



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
LICENCIATURA EM QUÍMICA

BRUNA DE OLIVEIRA SILVA

**RADIAÇÃO: um aplicativo gamificado como recurso didático de ensino e
aprendizagem da ciência nuclear e suas tecnologias para estudantes do
ensino básico**

Caruaru
2019

BRUNA DE OLIVEIRA SILVA

RADIAÇÃO: um aplicativo gamificado como recurso didático de ensino e aprendizagem da ciência nuclear e suas tecnologias para estudantes do ensino básico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Química.

Área de concentração: Ensino de Química.

Orientadora: Prof.^a Dra. Jane Maria Gonçalves Laranjeira.

Caruaru
2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

S586r Silva, Bruna de Oliveira.
Radiação: um aplicativo gamificado como recurso didático de ensino e aprendizagem da ciência nuclear e suas tecnologias para estudantes do ensino básico. / Bruna de Oliveira Silva. - 2019.
96 f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Jane Maria Gonçalves Laranjeira.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Química, 2019.
Inclui Referências.

1. Radioatividade. 2. Ciências – Estudo e ensino – Caruaru (PE). 3. Jogos no ensino de ciências – Caruaru (PE). 4. Educação básica – Caruaru (PE). 5. Química nuclear – Caruaru (PE). I. Laranjeira, Jane Maria Gonçalves (Orientadora). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.) UFPE (CAA 2019-331)

BRUNA DE OLIVEIRA SILVA

RADIAÇÃO: um aplicativo gamificado como recurso didático de ensino e aprendizagem da ciência nuclear e suas tecnologias para estudantes do ensino básico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Química.

Aprovada em: 20 / 12 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Jane Maria Gonçalves Laranjeira (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Msc. Iago Richard Rodrigues Silva (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

Prof. Msc. Renato Alves de Lima (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a Deus, a quem devo toda honra e glória por tudo o que sou e o que conquistei e a minha sincera gratidão a todos que de alguma forma contribuíram e acreditaram no meu sonho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, a quem devo toda honra e glória por tudo o que sou e tudo o que conquistei. Ele é o amigo fiel, que esteve ao meu lado do início ao fim de minha graduação, sendo minha fonte de fé, força e perseverança que me fizeram chegar até aqui, vitoriosa mais uma vez.

Aos meus pais, Selma Maria e José Estelino, por todo amor, orações, apoio e por sempre acreditaram no meu potencial e nos meus sonhos. Obrigada por cada investimento que fizeram em mim, cada sacrifício, cada ensinamento, que estão escritos na tábua do meu coração e para sempre os honrarei.

Ao meu noivo Iago, por todo amor, apoio, carinho e por sempre acreditar e lutar pelos meus sonhos como se fossem seus. Obrigada pelo grande companheiro que és e por toda contribuição para o desenvolvimento do presente trabalho, colaborando para o desenvolvimento do meu aplicativo e me orientando em minha jornada acadêmica.

À minha família em geral, em especial a minha irmã Joyce por todo amor e parceria na vida diária, a minha avó Neli por ter me acolhido em sua casa no início de minha graduação e contribuído para que eu pudesse me manter naquela época, e a todos aqueles que sempre torceram por mim e pelo meu sucesso.

À minha orientadora Jane Laranjeira, por todo apoio durante a minha graduação, todas as palavras de incentivo e por ter acreditado na minha ideia, sempre me ajudando, acreditando no meu potencial e me orientando até a presente conclusão deste projeto.

A todos os meus amigos, que estiveram ao meu lado durante a graduação, que me ajudaram nos momentos em que precisei, que supriram as minhas necessidades e me ajudaram a conquistar o meu sonho, que Deus recompense vocês grandemente.

Aos meus professores, por todo conhecimento que me ensinaram, todas as orientações e palavras de incentivo preciosas que recebi, as quais levarei comigo por toda a vida.

Aos meus irmãos de fé que sempre oraram por mim e vibraram com minhas vitórias e por fim, a Universidade Federal de Pernambuco Campus Agreste, pela oportunidade de cursar e concluir, com muita alegria, o curso que sempre sonhei.

RESUMO

A Química é uma ciência de grande importância para a sociedade e que vem contribuindo para seu avanço nas mais diversas áreas, como na tecnologia, na medicina, na agricultura, entre outras. A Química também é um componente curricular previsto nos Parâmetros Curriculares Nacionais. Um dos temas de grande importância deste componente curricular é a radioatividade, ainda pouco discutida nos ambientes escolares e com poucos recursos didáticos disponíveis em língua portuguesa. Neste trabalho desenvolveu-se o aplicativo gamificado RadiAção, como recurso didático de ensino e aprendizagem da Ciência Nuclear e suas tecnologias para estudantes do Ensino Básico. Para isto, foi realizado um levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes de uma turma de terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública de Caruaru e os dados coletados serviram de base para o desenvolvimento do aplicativo, fundamentado no conceito de gamificação. O mesmo possui uma estrutura que busca estimular nos estudantes a motivação e o engajamento, para uma aprendizagem interativa, dinâmica e participativa do tema proposto. Através da reflexão por parte dos estudantes sobre os conteúdos disponíveis no aplicativo, podem ser criadas novas estruturas cognitivas de conhecimento através da reelaboração dos conceitos e construção de significados. A última etapa foi a utilização do aplicativo por estudantes de licenciatura em química que tivessem cursado a disciplina Introdução à Química Nuclear. Estes estudantes responderam questões a fim de analisar a usabilidade do aplicativo e puderam deixar sugestões de melhoria. Após serem realizadas as modificações de melhoria, o aplicativo será disponibilizado para livre acesso por meio de uma plataforma digital.

Palavras-chave: Ciência nuclear. Ensino. Gamificação.

ABSTRACT

Chemistry is a science of great importance to society and has been contributing to its advancement in various areas, such as technology, medicine, agriculture, among others. Chemistry is also a curricular component provided for in the National Curriculum Parameters. One of the topics of great importance of this curricular component is radioactivity, still little discussed in school environments and with few didactic resources available in Portuguese. In this work, the gamified application RadiAção was developed as a didactic resource for teaching and learning Nuclear Science and its technologies for students of Basic Education. For this, it was made a survey of the previous knowledge of the students of a third year high school class of a public school in Caruaru and the collected data served as basis for the development of the application, based on the concept of gamification. It has a structure that seeks to stimulate students' motivation and engagement, for interactive, dynamic and participatory learning of the proposed theme. Through students' reflection on the contents available in the application, new cognitive knowledge structures can be created by reworking concepts and constructing meanings. The last step was the use of the application by undergraduate chemistry students who had taken the Introduction to Nuclear Chemistry course. These students answered questions in order to analyze the usability of the application and could leave suggestions for improvement. Once the enhancement modifications have been made, the application will be made available for free access through a digital platform.

Keywords: Nuclear science. Teaching. Gamification

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Série de decaimento radioativo do Tório e Urânio.....	24
Figura 2 –	Contador Geiger-Muller para radiação alfa, beta e gama..	39
Figura 3 –	Escala Internacional de Eventos Nucleares e Radiológicos (INES).....	45
Figura 4 –	Tela inicial do aplicativo.....	80
Figura 5 –	Temáticas abordadas no aplicativo.....	83
Figura 6 –	Tela do quiz.....	85
Figura 7 –	Conteúdo: Irradiação de alimentos.....	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Tipos de radiação ionizante.....	23
Quadro 2 –	Descrição das emissões radioativas.....	25
Quadro 3 –	Limiares de dose para efeitos determinísticos.....	36
Quadro 4 –	Fatores de ponderação para tecidos ou órgãos.....	37
Quadro 5 –	Sintomas de acordo com a forma e dose absorvida de radiação.....	40
Quadro 6 –	Limiares estimados de doses absorvidas agudas gama para 1% de morbidez e mortalidade após exposição de corpo inteiro de uma pessoa.....	42
Quadro 7 –	Limites de dose anuais.....	44
Quadro 8 –	Critérios de classificação da INES e principais acidentes nucleares.....	45
Quadro 9 –	Processos de tratamento dos rejeitos de baixa ou média atividade.....	52
Quadro 10 –	Conteúdo do aplicativo.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Aplicações da radioatividade.....	28
Tabela 2 –	Espessura em metros de alguns materiais necessária para reduzir a intensidade da radiação gama e de nêutrons de 50% para menos de 1%.	43
Tabela 3 –	Classes de rejeitos radioativos.....	48
Tabela 4 –	Definições trazidas pelos estudantes sobre o conceito de radioatividade.	70
Tabela 5 –	Relações estabelecidas pelos estudantes sobre os conceitos: atividade, meia-vida, radiação alfa, radiação beta e radiação gama.....	72
Tabela 6 –	Opiniões dos estudantes sobre alimentos irradiados e seu processo de preparação.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bq	Becquerel
Ci	Curie
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente
D	Dose absorvida
eV	Elétron-volt
Gy	Gray
H	Dose equivalente
HE	Dose efetiva
IAEA	Agência Internacional de Energia Atômica
INES	Escala Internacional de Eventos Nucleares e Radiológicos
IOE	Indivíduos Ocupacionalmente Expostos
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
LD₅₀	Dose letal média
MeV	Mega elétron-volt
mm	Milímetro
mSv	Microsievert
PCNEM's	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PET	Tomógrafos por emissão de pósitrons
Q	Fator de qualidade da radiação
rad.	Dose de radiação absorvida
rem	Homem equivalente Röntgen
RF	Requisitos Funcionais
SI	Sistema Internacional de Unidades
Sv	Sievert

