na medicina. Dentro dessas anotações é possível encontrar a seguinte frase "Sabemos que a radiação é uma ferramenta poderosa no tratamento de várias doenças.

**Pergunta:** Como exatamente a radiação é usada para ajudar a combater células cancerígenas em pacientes?"

**Contexto:** Em um outro documento, entre anotações e cálculos, um dos cientistas estudava sobre métodos para reduzir o desperdício e aumentar a segurança alimentar, esse cientista sugere que “Muitos não sabem, mas a radiação pode ajudar a preservar e tornar os alimentos mais seguros”.

**Pergunta:** Que método baseado em radiação usamos para prolongar a validade e eliminar microrganismos nos alimentos?"

**Contexto:** Em outro documento vocês encontram uma discussão sobre Soluções em Segurança, os cientistas discutem como a radiação pode ser útil para manter a segurança em locais públicos.

**Pergunta:** Sabe-se que a radiação pode ser utilizada em aeroportos para ajudar na segurança. Como ela pode ser utilizada para garantir a segurança dos passageiros?

# USINA NUCLEAR

## Perguntas:

Pista 1: O primeiro número corresponde ao número de decaimentos alfa que o urânio-238 precisa passar para se transformar em chumbo-206.

Pista 2: O segundo número é o número de decaimentos beta que o urânio-238 também passa até se transformar em chumbo-206.

Pista 3: O terceiro número é a quantidade de partículas alfa emitidas quando o polônio-210 decai completamente em chumbo-206.

Pista 4: o quarto número é o número de decaimentos gama

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F	G	O	G	E	L	I	A	U	A

Usar para fazer a correlação


# USINA NUCLEAR

**Pergunta:** O número que vocês precisam está registrado em uma anotação deixada por um cientista que trabalhava na análise de uma amostra dentro da usina. Ele estudava um elemento radioativo com uma meia-vida de 8 dias. O cientista começou com 400 gramas da amostra e 24 dias se passaram. Quantos gramas do elemento restaram? O número de gramas restantes é o código que corresponde ao elemento químico no quadro. Com base nisso, qual era o elemento que o cientista estava estudando?

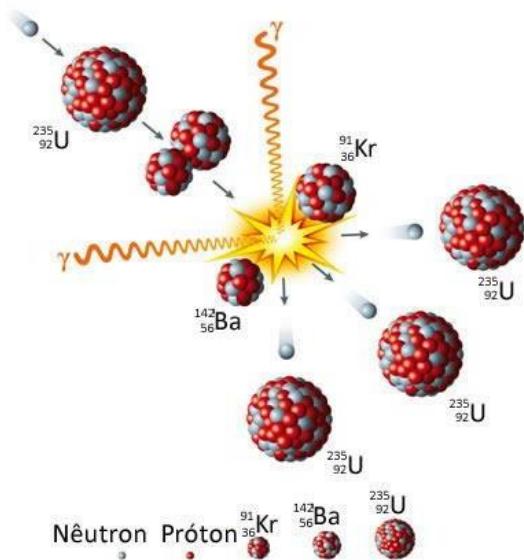
- Rádio 224
- Césio 137
- Urânio 235
- Cobalto 60
- Iodo 131

# USINA NUCLEAR

Na fissão do **urânio-235** ( $U^{235}$ ) o núcleo do átomo é bombardeado com um **nêutron**  $N^1$ , que o faz se dividir em dois núcleos menores — neste caso, **bártio-141** ( $Ba^{141}$ ) e **criptônio-92** ( $Kr^{92}$ ) liberando **três novos nêutrons** e **grande quantidade de energia**.

Esses nêutrons liberados podem, por sua vez, colidir com outros átomos de urânio-235, desencadeando uma **reação em cadeia**. Se a reação não for controlada, ela pode liberar energia de forma muito rápida, o que pode causar uma explosão, como a que ocorreu na usina nuclear. Esse descontrole foi a causa do acidente, levando à liberação de material radioativo no ambiente.