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	<i>Objetivo Geral</i>	17
2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	17
2.3	<i>Justificativa</i>	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	<i>A gamificação no ensino</i>	19
3.2	<i>A Ciência Nuclear e suas tecnologias e a sua importância como conteúdo escolar</i>	20
3.2.1	<i>O que é radioatividade</i>	23
3.2.2	<i>Aplicações da radioatividade.....</i>	27
3.2.3	<i>Efeitos da radiação ionizante no corpo humano</i>	35
3.2.4	<i>Gerenciamento de resíduos radioativos.....</i>	48
3.2.5	<i>Curiosidades</i>	55
4	METODOLOGIA	59
4.1	<i>A tipologia do estudo.....</i>	59
4.2	<i>Delimitação da população e da amostra</i>	60
4.3	<i>Instrumentos de coleta de dados</i>	61
4.3.1	<i>Instrumento para análise do conhecimento prévio dos estudantes.....</i>	62
4.3.2	<i>Instrumento para análise da usabilidade do aplicativo desenvolvido</i>	62
4.4	<i>Realizar um levantamento de requisitos funcionais (RF) necessários para o desenvolvimento do aplicativo.....</i>	62
4.5	<i>A construção do aplicativo.....</i>	64
4.6	<i>A análise dos dados.....</i>	66

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1	<i>Identificar quais estratégias a serem utilizadas no aplicativo, a fim de que este seja uma ferramenta de aprendizagem interativa, dinâmica e participativa para a compreensão da Ciência Nuclear e suas tecnologias pelos estudantes do Ensino Básico</i>	68
5.2	<i>Analisar, através de um pré-teste, a usabilidade do aplicativo e sua aceitação pelos usuários, no que diz respeito à navegação, interface e qualidade do conteúdo disponível no mesmo</i>	79
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
6.1	<i>Principais contribuições.....</i>	89
6.2	<i>Limitações.....</i>	90
6.3	<i>Trabalhos futuros</i>	90
	REFERÊNCIAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

A Química é uma ciência que tem contribuído ao longo dos anos para o desenvolvimento da sociedade, sendo essencial nas mais diversas áreas da vida humana. Seus conhecimentos e aplicações trouxeram avanços que possibilitaram a criação de novas tecnologias e materiais para a medicina, geração de energia elétrica, transportes, agricultura e vários outros. A Química também é uma disciplina escolar, apresentada aos estudantes a partir dos anos finais do Ensino Fundamental até o Ensino Médio. O estudante interage com o conhecimento químico de diversas formas, seja na sala de aula, seja através dos meios de comunicação ou até mesmo através do senso comum, segundo afirma Brasil (2000, p. 30).

Apesar da importância do conhecimento químico, seu ensino muitas vezes se dá de forma descontextualizada, sendo estimulada a memorização de conceitos, o que tem contribuído para a formação de uma compreensão limitada sobre a Química, vista pelos estudantes como um conhecimento distante de sua realidade, do qual somente os cientistas e pesquisadores tem domínio. Analisando os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, elaborados pelo Ministério da Educação, vemos que a proposta para o aprendizado de Química pelos estudantes:

[...] implica que eles compreendam as transformações químicas que ocorrem no mundo físico de forma abrangente e integrada e assim possam julgar com fundamentos as informações advindas da tradição cultural, da mídia e da própria escola e tomar decisões autonomamente, enquanto indivíduos e cidadãos. Esse aprendizado deve possibilitar ao estudante a compreensão tanto dos processos químicos em si quanto da construção de um conhecimento científico em estreita relação com as aplicações tecnológicas e suas implicações ambientais, sociais, políticas e econômicas. Tal a importância da presença da Química em um Ensino Médio compreendido na perspectiva de uma Educação Básica (BRASIL, 2000; p.31).

O aprendizado (capacidade de refletir criticamente sobre o conteúdo estudado) de Química deve possibilitar que o estudante estabeleça relações entre o que aprende e a sua realidade, construindo significados e sendo capaz de se posicionar criticamente com relação às temáticas que lhe forem apresentadas. No processo de ensino e aprendizagem de Química com caráter interdisciplinar pode-se discutir a **Ciência Nuclear e suas tecnologias**. Para Atkins (2012, p. 728), “A Química é a chave para o uso seguro da energia nuclear. Ela é usada na

preparação do combustível, na recuperação de importantes produtos de fissão e na remoção segura ou na utilização dos resíduos nucleares”.

Segundo Almeida et al. (2016, p.2) existem reatores nucleares espalhados em todos os continentes. Atualmente o Brasil possui dois reatores em funcionamento e um em fase de construção, em Angra dos Reis no estado do Rio de Janeiro, por isso a compreensão da sociedade sobre o funcionamento dos reatores nucleares, o processo de geração de energia e o gerenciamento dos resíduos se torna uma necessidade latente.

Dentre outras aplicações da **Ciência Nuclear e suas tecnologias**, de acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) pode-se citar o uso: (i) Como traçadores radioativos, para acompanhar o metabolismo das plantas, verificando o que elas precisam pra crescer e prevenindo doenças. (ii) Na irradiação de alimentos, que contribui para a conservação e esterilização dos alimentos. (iii) Em processos industriais na radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial, uma modalidade de radiografia industrial onde utiliza-se uma fonte radioativa emissora de radiação ionizante, do tipo gama (por isso o nome gamagrafia). Trata-se de um ensaio não-destrutivo que permite avaliar diversos tipos de defeitos tanto em estruturas como em soldas. (iv) Na área médica, com uso amplo no diagnóstico e na radioterapia.

Desta forma a discussão sobre a **Ciência Nuclear e suas tecnologias**, com enfoque especial na radioatividade com seus riscos e benefícios para a sociedade, possui grande potencial para a promoção de uma aprendizagem **participativa** para os estudantes, sendo fonte de debate e discussão sobre suas aplicações e seus mecanismos de ação. Apesar disso, a radioatividade tem sido pouco explorada no Ensino Básico, no contexto da Química, verificando-se que ainda existem poucos recursos didáticos interativos e com terminologia adequada sobre esta área do conhecimento, como ressaltado por Eichler:

Poucas são as fontes de material didático relacionado com radioatividade disponíveis em Português e, principalmente, acessíveis a professores e estudantes do Ensino Médio. O assunto geralmente aparece apenas em livros de Física, onde normalmente são trabalhados com maior profundidade os aspectos relativos ao núcleo atômico e às reações nucleares. Assuntos como a interação das radiações com a matéria, seus efeitos químicos e biológicos raramente são discutidos com um enfoque químico. Verifica-se ainda que muitos boletins ou suplementos especiais, das mais diversas origens, que pretendem informar sobre o assunto, contêm imprecisões na linguagem, utilizam uma terminologia inadequada

para o nível dos estudantes secundaristas e muitas vezes têm caráter nitidamente sensacionalista (EICHLER et al., 2011; p.2).

Desta forma, faz-se necessário criar novos recursos didáticos sobre **Ciência Nuclear e suas tecnologias** acessíveis para os estudantes e em língua portuguesa, de modo a intervir na realidade atual, contribuindo para o aprendizado do conteúdo radioatividade no ambiente escolar e posterior correlação do mesmo com o cotidiano, levando a uma aprendizagem crítica e cidadã.

Nesta perspectiva, a problemática investigada neste estudo busca responder a seguinte indagação: Como um recurso didático-tecnológico pode contribuir para o ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** no Ensino Básico de Química de forma interativa, dinâmica e participativa?

A seguir, serão apresentados os objetivos gerais e específicos, a fim de responder a pergunta do problema de pesquisa.

2 OBJETIVOS

A fim de propor uma solução para o problema de pesquisa, foram definidos objetivos, que estão divididos em geral e específicos.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um aplicativo gamificado como recurso didático para uma aprendizagem interativa, dinâmica e participativa dos principais conceitos da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** no Ensino Básico.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar quais estratégias a serem utilizadas no aplicativo, a fim de que este seja uma ferramenta de aprendizagem interativa, dinâmica e participativa para a compreensão dos principais conceitos da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** pelos estudantes do Ensino Básico;
- Realizar um levantamento de requisitos funcionais (RF) necessários para o desenvolvimento do aplicativo;
- Analisar a usabilidade do aplicativo e sua aceitação pelos usuários, no que diz respeito à navegação, interface e qualidade do conteúdo disponível no mesmo.

2.3 Justificativa

O aplicativo gamificado que foi desenvolvido no presente trabalho poderá vir a contribuir como um recurso didático que auxilia no processo de ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** no Ensino Básico, pois, de acordo com Souza (2007, p. 111): “recurso didático é todo material utilizado como auxílio no ensino-aprendizagem do conteúdo proposto para ser aplicado pelo professor a seus alunos”.