Seguinte equação de reação de fissão nuclear:



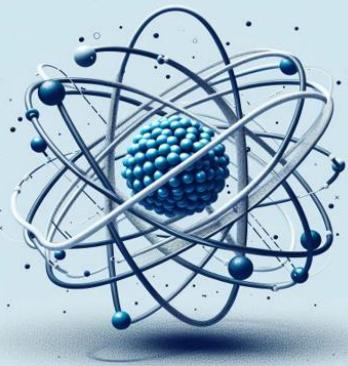
**Pergunta:** No reator, os técnicos usavam barras de controle para moderar a reação. Sabendo que as barras de controle absorvem nêutrons, como elas evitam a aceleração da reação em cadeia?

CARTAS  
CONSEQUÊNCIAS



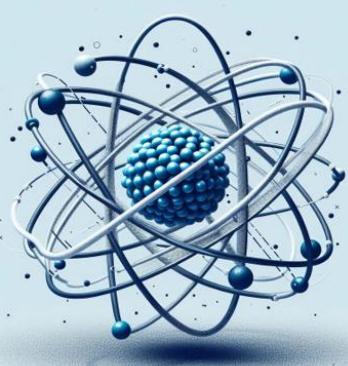
## Acesso a Locais Especiais

*Ao entrarem na usina, terão acesso direto à consequência da Fase 6 sem a necessidade de responder à pergunta dessa etapa.*



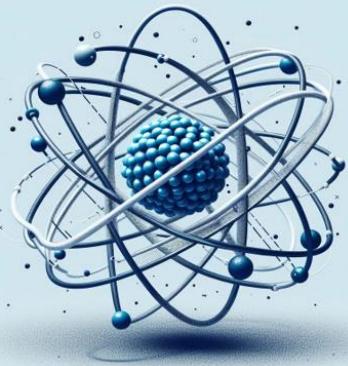
## Carta bônus horas

*Com essa carta, vocês podem responder a uma pergunta e mesmo errando vocês não perderão horas. Você pode usar 1x a qualquer momento no jogo.*



## Carta Bônus de Horas

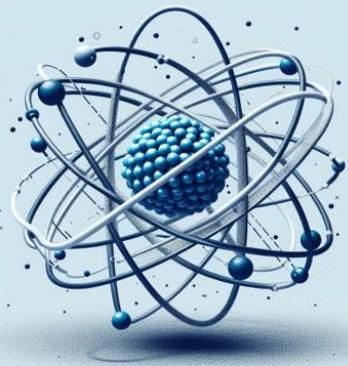
*Com essa carta, vocês podem responder a uma pergunta sem acrescentar horas no jogo, garantindo maior controle sobre o tempo restante da jornada.*





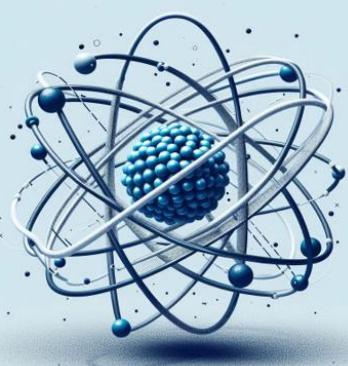
## Carta Curinga

*Substitui qualquer item necessário para acessar a usina ou reduz até 5 horas do tempo total do grupo.*



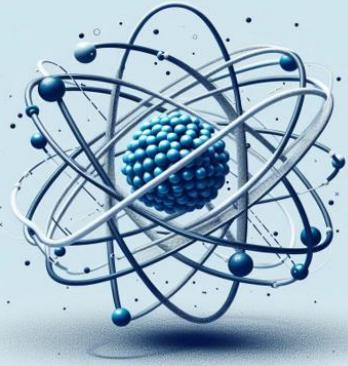
## Carta de Pesquisa Livre

*Autoriza o grupo a realizar uma pesquisa ou consulta por até 3 minutos da forma que preferirem, podendo ser usada em qualquer momento estratégico.*



## Carta de Pesquisa Livre

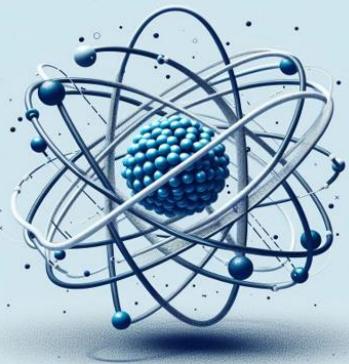
*Permite realizar uma pesquisa ou consulta de até 3 minutos da forma que preferirem, podendo utilizá-la no momento que julgarem mais estratégico.*