Desta forma, com o uso deste aplicativo gamificado o estudante poderá aprofundar a sua compreensão sobre a **Ciência Nuclear e suas tecnologias**, através das diversas temáticas que são abordadas no mesmo e, através da contextualização, ele poderá construir conexões entre o que aprende e a sua realidade local, compreendendo a importância desta Ciência e suas tecnologias para a sociedade como um todo.

Além disso, este aplicativo estará contribuindo para a diminuição da escassez de recursos didáticos sobre radioatividade em língua portuguesa, tornando-se uma fonte acessível de informação sobre o tema.

No campo de pesquisa e ensino, o presente trabalho poderá ser útil em estudos futuros de desenvolvimento de outros aplicativos educacionais que tratem de outros temas da Química, contribuindo para a promoção de uma aprendizagem mais **interativa, dinâmica e participativa** para os estudantes.

Ao ser disponibilizado posteriormente para livre acesso da população, o aplicativo gamificado “RadiAção” ainda estará contribuindo para a difusão do conhecimento sobre a **Ciência Nuclear e suas tecnologias** de forma acessível para todos, que poderão aprender sobre o tema apenas com o uso do celular, interagindo com a plataforma de forma interativa e dinâmica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão apresentados os principais temas que formam a base teórica deste trabalho, a saber: (i) a gamificação no ensino e (ii) a Ciência Nuclear e suas tecnologias e a sua importância como conteúdo escolar.

3.1 A gamificação no ensino

Gamificação é o termo que se dá a utilização de elementos de jogo em contextos que não são de jogo, com a finalidade de levar os sujeitos ao alcance de um objetivo pré-determinado. Segundo Navarro (2013) o termo foi criado em 2003, pelo programador e inventor britânico Nick Pelling.

No âmbito educacional, a gamificação pode ser utilizada em conjunto com diversas estratégias metodológicas, a fim de promover maior engajamento, interação, dinamicidade e desafios que estimulem os estudantes no processo de ensino e aprendizagem.

Segundo Kapp (2012, traduzido para o português) “gamificação abrange a ideia de adicionar elementos de jogo, pensamento de jogo e mecânica de jogo ao conteúdo de aprendizado”. Sendo assim, compreende-se que para utilizar a gamificação em sala de aula, o professor deve criar estratégias que possuam características de jogo, como por exemplo: desafios, premiações, ludicidade e interatividade, tendo como objetivo a aprendizagem de um conteúdo específico.

De acordo com Kapp et al. (2014, traduzido para o português) a gamificação pode ser classificada em dois tipos:

- (1) Gamificação estrutural: é a aplicação de elementos de jogos para impulsionar os alunos através de conteúdo sem alterações.
- (2) Gamificação de conteúdo: é a aplicação de elementos de jogo, mecânica de jogo e pensamento de jogo para alterar o conteúdo para torná-lo mais parecido com um jogo.

Na área educacional, a gamificação do tipo estrutural tem sido mais presente, no qual se aplicam elementos de jogo a um determinado conteúdo que se deseja ensinar.

Ainda de acordo como Kapp (2012, traduzido para o português) “a gamificação está usando mecânica, estética e pensamento de jogo baseados em

jogos para envolver as pessoas, motivar ações, promover o aprendizado e resolver problemas”. Para Leite (2015, apud LEITE, 2017, p.2) é utilizar os elementos comuns que estão presentes no design de um game (motivação, interação, colaboração, pensamento crítico, enfrentar desafios) com o intuito de promover a aprendizagem.

Segundo Kapp et al. (2014, traduzido para o português) a gamificação é apropriada na educação quando se deseja: (1) Motivar os estudantes a aprenderem os conteúdos escolares; (2) Influenciar o comportamento dos estudantes em sala de aula; (3) Guiar os estudantes na construção de novas soluções para os desafios propostos; (4) Encorajar os estudantes a desenvolverem de forma autônoma seus conhecimentos e habilidades; (5) Ensinar novos conteúdos para os estudantes.

Segundo Hamari, Koivisto e Sarsa (2014 apud ARAÚJO, 2016, p.99), que fizeram uma análise de estudos publicados em revistas internacionais sobre gamificação, o contexto no qual ela mais se apresenta é na educação e na aprendizagem, tendo sido identificados resultados positivos no que diz respeito ao aumento da motivação, do engajamento nas atividades e no divertimento. Portanto a utilização da gamificação no ensino pode promover maior participação e colaboração dos estudantes na sala de aula, com os mesmos sentindo-se mais motivados a aprender mediante a proposição de resolução de problemas e desafios vivenciados de forma lúdica e interativa.

A partir destas considerações verifica-se que a utilização da gamificação em sala de aula tem sido crescente na última década, por ser uma estratégia abrangente que pode ser utilizada em diversos contextos e em conjunto com diversos recursos didáticos pelos professores. Ao atribuir características de jogo a um aplicativo educacional, tem-se um exemplo de gamificação aplicado ao processo de ensino e aprendizagem.

A seguir, será abordado sobre a Ciência Nuclear e suas tecnologias e a sua importância como conteúdo escolar, de forma a trazer os conceitos e informações que serão abordados no aplicativo e a sua importância na aprendizagem desta temática.

3.2 A Ciência Nuclear e suas tecnologias e a sua importância como conteúdo escolar

O marco histórico da Ciência Nuclear e a descoberta dos raios X a partir do estudo dos efeitos luminosos em gases rarefeitos em tubos de raios catódicos resultaram na descoberta da radioatividade natural emitida pelos sais de urânio, pelo físico francês Antoine Henri Becquerel, em 1896 (MOREIRA, 1990 apud RIBEIRO, 2017, p.10). A radioatividade natural consiste em uma propriedade característica que certos núclídeos possuem de se transmutarem em outros núclídeos mais estáveis com emissão de radiação ionizante.

O termo núclídeo se refere a uma espécie de átomo caracterizada por seu número de massa (A), número atômico (Z) e estado energético nuclear com vida média longa o suficiente para ser observável (IUPAC, 1982)¹. Este fenômeno foi denominado radioatividade em 1899 por Marie Sklodowska Curie, uma cientista polonesa pioneira em pesquisas na área de radioatividade. Segundo Martins (2003) aos 30 anos de idade, Curie já era diplomada em Física e Matemática e no final de 1897 decidiu iniciar uma pesquisa para obtenção do título de doutoramento em Física. O tema escolhido para sua tese foi o estudo das radiações de urânio, através do método elétrico.

Ainda segundo Martins (2003), Antoine-Henri Becquerel, responsável pelos estudos que levaram à descoberta do fenômeno da radioatividade, confirmou experimentalmente que a radiação emitida pelo urânio era de natureza eletromagnética, semelhante à luz (refração, reflexão, polarização) e que a emissão diminuía lentamente no escuro, como uma fosforescência invisível de longa duração, conclusões estas que mais tarde se verificaria serem equivocadas, visto que o urânio emite partículas alfa. Na época, o estudo dos raios de urânio, ou raios de Becquerel, era um assunto pouco explorado e como Marie Curie inicia seus estudos sobre radioatividade nesta época, ela pode ser considerada uma pioneira em pesquisas nesta área, considerando a sua contribuição e de outros pesquisadores para a explicação científica deste fenômeno.

Atualmente, a radioatividade possui diversas aplicações científicas e tecnológicas, tais como: datação de fósseis, produção de energia elétrica em usinas nucleares, uso como traçadores radioativos na detecção de doenças e no acompanhamento do crescimento das plantas, na irradiação de alimentos, na medicina diagnóstica e terapêutica, dentre outras.

¹ <http://www.andrew.cmu.edu/course/09-106/RadiochemGlossary/Main.htm>

A compreensão dos processos radioativos se torna fundamental no Ensino Básico de Química, pois a falta de compreensão sobre esta área de conhecimento pode levar a construção de uma imagem errônea da **Ciência Nuclear e suas tecnologias**, vista no senso comum como algo nocivo e sem benefícios para a sociedade. Nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM's) o tema radioatividade é colocado como conteúdo transversal, constando como proposta interdisciplinar no processo de ensino e aprendizagem de Química, Física e Biologia, apesar do potencial para abordagem política, social, geográfica e histórica no contexto CTSA (BRASIL, 2006).

No entanto, é preciso que o tema radioatividade seja abordado como conteúdo programático e trabalhado de forma mais contundente no ambiente escolar, de modo a despertar nos estudantes um senso crítico e uma consciência cidadã a respeito deste tema, tão presente em nosso cotidiano, com seus riscos potenciais e benefícios para que os mesmos possam compreender como é possível fazer uso seguro desta Ciência e tecnologias na atualidade.

Segundo Chalmers (1993, p.17) o conceito de ciência nos tempos modernos tem usufruído de certo prestígio, sendo-lhe atribuído certo grau de confiança no que se diz respeito ao que é “científico”. Ou seja, a ciência acaba sendo vista como uma realidade distante, um conhecimento superior aos demais, do qual a grande massa da população não tem domínio. Daí a importância de se inserir a **Ciência Nuclear e suas tecnologias** no Ensino Básico, promovendo uma discussão com a comunidade escolar numa perspectiva de **aprendizagem participativa** para a construção de novos significados.

No aplicativo gamificado “RadiAção” as situações problemas e desafios postos para os estudantes irão abordar a Ciência Nuclear e suas tecnologias com relação aos seguintes conceitos de: radioatividade, decaimento radioativo, tipos de emissão radioativa, atividade, processos de fissão e fusão nucleares, aplicações, gerenciamento de resíduos radioativos, efeitos no corpo humano e informações complementares que serão discutidos formalmente nos tópicos seguintes: (i) O que é radioatividade?; (ii) Aplicações da radioatividade; (iii) Efeitos da radiação ionizante no corpo humano; (iv) Gerenciamento de resíduos radioativos; (v) Curiosidades; que serão fundamentados nas apostilas e materiais disponibilizados principalmente pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear).

3.3.1 O que é radioatividade

Segundo Herman Cember, radioatividade pode ser definida:

[...] como uma transformação nuclear espontânea que resulta na formação de um novo elemento através de um ou mais mecanismos de transformação, tais como: emissão de partícula alfa, emissão de partícula beta, emissão de pósitron, ou captura de elétron orbital. Cada um desses mecanismos poderá ou não ser acompanhado da emissão de radiação gama (CEMBER, 2009; p. 75).

Neste processo de transformação (ou transmutação) nuclear espontânea os núclídeos radioativos emitem radiações, na forma de partículas energéticas e ondas eletromagnéticas, que se propagam com a velocidade da luz no vácuo ou específica nos meios materiais.

As radiações podem ser classificadas em radiações ionizantes e não ionizantes. Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, 1982)², radiação ionizante é:

[...] qualquer radiação consistindo de partículas direta ou indiretamente ionizantes ou uma mistura de ambas ou fótons com energia maior que a energia dos fótons ultravioletas ou uma mistura dessas partículas e fótons (IUPAC, 1982).

Portanto, trata-se de qualquer radiação, partícula ou radiação eletromagnética, capaz de produzir ionização na matéria, ou seja, com energia suficiente para arrancar um elétron de um átomo ou molécula e cuja energia mínima típica é cerca de 10 eV. Sendo assim o termo radiação ionizante refere-se a partículas capazes de produzir ionização em um meio material, podendo ser classificada como:

Quadro 1: Tipos de radiação ionizante.

DIRETAMENTE IONIZANTE

- Partículas carregadas, como elétrons, pósitrons, prótons e partícula alfa.

INDIRETAMENTE IONIZANTE

- Sem carga, como fótons (raios X e gama) e nêutrons.

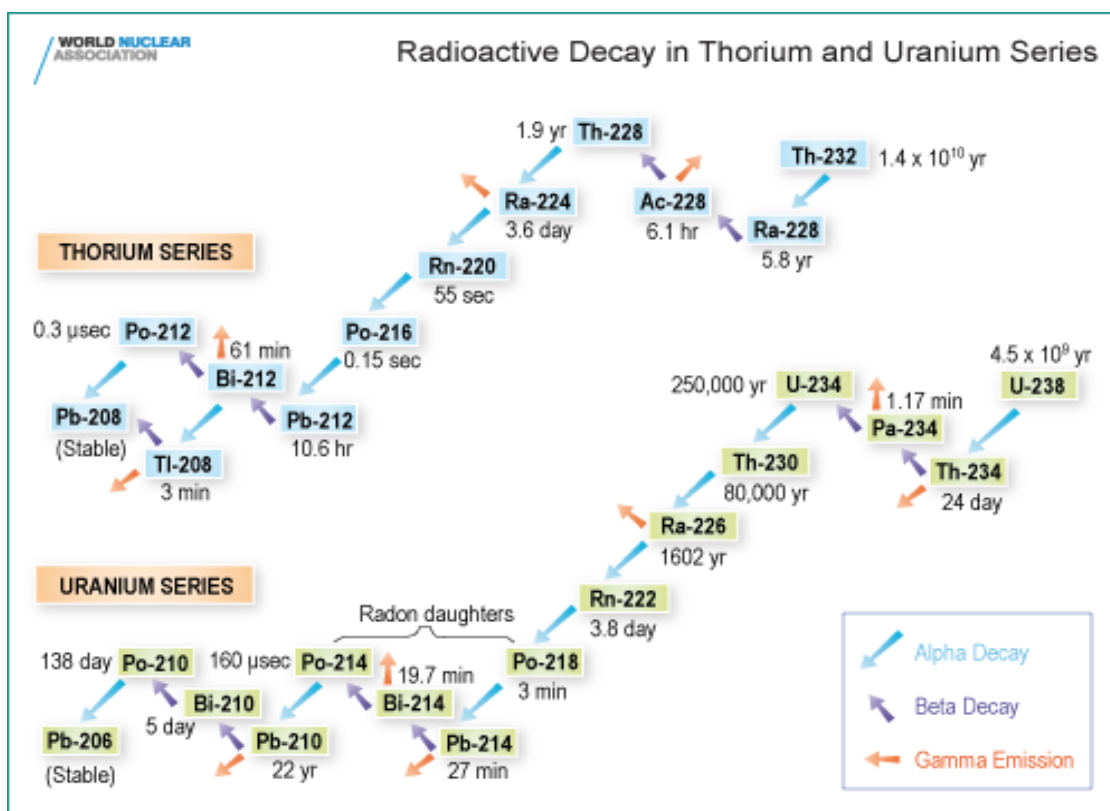
Fonte: Autoria própria.

² <http://www.andrew.cmu.edu/course/09-106/RadiochemGlossary/Main.htm>

As fontes de radiação ionizante podem ser naturais e artificiais. De acordo com Azevedo (2005), dentre as fontes naturais de radiação encontram-se os produtos de decaimento das séries do urânio (U-238) e do tório (Th-232), tais como os gases radônio (Rn-222) e o torônio (Rn-220). Estes dois nuclídeos, o radônio (Rn-222) e o torônio (Rn-220), podem ser encontrados nas rochas, nos solos, nos sedimentos e nos minérios, que possuem concentrações significativas de urânio (U-238) e tório (Th-232) que se transmutam sequencialmente em radionuclídeos pertencentes a estas famílias radioativas, com emissão de partículas alfa ou beta acompanhado ou não de emissão gama até o último nuclídeo estável destas series.

Na Figura 1 pode-se ver uma representação esquemática dos modos de decaimentos sequenciados destas duas series radioativas com os respectivos períodos de meia-vida de cada radionuclídeo até a formação do nuclídeo estável: Pb-208 na série do Tório e Pb-206 na série do Urânio. Para Herman Cember (2009, p. 98), traduzido para o português, o tempo de meia-vida é “indicativo da velocidade com que um dado isótopo sofre decaimento radioativo. É uma propriedade do radionuclídeo com faixa de valores entre microssegundos a bilhões de anos”.

Figura 1: Série de decaimento radioativo do Tório e Urânio.



Fonte: World Nuclear Association, 2019.

Uma descrição das radiações diretamente ionizantes mais comuns que estão associadas com os modos de desintegração dos radionuclídeos naturais (partículas alfa e beta) e indiretamente ionizantes (radiação gama e nêutron) e que são abordadas no aplicativo gamificado “RadiAção” estão apresentadas no Quadro 2 a seguir:

Quadro 2: Descrição das emissões radioativas.³

Características	Partícula alfa (α)	Partícula beta (β)	Radiação gama (γ)	Nêutron (n)
Representação	${}^4_2\alpha$ ${}^4_2\text{He}$	${}^0_{-1}e$	${}^0_0\gamma$	1_0n
Definição	Partícula carregada positivamente constituída por dois prótons e dois nêutrons. Idênticas aos núcleos de um átomo de hélio.	ELÉTRONS: partículas com carga negativa emitidos numa transmutação nuclear quando um nêutron se transforma num próton; PÓSITRONS: partículas com carga com carga positiva emitidos numa transmutação nuclear quando um próton num nêutron.	Radiação eletromagnética com frequência e energia elevadas (baixo comprimento de onda) emitida à na desexcitação nuclear.	Partículas muito penetrantes, que tem origem no espaço externo, através da colisão de átomos na atmosfera, e por quebra ou fissão de certos átomos dentro de reatores nucleares.
Valor da carga	+2	-1	0	0
Valor da massa	6.64424×10^{-27} kg	$9,109\ 389 \times 10^{-31}$ kg	0	$1,674\ 928 \times 10^{-27}$ kg
Poder de penetração na matéria	Baixo poder de penetração, podendo ser barrada por uma folha de papel.	É facilmente absorvida por camadas finas (por exemplo, plástico ou alumínio de 1 cm).	É extremamente penetrante e pode ser mais enfraquecida por material de alta densidade	São muito penetrantes, mas podem ser blindados por materiais ricos em hidrogênio.

³ Baseado nos dados disponíveis em: <http://publications.iupac.org/pac-2007/1982/pdf/5408x1533.pdf>

			(chumbo) e alto número atômico.	
Faixa de energia	Da ordem de 3727,16 MeV	Da ordem de 0,510976 MeV	Da ordem de 0,01 a 10 MeV	Da ordem de 2 a 10 MeV

Fonte: autoria própria.