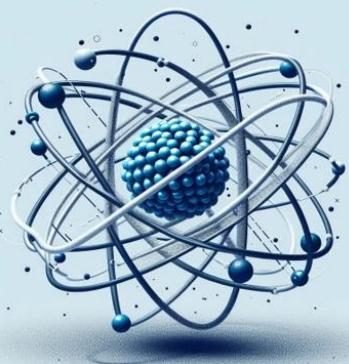
## Carta Resposta

*Permita que vocês obtenham a resposta correta diretamente do mestre, garantindo a consequência positiva do local, sem precisar responder à pergunta.*



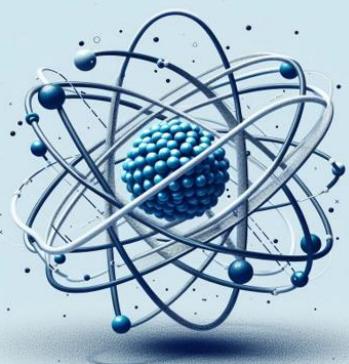
## Dicas Estratégicas

*Caso ainda não tenham visitado o Laboratório Radius, é recomendável que façam isso.*



## Acesso a locais especiais

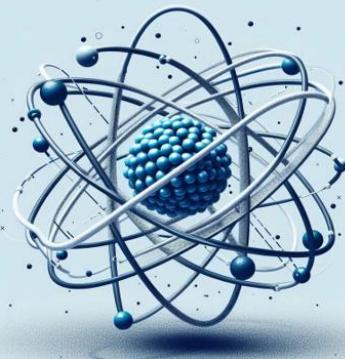
*Com essa carta, vocês têm acesso à Casa do Cientista 2*





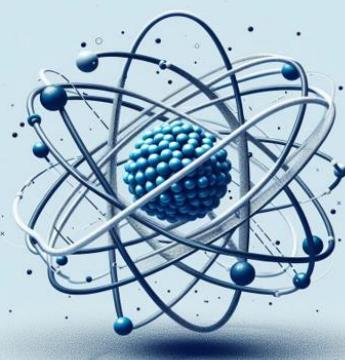
## Isenção de Locais

*Essa dica informa para vocês não perderem tempo indo até a floresta vermelha pois lá não tem nada que poderá ajudar vocês a encontrarem a saída da ilha.*



## Carta Pesquisa aos Amigos

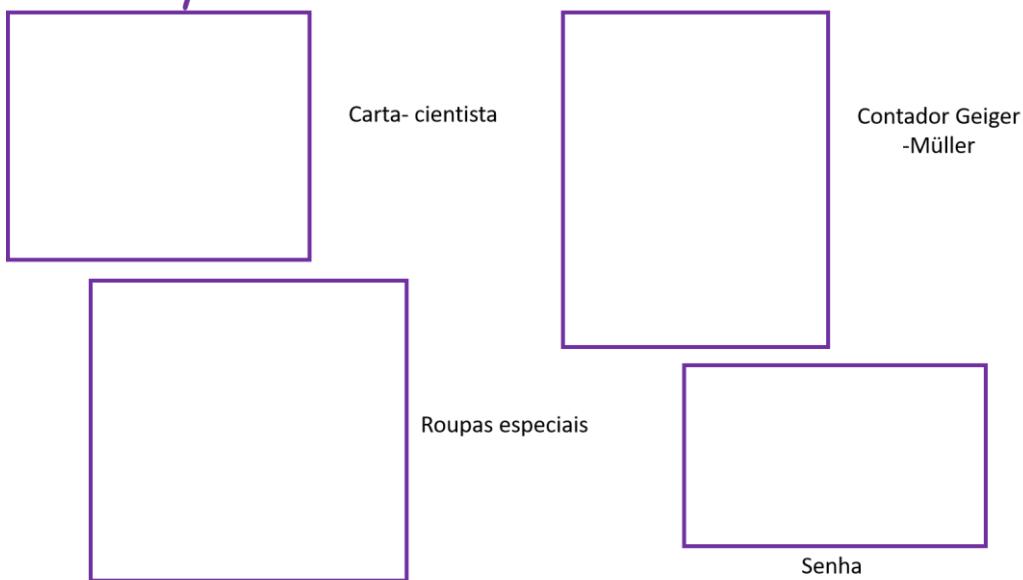
*O grupo pode consultar um amigo, ou o grupo ao lado quando quiserem para sanar dúvidas. Pode ser usada uma única vez.*



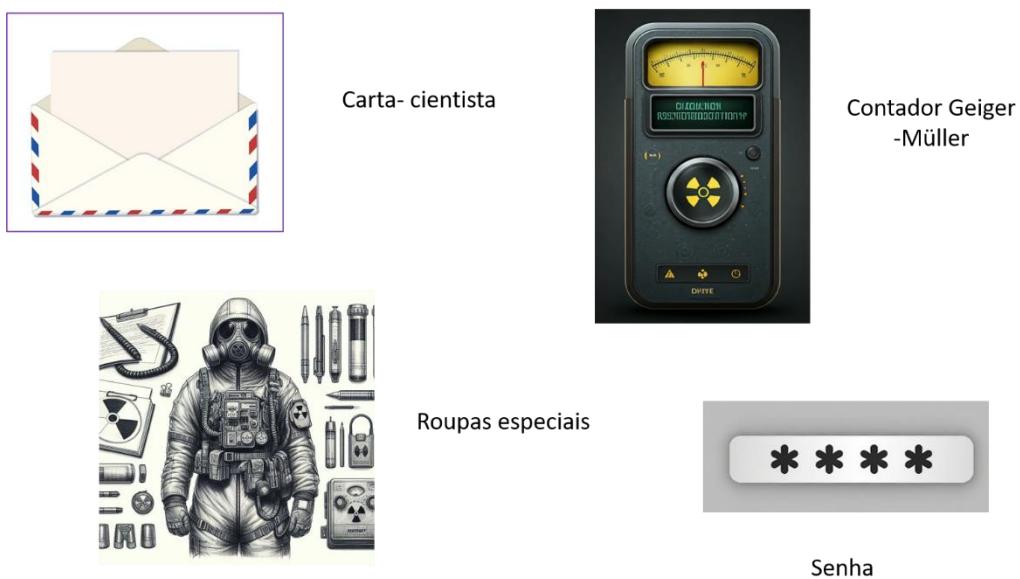
**ELEMENTOS**

**EXTRAS**

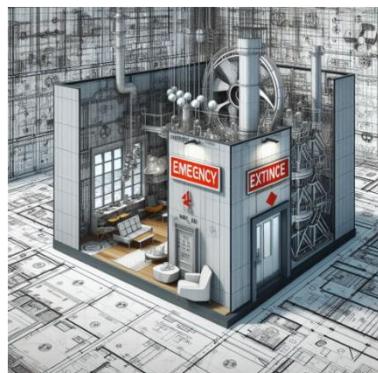
# Requisitos de Entrada - Usina



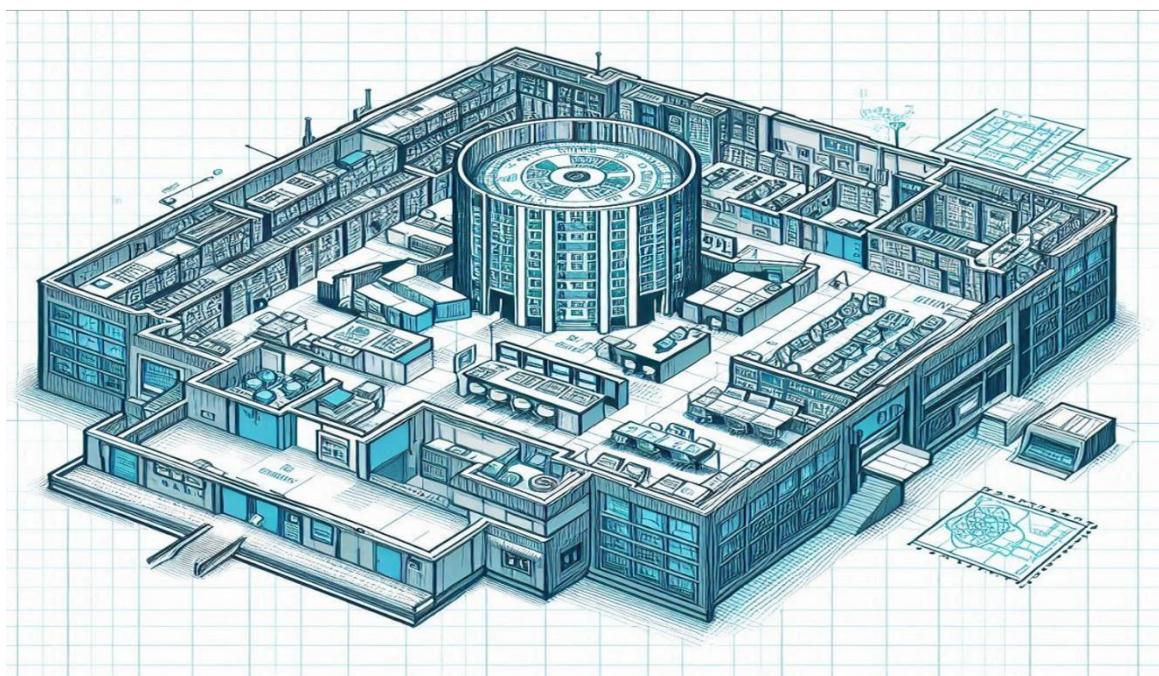
Tamanho para impressão



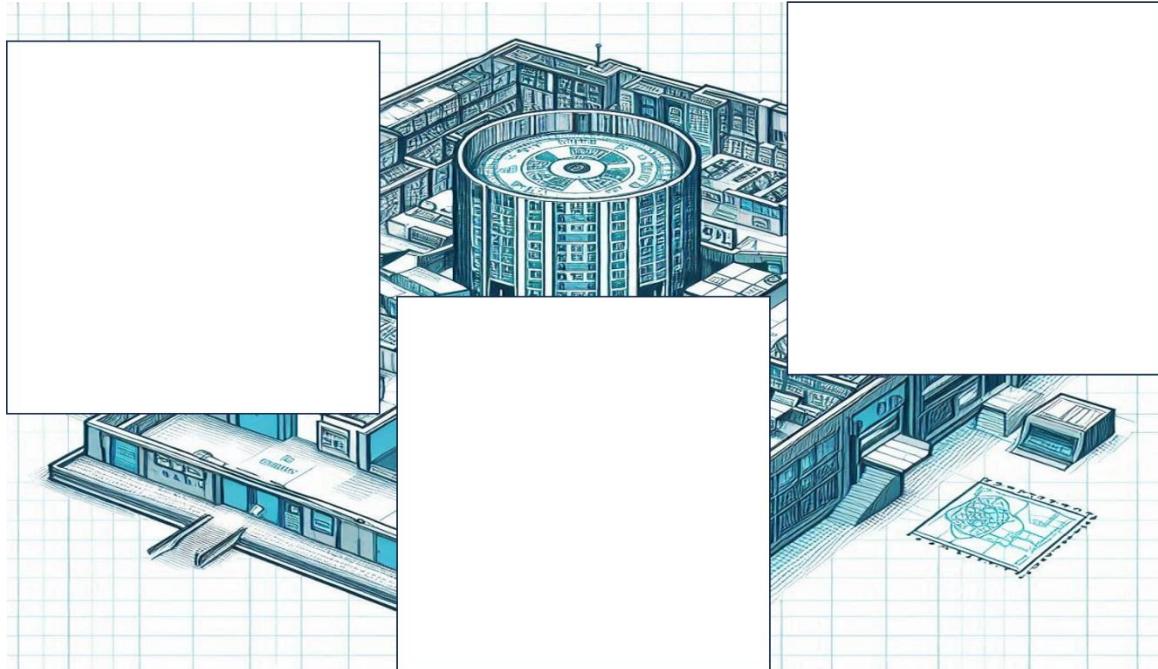
# *Mapa de saída- emergência Frente*



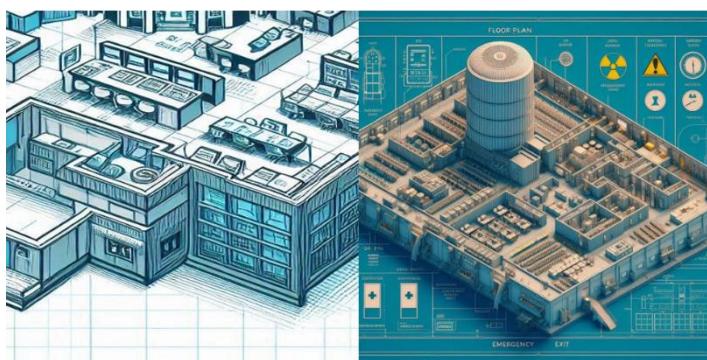
# *Mapa de saída- emergência- verso*

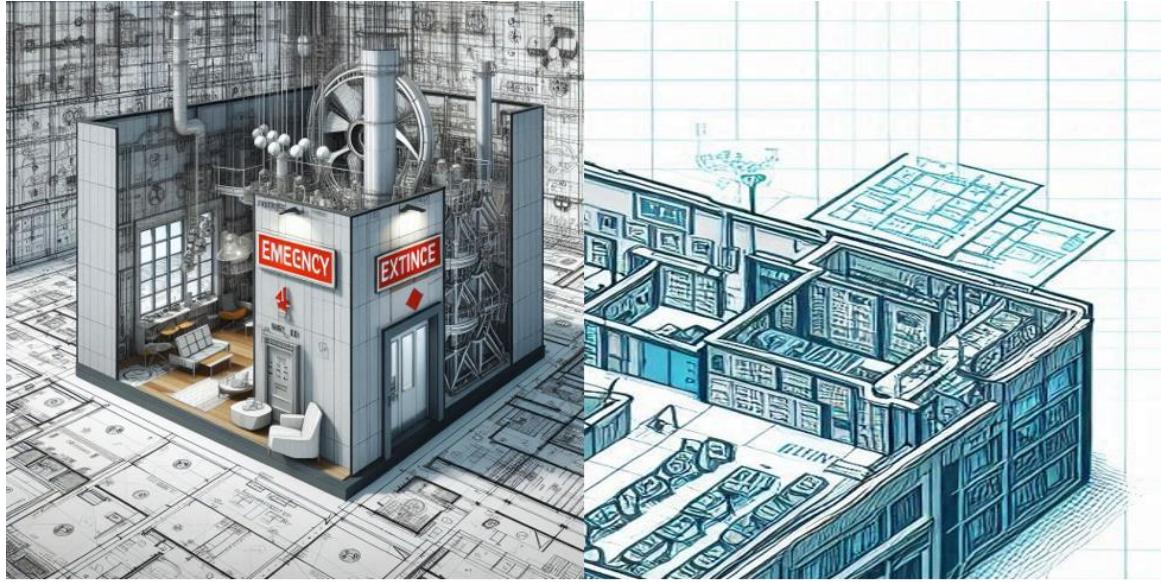


# Mapa de saída - emergência



Tamanho para impressão





Tamanho para impressão

# CASA - DIRETOR DE SEGURANÇA

“Qual é a principal vulnerabilidade mencionada pela Dra em relação ao sistema de segurança da usina nuclear e qual solução ela sugere?