Segundo Okuno et al. (1982, p.9) os nêutrons são partículas sem carga e por isso não produzem ionização diretamente, ocorrendo ionização indiretamente, acontecendo uma transferência de energia para outras partículas carregadas que, podem produzir ionização. Eles percorrem grandes distâncias através da matéria antes de interagir com o núcleo dos átomos que compõem o meio.

Outra fonte de origem natural de radiação eletromagnética é a radiação cósmica, proveniente do espaço sideral, que é resultado das explosões solares e estelares. De acordo com Okuno (2018), da radiação cósmica que atinge a Terra, quase 87% são prótons, cerca de 12% partículas alfa e 1%, núcleos de elementos pesados. A atmosfera freia grande parte da radiação cósmica, mas mesmo assim, uma porcentagem importante ainda consegue atingir os seres humanos.

Segundo Tauhata et al. (2014), as fontes artificiais de radiação ionizante mais importantes são os dispositivos, de terapia e diagnóstico, utilizados na medicina, os aparelhos de controle, medidores e de radiografia utilizados na indústria e comércio, as instalações do ciclo do combustível nuclear, e os equipamentos utilizados na pesquisa científica.

Os diversos tipos de radiação ionizante abordados anteriormente são produto de um processo chamado de decaimento radioativo. Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)⁴, decaimento radioativo pode ser definido como um “processo espontâneo de transformação de um dado nuclídeo em outro”, através de diversos mecanismos, tais como: (i) emissão de partículas energéticas; (ii) absorção de um elétron orbital; (iii) por fissão. Também se refere à desexcitação nuclear com emissão de radiação gama ou por conversão eletrônica.

Segundo a European Nuclear Society, o número de núcleos de uma substância radioativa que se desintegram por unidade de tempo pode ser denominado como atividade. A unidade de medida no sistema SI é becquerel (Bq)

⁴ http://www.cnen.gov.br/noticias/documentos/glossario_tecnico.pdf

que, por definição, equivale a: $1\text{Bq} = 1$ desintegração por segundo (s^{-1}). Uma unidade antigamente usada era o curie (Ci) observando-se a seguinte relação:

- $1\text{Ci} = 37.000.000.000 \text{ Bq}$.

Um dos mecanismos pelos quais pode ocorrer o decaimento radioativo é o processo de fissão, amplamente utilizado nas usinas nucleares. Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC,1982)⁵, fissão pode ser definida como “a divisão espontânea ou induzida de um núcleo em dois ou mais núcleos mais leves, geralmente acompanhada pela emissão de nêutrons, radiação gama e, raramente, pequenos fragmentos nucleares carregados”.

Outro mecanismo nuclear que se encontra em estudo para sua utilização no processo de produção de energia elétrica em usinas nucleares é a fusão. Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, 1982)⁵, fusão é “uma reação entre dois núcleos que resulta na coalescência completa dos mesmos com a formação de um núcleo mais pesado constituído pelos nucleons dos dois núclídeos originais”.

Como citado anteriormente, as radiações também podem ser classificadas em não ionizantes. A radiação não ionizante é aquela cuja energia é insuficiente para ionizar a matéria. Nesta categoria incluem-se micro-ondas, luz infravermelha, luz visível e ondas de rádio. Na maioria dos casos, a radiação ultravioleta também pode ser considerada uma radiação não ionizante.

De acordo com Marques et al. (2010) um núcleo radioativo que possui número atômico (número de prótons e/ou elétrons no estado fundamental) alto pode emitir partículas a fim de que sua energia interna seja diminuída. Núclídeos que possuem número atômico superior a 83 são considerados radioativos devido a sua instabilidade nuclear. A maior parte destes núclídeos decai através de emissões alfa, nas quais um núclídeo radioativo transforma-se em outro com dois números atômicos abaixo na tabela periódica.

3.3.2 Aplicações da radioatividade

No âmbito da Ciência Nuclear e suas tecnologias, a radioatividade possui diversas aplicações com grandes benefícios para a humanidade, que são decorrentes dos avanços na Ciência Nuclear e suas tecnologias. Dentre estas aplicações, foram selecionadas e discutidas na Tabela 1 aquelas que foram

⁵ <http://www.andrew.cmu.edu/course/09-106/RadiochemGlossary/Main.htm>

consideradas relevantes pela sua importância na sociedade atual no contexto deste aplicativo gamificado como recurso didático para uma aprendizagem interativa, dinâmica e participativa da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** no Ensino Básico.

Tabela 1: Aplicações da radioatividade.

Aplicação na irradiação e esterilização de produtos:	Trata-se de uma aplicação importante para a conservação de diversos produtos agrícolas, tais como: batata, cebola, alho e feijão. Batatas irradiadas podem ser armazenadas por mais de um ano sem murcharem ou brotarem. Segundo Tauhata et al. (2014), desde 2013 existem no Brasil cinco irradiadores industriais de grande porte, em São Paulo, nas cidades de São José dos Campos, Campinas, Jarinu e Cotia. Esses irradiadores operam com fontes de Co-60 e são utilizados para esterilização de artigos médicos, de componentes de cosméticos, de ração animal, e em alguns casos, de alimentos para exportação.
Aplicações industriais com a técnica de gamagrafia:	Trata-se da radiografia obtida através de raios gama – muito utilizada na indústria e na construção. Por meio deste processo, não destrutivo, é possível detectar defeitos ou rachaduras no corpo das peças. Consiste na impressão de radiação gama em filme fotográfico. Segundo Souza (2015, p.2) a aplicação da gamagrafia é crescente, principalmente no Brasil, sendo amplamente utilizada no setor

	petroquímico para inspeção das redes de tubulação que cortam as regiões isoladas.
Na datação radiométrica:	Esta técnica utiliza a lei de decaimento radiativo de um determinado radionuclídeo para estimar a idade de objetos, tais como minerais, meteoritos e formações geológicas, sendo particularmente utilizada na arqueologia. Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)⁶ o radionuclídeo C-14 está presente na natureza como resultado da absorção contínua dos nêutrons dos raios cósmicos pelos átomos de nitrogênio nas camadas altas da atmosfera. Esse isótopo se combina com o oxigênio, formando o $C^{14}O_2$, que é absorvido pelas plantas no seu processo metabólico, podendo fazer parte da cadeia alimentar dos seres vivos. A quantidade de carbono-14 encontrada em cada organismo permanece constante durante toda a sua vida, porém, após a morte, a absorção de $C^{14}O_2$ cessa, ocorrendo o decaimento deste radioisótopo de forma gradativa. Sendo o tempo de meia-vida do C-14 de 5.730 anos, então a partir da morte do ser vivo, os fósseis de animais e vegetais que contêm átomos deste radionuclídeo tem a atividade do C-14

	reduzida pela metade a cada 5.730 anos. É através da medição da proporção de C-14 que ainda existe nesses materiais que é possível saber a “idade” deles. Foi assim, por exemplo, que foi possível determinar a idade dos Pergaminhos do Mar Morto (CNEN)⁶.
Aplicações como traçadores radioativos:	As radiações emitidas por radioisótopos podem atravessar a matéria e serem detectadas através de aparelhos chamados de detectores de radiação. Isso é possível de acordo com a quantidade de energia característica da radiação que está sendo emitida (CNEN)⁶. Assim, pode-se acompanhar ou “traçar” o percurso feito por um radioisótopo num mapa do local. Por isso esta técnica recebe o nome de traçador radioativo. Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)⁶ com o uso de traçadores radioativos é possível acompanhar o metabolismo das plantas, verificando suas necessidades, o que cada parte da planta absorve e onde determinado elemento químico fica retido. no combate as pragas, pode-se utilizar a “marcação” dos insetos com radioisótopos para identificar qual predador se alimenta de determinado inseto indesejável, utilizando o predador

⁶ <http://www.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/aplicacoes-da-energia-nuclear.pdf>

	como instrumento de eliminação. Outra possibilidade consiste em esterilizar os insetos “machos” com radiação gama, que ao serem soltos no ambiente, reduzirão progressivamente a reprodução, levando a eliminação da praga. Os traçadores radioativos também podem ser utilizados em alimentos para verificar se há resíduos de agrotóxicos, bem como no solo, na água e na atmosfera.
Aplicações na medicina terapêutica:	Na atualidade a radioterapia tem desempenhando um papel fundamental no tratamento do câncer. Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)⁷ a radioterapia surgiu quando o casal Curie utilizou o elemento rádio a fim de para destruir células cancerosas, técnica que ficou conhecida inicialmente como “Curieterapia”. Posteriormente, outros radioisótopos passaram a ser usados aplicando-se uma maior dose em local específico do corpo que a usada nos diagnósticos e apresentando um maior rendimento, como no caso do iodo-131 que pode ser utilizado na eliminação de lesões na tireoide. Fontes radioativas de cézio-137 e cobalto-60 são usadas para destruir células de tumores, pois estas células são mais sensíveis à radiação do que os

	tecidos normais sadios. Segundo Tauhata et al. (2014), o Brasil segue a tendência mundial de substituição de equipamentos de telecobaltoterapia (equipamentos com fontes de Co-60, utilizados em centros de radioterapia) por aceleradores lineares (dispositivos utilizados no serviço de radioterapia, com a função de emitir a radiação utilizada em diversos tratamentos) e de fontes de braquiterapia (radioterapia interna na qual um material radioativo é inserido dentro ou próximo ao órgão a ser tratado) convencional por equipamentos de alta taxa de dose, além da disseminação dos implantes temporários e definitivos principalmente com fontes de ^{125}I, que possuem eficácia clínica proveniente da interação da radiação ionizante emitida da fonte com o tecido sendo tratado.
Aplicações na medicina diagnóstica:	Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)⁷ os radiofármacos utilizados em medicina no Brasil são, em grande maioria, produzidos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Entre os mais importantes podem ser citados: (i) Tecnécio-99 (Tc-99m) que é utilizado para obtenção de mapeamentos de