A principal vulnerabilidade mencionada pelo cientista é a falha do sistema de resfriamento do núcleo, que pode levar ao aumento rápido da temperatura e risco de derretimento. Ela sugere a implementação de um sistema de redundância para os geradores de emergência e um plano de evacuação para as áreas circunvizinhas. No contexto de usinas nucleares, um sistema de redundância para os geradores de emergência significa ter múltiplas fontes de energia reserva. Isso é essencial porque, se o sistema de resfriamento falhar e não houver energia alternativa para mantê-lo funcionando, a temperatura do núcleo do reator pode aumentar rapidamente, levando ao risco de um derretimento nuclear. Por exemplo, uma usina pode ter geradores a diesel e baterias de backup para garantir que o resfriamento do reator continue funcionando mesmo em caso de falha na rede elétrica principal. Isso é uma prática comum em engenharia de segurança, não só em usinas nucleares, mas também em aviões, hospitais, servidores de internet e sistemas industriais onde qualquer falha pode ter consequências graves. Tal falha pode ter sido a responsável pelo acidente nuclear, lembrando que usinas costumam ser seguras.”







CARTA

CONSEQUÊNCIAS



## PERGUNTA DESAFIO

**Pergunta:** Qual é a principal diferença entre fusão e fissão nuclear, e por que a fusão é considerada uma fonte de energia mais limpa?



## PERGUNTA DESAFIO

**Pergunta:** Qual é a principal diferença entre fusão e fissão nuclear, e por que a fusão é considerada uma fonte de energia mais limpa?