⁷ <http://www.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/aplicacoes-da-energia-nuclear.pdf>

	diversos órgãos (cintilografia renal, cerebral, hepato-biliar (fígado), pulmonar e óssea e de placenta) no diagnóstico do infarto agudo do miocárdio e em estudos circulatórios. (ii) Samário-153 (Sm-153) que é aplicado de forma injetável, como paliativo para a dor em pacientes com metástase óssea. A Indústria Farmacêutica utiliza fontes radioativas que emitem radiações ionizantes de alta energia e muito penetrantes para esterilizar seringas, luvas cirúrgicas, gaze e material farmacêutico descartável, em geral. Nestes casos o uso de radiação se torna muito útil, pois seria impossível esterilizar estes materiais pelos métodos convencionais uma vez que nas altas temperaturas usadas os deformariam ou danificariam de tal forma que não seria possível o seu uso (CNEN)⁸.
Uso na geração de energia elétrica	Segundo a CNEN⁹, a aplicação de maior percepção é a conversão da energia nuclear para energia elétrica, realizada nos reatores nucleares de potência. No Brasil existem duas usinas nucleares de potência e uma em fase de construção, todas na cidade de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro. Numa usina nuclear utiliza-se com maior frequência o

⁸ <http://www.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/aplicacoes-da-energia-nuclear.pdf>

⁹ <http://www.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa-aplicacoes.pdf>

	processo de fissão nuclear de radioisótopos combustíveis, tais como o urânio (^{235}U), o tório (^{232}Th) e o plutônio (^{238}Pu), ao invés do uso de óleo combustível ou de carvão mineral. A grande vantagem do uso das usinas nucleares para a geração de energia elétrica é a enorme quantidade de energia que pode ser gerada a partir de uma pequena quantidade do radionuclídeo usado como combustível. Fazendo um comparativo, para se produzir a mesma quantidade de energia, são necessárias vinte e cinco toneladas de carvão mineral, vinte toneladas de óleo e apenas dez gramas de urânio-235 (CNEN)¹⁰.
Uso para perfilagem de poços de petróleo	Nota-se também, segundo Tauhata et al. (2014) o avanço do uso da radioatividade na área de perfilagem de poços de petróleo. De acordo com Carvalho (2015) na indústria do petróleo, a utilização de fontes radioativas é: fundamental na perfilagem de poços, que têm a função geral de determinar características da formação atravessada por um poço recém furado, e também obtenção de dados para manutenção de poços antigos. Com as fontes radioativas obtém-se perfis que avaliam densidade e porosidade, além de identificar litologias

	e tipos de fluidos presentes nos poros das rochas. As fontes são colocadas no interior da ferramenta, para então descenderem com segurança no poço, de forma que o risco de perda seja reduzido ao máximo, uma vez que o material é altamente contaminante (CARVALHO, 2015; p.12).
--	--

Fonte: autoria própria.

Outra aplicação importante para a medicina diagnóstica são os raios-X. Raios-X são radiações da mesma natureza da radiação gama (ondas eletromagnéticas), com características idênticas. A diferença está na origem, visto que os raios-X não tem origem no núcleo atômico. De acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)⁹ os raios-X são emitidos quando elétrons, acelerados por alta voltagem, são lançados contra átomos e sofrem frenagem, perdendo energia. Não têm, pois, origem no núcleo do átomo.

Vale salientar que toda energia nuclear é atômica, porque o núcleo faz parte do átomo, mas nem toda energia atômica é nuclear. Outro exemplo de energia atômica e não nuclear é a energia das reações químicas (liberadas ou absorvidas) (CNEN)¹¹.

3.3.3 Efeitos da radiação ionizante no corpo humano e grandes acidentes nucleares na humanidade

Os efeitos das radiações ionizantes em um indivíduo dependem basicamente da dose absorvida (alta/baixa), da taxa de exposição (crônica/aguda) e da forma da exposição (corpo inteiro/ localizada) (CNEN).

Vale salientar que existe uma diferença entre contaminação e irradiação. Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)¹⁰ a contaminação é a presença de um material indesejável em determinado local. A irradiação é a

¹⁰ <http://www.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa-aplicacoes.pdf>

exposição de um objeto ou de um corpo à radiação. Sendo assim, é possível haver irradiação sem existir contaminação.

Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, 1982) dose é “a quantidade de radiação ou energia absorvida”. Ou seja, é a quantidade de radiação absorvida pelo material irradiado (por exemplo, tecido vivo). É o tipo de radiação e a quantidade que é absorvida que pode produzir danos no organismo dos seres vivos.

As doses são expressas de várias formas dependendo da parte do corpo que foi irradiada, do número de pessoas expostas que se deseja avaliar e do tempo durante o qual a dose se acumulará. Segundo o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN, 2011) a quantidade de energia absorvida por massa de tecido denomina-se dose absorvida (D) e mede-se em uma unidade denominada gray (Gy). Um gray corresponde a 100 rad na unidade antiga e a 1 J.kg^{-1} no sistema internacional de unidades (SI).

Porém, esta grandeza não é capaz de determinar se a dose foi produzida por radiação alfa (muito mais deletéria), radiação beta ou gama e, portanto, não pode inferir os efeitos biológicos que podem ser produzidos por esta absorção. Para isso, faz-se necessário ponderar estas doses em termos da potencialidade de produzir dano que cada tipo de radiação apresenta, vinte vezes maior para a radiação alfa do que para as outras (IPEN, 2011). O Quadro 3 a seguir apresenta os limiares de dose para efeitos determinísticos (efeitos que são causados por irradiação total ou localizada de um tecido, gerando um grau de morte celular não compensado pela reposição ou reparo, com prejuízos detectados no funcionamento do tecido ou órgão):

Quadro 3: Limiares de dose para efeitos determinísticos.¹¹

	Limiar de dose
--	----------------

¹¹ Baseado nos dados disponíveis em:
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/073/45073469.pdf

Tecido e efeito	Dose equivalente total recebida em uma única exposição (Sv)	Dose equivalente total recebida numa exposição fracionada ou prolongada (Sv)	Taxa de dose anual recebida em exposições fracionadas ou prolongadas por muitos anos (Sv)
Gônadas - Esterilidade temporária - Esterilidade	0,15 3,5 – 6,0	ND ND	0,40 2,00
Ovários - Esterilidade	2,5 – 6,0	6	> 0,2
Cristalino - Opacidade detectável - Catarata	0,5 – 2,0 5,0	5 > 8	> 0,1 > 0,15
Medula óssea - Depressão de hematopoiese	0,5	ND	> 0,4

Fonte: autoria própria.

Ainda de acordo com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN, 2011) “esta dose ponderada denomina-se dose equivalente (H), definida pelo produto de $D \cdot Q$, onde D é dose absorvida média no órgão ou tecido e Q é o fator de qualidade da radiação”. A unidade de dose equivalente, denominada sievert (Sv) é J/kg. Geralmente, na maioria das aplicações práticas, o fator de ponderação é 1, e neste caso, 1 sievert corresponde a 1 gray: 1 Sv = 100 rem (Homem Equivalente Röntgen), 1 rem = 1 cJ/kg (centijoule por quilograma) (IPEN, 2011). O Quadro 4 apresenta os fatores de ponderação para tecidos ou órgãos.

Quadro 4: Fatores de ponderação para tecidos ou órgãos.¹²

Órgão	Fator de ponderação para tecidos ou órgãos
--------------	---

¹² Baseado nos dados disponíveis em:
https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/posgraduacao/arquivos/201103311026310-Apostila%20TNA-5754%20abr-2011.pdf

Gônadas	0,20
Medula óssea (vermelha), estômago	0,12
Cólon, pulmão	0,12
Bexiga, mama	0,05
Fígado, esôfago	0,05
Tireóide	0,05
Pele, osso (superfície)	0,01
Restante do corpo	0,05

Fonte: autoria própria.

Segundo o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN, 2011) dose efetiva (HE) é definida “como a dose equivalente ponderada para expressar a sensibilidade dos diversos órgãos à exposição à radiação”.

De acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)¹³ detectores de radiação são “dispositivos (aparelhos) capazes de indicar a presença de radiação, convertendo a energia da radiação em um sinal elétrico, luz ou reação química”. Para cada tipo de radiação ionizante deve ser utilizado um detector diferente, os chamados monitores de radiação. Ainda de acordo com a CNEN¹⁴, “dosímetros são monitores que medem uma grandeza radiológica com resultados relacionados ao corpo humano inteiro ou a um órgão ou tecido”.

O Detector/Contador Geiger-Muller (GM) é um dos dispositivos mais antigos utilizados para detecção e medição das radiações, desenvolvido por Geiger e Muller em 1928 e muito usado ainda atualmente por ser um dispositivo simples, de baixo custo e de fácil operação (CNEN)¹⁴. A Figura 2 mostra um contador Geiger-Muller para radiação alfa, beta e gama.

¹³ <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa-aplicacoes.pdf>

Figura 2: Contador Geiger-Muller para radiação alfa, beta e gama.



Fonte: https://www.3bscientific.com.br/contador-geiger-1002722-u111511-gamma-scout,p_825_784.html

De acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)¹⁴ o Monitoramento Radiológico diz respeito à medição de grandezas relativas à proteção, para fins de avaliação e controle das condições radiológicas de locais onde existe ou se pressupõe a existência de radiação (CNEN)¹⁴.

O monitoramento de área diz respeito à avaliação e controle das condições radiológicas das áreas de uma instalação industrial, incluindo medição de grandezas relativas a:

- a) campos externos de radiação;
- b) contaminação de superfícies;
- c) contaminação do ar.

O monitoramento individual diz respeito ao monitoramento de pessoas com dispositivos individuais (dosímetros) colocados sobre o corpo.

Dos danos celulares, os mais importantes são os relacionados à molécula do DNA. De acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)¹⁴ “ao sofrer ação direta das radiações (ionização) ou indireta (através do ataque de radicais livres) a molécula de DNA expõe basicamente dois tipos de danos: mutações gênicas e quebras”. Ainda de acordo com a CNEN:

As mutações gênicas correspondem a alterações internas na molécula de DNA que resultam na perda ou na transformação de informações codificadas na forma de genes e as quebras da molécula resultam na perda da integridade física do material genético (quebra da molécula) (CNEN)¹⁵.

¹⁴ <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>

De acordo com Santiago (2017) as mutações nas células somáticas (do corpo) ou germinativas (das gônadas) podem ser classificadas em 3 grupos:

- Mutações pontuais (alterações na sequência de bases do DNA);
- Aberrações cromossômicas estruturais (quebra nos cromossomos);
- Aberrações cromossômicas numéricas (aumento ou diminuição no número de cromossomos).

As células mais radiosensíveis são aquelas integrantes do ovário, dos testículos, da medula óssea e do cristalino (olho).

De acordo com a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) ¹⁵ o conjunto e a sucessão de sintomas que surgem em vítimas de acidentes envolvendo altas doses de radiação é denominado de Síndrome de Irradiação Aguda. No organismo, os sistemas mais envolvidos são o circulatório, particularmente o tecido hematopoiético; o gastrointestinal e o sistema nervoso central. A dose letal média (LD₅₀) fica em torno de 5 Sv. Isto significa que, de 100 pessoas irradiadas com esta dose, metade morre. O Quadro 5 mostra os sintomas de acordo com a forma e dose absorvida de radiação.

Quadro 5: Sintomas de acordo com a forma e dose absorvida de radiação.¹⁶

Forma	Dose absorvida (Gray)	Sintomas
Infra-clínica	< 1	Ausência de sintomas, na maioria dos indivíduos.
Reações leves generalizadas	1 a 2	Astenia, náuseas e vômitos de 3 a 6 horas após a exposição. Efeitos desaparecendo em 24 horas.
Síndrome Hematopoiética Leve	2 a 4	Depressão da função medular (linfopenia, leucopenia, trombopenia, anemia). Máximo em 3 semanas após a exposição e voltando ao normal em 4 a 6 meses.
Síndrome Hematopoiética	4 a 6	Depressão severa da função medular.

¹⁵ https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/073/45073469.pdf

¹⁶ Baseado nos dados disponíveis em:

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/073/45073469.pdf

grave		
Síndrome do Sistema Gastrointestinal	6 a 7	Diarreia, vômitos, hemorragia.
Síndrome pulmonar	7 a 10	Insuficiência respiratória aguda.
Síndrome do Sistema Nervoso Central	> 10	Coma e morte horas após a exposição.

Fonte: autoria própria.

As radiações ionizantes produzem efeitos distintos no corpo humano dependendo também de sua natureza. Segundo a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 2004) ¹⁷ o maior perigo da radiação alfa ocorre:

[...] quando o radionuclídeo emissor alfa é ingerido e vai se alojar nas vias respiratórias, nos intestinos ou é absorvido e se estabelece nos ossos ou em outros órgãos. Quando isto acontece, no local onde o material radiativo permanece, ocorre uma poderosa ionização localizada. Dizemos então que a radiação alfa tem grande peso na determinação da taxa de dose de radiação interna (IAEA, 2004)¹⁸.

Já no caso da radiação beta, de acordo com o mesmo referencial, o problema desta radiação beta deve ser dividido em duas partes, por que:

[...] contribui tanto para a dose interna como externa. Quando uma partícula radioativa emissora beta deposita-se sobre a pele, provoca queimaduras e, se ingerida, de forma similar à radiação alfa, igualmente causa ionização local, se bem que menos intensamente que a radiação alfa (IAEA, 2004)¹⁸.

O decaimento beta ocorre quando um núcleo instável emite um elétron, causando perda de energia por parte do núcleo e a alteração do seu número de prótons. Através de observações, verificou-se que a energia perdida pelo núcleo instável não era totalmente “carregada” pelo elétron. Em 1932, o italiano Enrico Fermi denominou de neutrinos estas partículas que possuíam o restante da energia perdida pelo elemento instável.

De acordo com a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 2004) ¹⁸ a radiação gama apresenta um problema grave, visto que possui um terrível poder de penetração nos materiais. Uma blindagem de ar razoável contra esta radiação

¹⁷ https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/20/042/20042734.pdf?r=1&r=1

¹⁸ https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/20/042/20042734.pdf?r=1&r=1

deveria ter mais de 3 km de espessura. Por ser uma radiação indiretamente ionizante, a radiação gama destrói as células dos sistemas biológicos.

Ainda de acordo com este referencial, o mecanismo de destruição dos tecidos pode ser simplificado da seguinte forma:

[...] o poderoso fóton de radiação gama carrega os átomos e moléculas de eletricidade (íons), que se tornam altamente reativos, produzindo assim, íons e liberando elétrons no material; ocorrem em seguida reações químicas na célula, que fica danificada ou morre (IAEA, 2004)¹⁹.

O quadro 6 apresenta os limiares estimados de doses absorvidas agudas gama para 1% de morbidez e mortalidade após exposição de corpo inteiro de uma pessoa.

Quadro 6: Limiares estimados de doses absorvidas agudas gama para 1% de morbidez e mortalidade após exposição de corpo inteiro de uma pessoa.¹⁹

Efeito	Órgão/tecido	Tempo de desenvolvimento	Dose absorvida (Gy)
MORBIDADE 1% DE INCIDÊNCIA			
Esterilidade temporária	Testículos	3-9 semanas	~0,1
Esterilidade permanente	Testículos	3 semanas	~6
Esterilidade permanente	Ovários	< 1 semana	~3
Depressão do sangue	Medula óssea	3-7 semanas	~0,5
Avermelhamento da pele	Pele (grande área)	1-4 semanas	< 3 a 6
Queimadura da pele	Pele (grande área)	2-3 semanas	5 a 10
Perda temporária de cabelo	Pele	2-3 semanas	~4
Catarata	Olho	Vários anos	~1,5
MORTALIDADE 1% DE INCIDÊNCIA			
Síndrome da medula óssea vermelha			
Sem tratamento médico	Medula óssea	30-60 dias	~1
Com tratamento	Medula óssea	30-60 dias	~2 a 3

¹⁹ Baseado nos dados disponíveis em:
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/073/45073469.pdf

médico			
Síndrome gastrointestinal			
Sem tratamento médico	Intestino delgado	6-9 dias	~6
Com tratamento médico	Intestino delgado	6-9 dias	> 6
Pneumonite			
	Pulmão	1-7 meses	6

Fonte: autoria própria.

A radiação de nêutrons mata as células através de outros mecanismos, mas acaba ionizando o material como a radiação gama, além de poder provocar fissões e ativar átomos no interior das células (pode criar novos radionuclídeos). Um elemento estável ao capturar um nêutron, torna-se um radionuclídeo e em seguida emite uma radiação gama. Por isso, uma radiação de nêutron é 10 a 20 vezes mais ionizante do que a radiação gama (IAEA, 2004) ²⁰.

A Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 2004) ²¹ afirma que a blindagem contra a radiação gama e de nêutrons exige paredes grossas de materiais pesados, como por exemplo o aço, chumbo, ouro e o próprio urânio. Isso porque os átomos pesados possuem uma “couraça” de elétrons maior ao redor do núcleo, capaz de desviar ou frear os raios gama; já os núcleos pesados tendo maior seção de choque, mais facilmente aguentam o impacto ou capturam os nêutrons. A Tabela 2 mostra a espessura em metros de alguns materiais necessária para reduzir a intensidade da radiação gama e de nêutrons de 50% para menos de 1%.