**CASA CIENTISTA 2**



## PERGUNTA DESAFIO

**Pergunta:** Com base nisso, qual é a idade estimada do pedaço de madeira?

LABORATÓRIO



## PERGUNTA DESAFIO

**Pergunta:** Considerando que a radiação de césio-137 diminui pela metade a cada 30 anos, qual será a dose acumulada ao final dos 10 anos?

HOSPITAL

FOTOS

DOS

LOCAIS



## CASA CIENTISTA 2



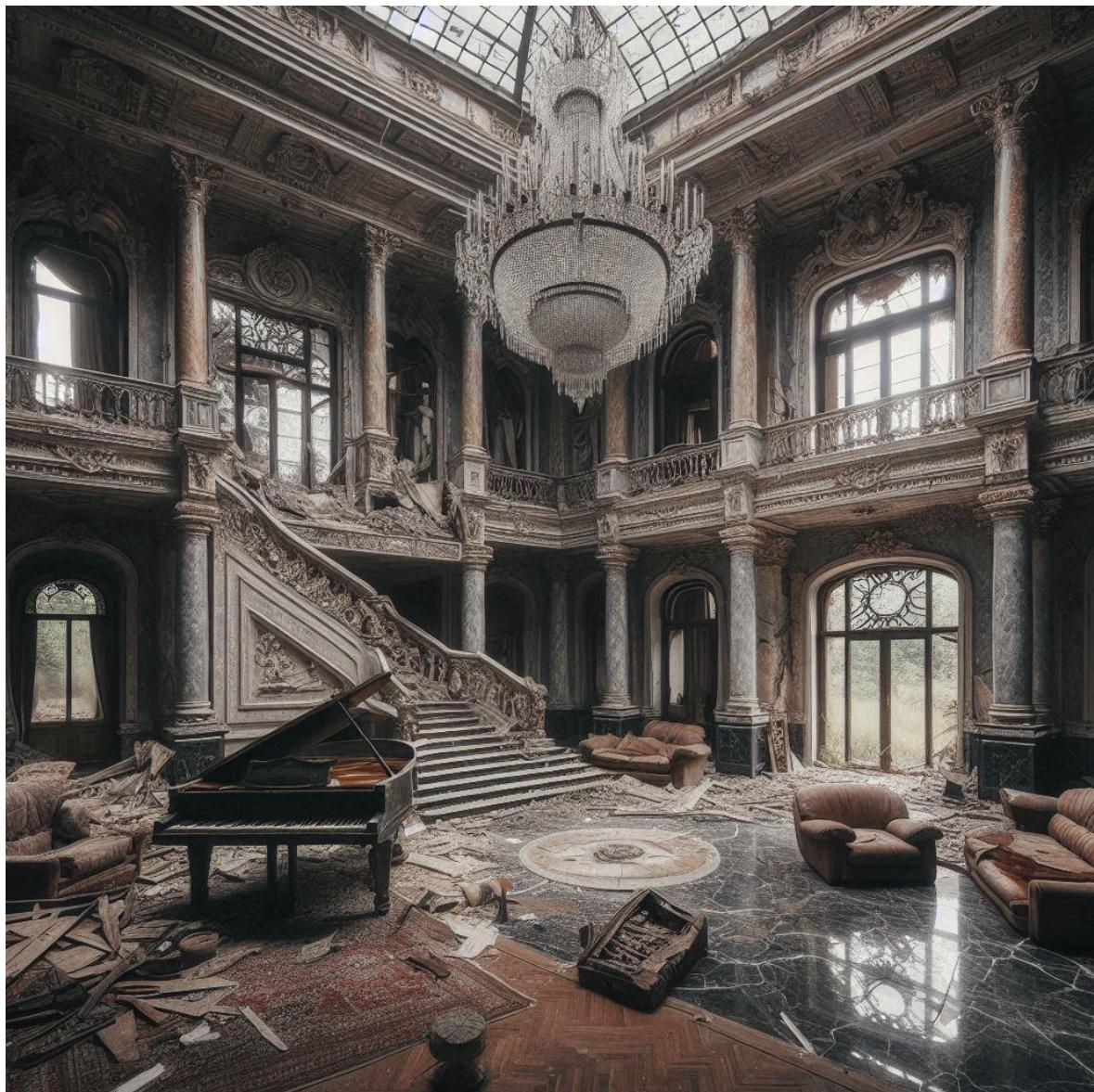
# CASA CIENTISTA 1



CASA 1



CASA 2



DIRETOR



# FLORESTA



GRUTA



HOSPITAL



HOSPITAL ( EXTRA)



# LABORATÓRIO CPA



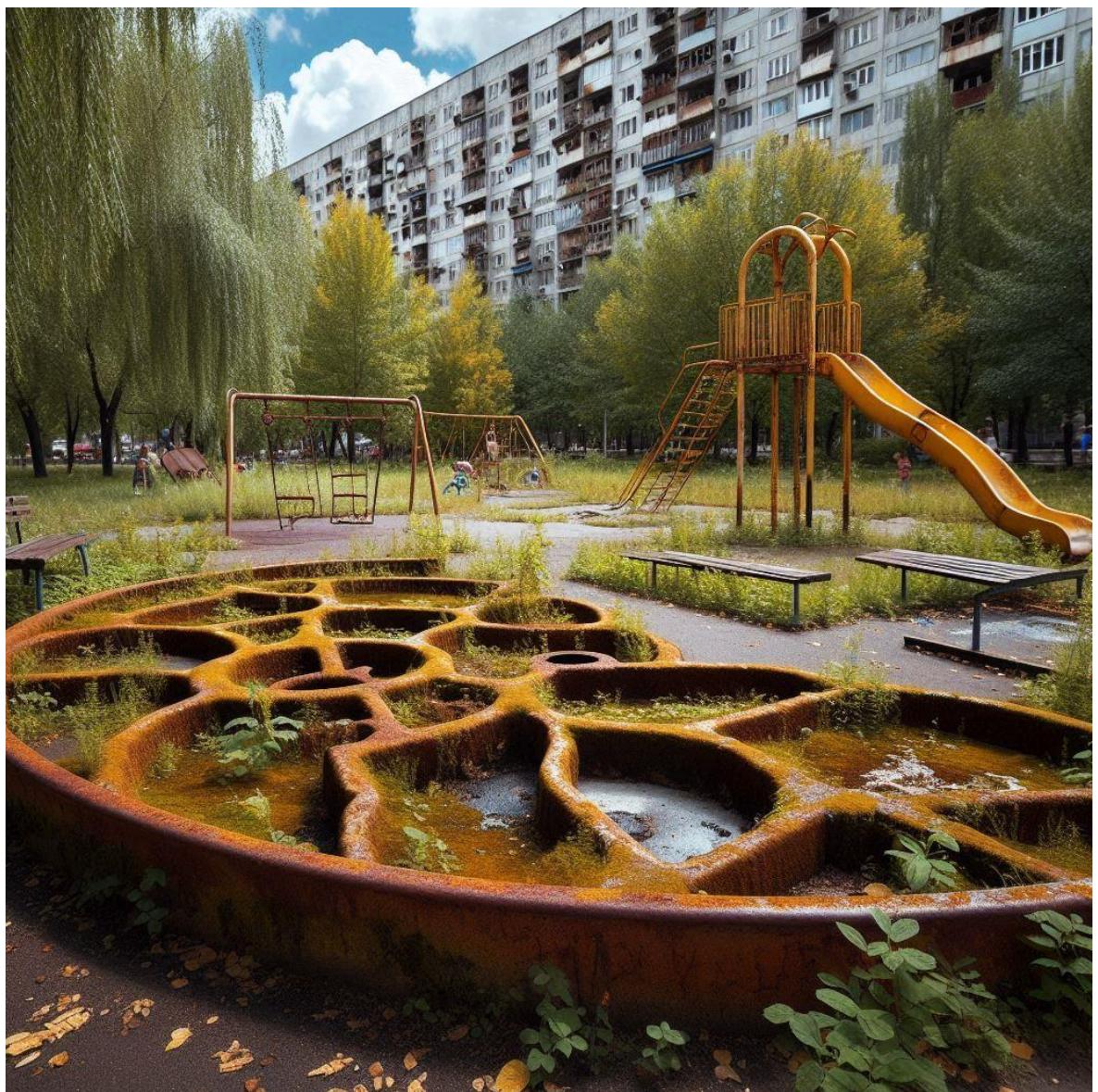
# LABORATÓRIO RADIUS



# LABORATÓRIO



LAGO



PARQUE



USINA