Tabela 2: Espessura em metros de alguns materiais necessária para reduzir a intensidade da radiação gama e de nêutrons de 50% para menos de 1%.²²

Espessura em metros de alguns materiais necessária para reduzir a intensidade da radiação gama e de nêutrons de 50% a menos de 1%							
Redução	50%	25%	12%	6,3%	3,1%	1,6%	0,8%
Aço	0,038	0,076	0,152	0,305	0,610	1,219	2,348
Terra	0,19	0,38	0,76	1,52	3,05	6,10	12,19
Água	0,33	0,66	1,32	2,64	5,28	10,57	21,13
Madeira	0,58	1,17	2,34	4,67	9,34	18,69	37,39

²⁰ https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/20/042/20042734.pdf?r=1&r=1

²¹ https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/20/042/20042734.pdf?r=1&r=1

²² Baseado nos dados disponíveis em:

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/20/042/20042734.pdf?r=1&r=1

Concreto	0,152	0,305	0,610	1,219	2,438	4,877	9,754
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Fonte: autoria própria.

De acordo com Santiago (2017), um dos objetivos da radioproteção é a de assegurar os limites de dose equivalente anual para os tecidos. Os níveis precisam estar abaixo do limiar para os efeitos não estocásticos no tecido. Sendo assim as doses particulares de Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) e de indivíduos do público não devem exceder os limites anuais de doses estabelecidos. O Quadro 7 apresenta os limites de dose anuais.

Quadro 7: Limites de dose anuais.²³

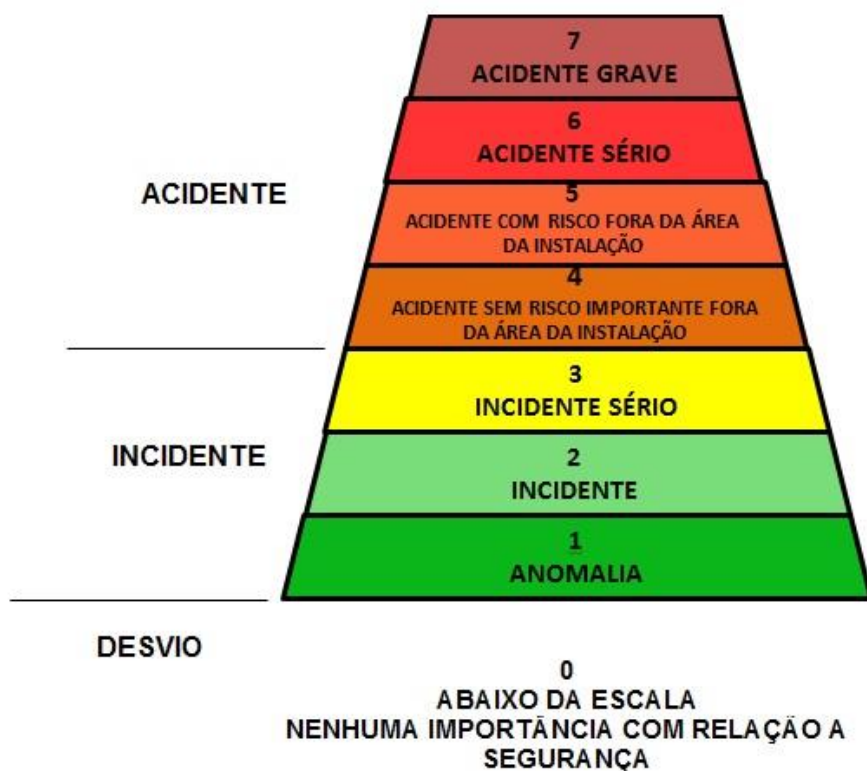
LIMITES DE DOSES ANUAIS			
GRANDEZA	ÓRGÃO	IOE	PÚBLICO
DOSE EFETIVA	Corpo inteiro	20 mSv	1 mSv
DOSE EQUIVALENTE	Cristalino	20 mSv	15 mSv
	Pele	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

Fonte: autoria própria.

Ao longo da história da humanidade ocorreram diversos acidentes nucleares, os quais podem ser classificados em uma escala internacional de acordo com a sua extensão e efeitos causados aos seres humanos e ao meio ambiente. De acordo com a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) ²⁴ “a Escala Internacional de Eventos Nucleares e Radiológicos (INES) é uma ferramenta para comunicar ao público o significado de segurança de eventos nucleares e radiológicos”. Os Estados-Membros utilizam voluntariamente esta escala para comunicar e classificar os eventos que ocorrem no seu território. A Figura 3 apresenta a Escala Internacional de Eventos Nucleares e Radiológicos (INES).

²³ Baseado nos dados disponíveis em: <https://radioprotecao.pratica.com.br/radioprotecao-protecao-radiologica/#equipamentos>

²⁴ <https://www.iaea.org/topics/emergency-preparedness-and-response-epr/international-nuclear-radiological-event-scale-ines>

Figura 3: Escala Internacional de Eventos Nucleares e Radiológicos (INES).²⁵

Fonte: autoria própria.

Os acidentes nucleares podem ser classificados de acordo com esta escala. O quadro 8 mostra os principais acidentes nucleares mundiais classificados de acordo com esta escala e os critérios que os levaram a serem assim classificados.

Quadro 8: Critérios de classificação da INES e principais acidentes nucleares.²⁶

NÍVEL	LOCAL OCORRIDO	CRITÉRIOS
7	Central Nuclear de Chernobyl, URSS (atualmente Rússia), 1986	Liberação externa de uma fração importante do material radioativo de uma instalação grande (por exemplo, o núcleo de um reator de potência). Seria constituída, tipicamente, de uma mistura de produtos de fissão radioativos de vida curta e longa (em quantidades radiologicamente equivalentes a mais de algumas dezenas de milhares de tetrabequeréis de Iodo-131). Esta liberação poderia ocasionar efeitos agudos para a saúde: efeitos tardios para a população de uma vasta região que englobasse, possivelmente, mais de um país; e consequências a longo prazo para o meio ambiente.

²⁵ Baseada nos dados disponíveis em: http://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Documents/RIMA/10_quais.html

²⁶ Baseado nos dados disponíveis em: http://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Documents/RIMA/10_quais.html

6	Usina de reprocessamento de Kishtim, URSS (atualmente Rússia), 1957	• Liberação externa de materiais radioativos (em quantidades radiologicamente equivalentes a uma liberação de milhares a dezenas de milhares de tetrabequeréis de Iodo-131). Esta liberação resultaria, provavelmente, na aplicação integral das contra-medidas previstas nos planos locais para casos de emergência a fim de limitar os efeitos graves sobre a saúde.
5	Reator de Windscale, Reino Unido, 1957 Three Mile Island, EUA, 1979	• Liberação externa de materiais radioativos (em quantidades radiologicamente equivalentes a uma liberação de centenas a milhares de tetrabequeréis de Iodo-131). Esta liberação resultaria, na aplicação parcial das contra-medidas previstas nos planos locais para casos de emergência a fim de limitar os efeitos graves sobre a saúde. • Danos graves à instalação nuclear. Pode incluir danos graves a uma grande parte do núcleo de um reator de potência, um acidente de criticalidade importante ou um incêndio ou explosões importantes, que liberam grande quantidade de radioatividade dentro da instalação.
4	Usina de reprocessamento de Windscale, Reino Unido, 1973 Central de Saint-Laurent, França, 1980 Unidade Crítica de Buenos Aires, Argentina, 1983	• Liberação externa de radioatividade que resulte, para o indivíduo mais exposto fora da área de instalação, numa dose da ordem de alguns milisiverts (*). Com essa liberação, seria pouco provável a necessidade da aplicação de medidas de proteção fora da área de instalação, excetuando-se, talvez, um controle dos alimentos locais. • Danos importantes à instalação nuclear. Um acidente deste tipo poderia compreender danos à central nuclear, tais como, a fusão parcial do núcleo de um reator de potência, ou eventos comparáveis em instalações que não sejam reatores, criando problemas graves de retorno a normalidade na área de instalação. • Irradiação de um ou mais trabalhadores que implique em uma superexposição com alta probabilidade de morte precoce.
3	Central de Vandellós, Espanha, 1989	• Liberação externa acima dos limites autorizados, resultando, para o indivíduo mais exposto fora da área da instalação, em uma dose da ordem de décimos de milisiverts (*). Provavelmente, medidas de proteção fora da área da instalação não seriam necessárias. • Eventos na área da instalação implicando em doses recebidas pelos trabalhadores suficientes para causar efeitos agudos a saúde e/ou eventos que provoquem uma grave contaminação, como por exemplo, a liberação de alguns milhares de tetrabequeréis de atividade em uma contenção secundária de onde o material pode ser retornado a uma área de armazenamento satisfatória. • Incidentes nos quais uma falha suplementar dos sistemas de segurança poderia conduzir a condições

		de acidente ou a uma situação em que, caso ocorressem certos eventos iniciadores, os sistemas de segurança seriam incapazes de impedir o acidente.
2		• Incidentes com falha importante dos dispositivos de segurança nos quais subsiste defesa em profundidade suficiente para fazer frente às falhas adicionais. • Evento resultando numa dose recebida por um trabalhador acima do limite de dose anual estabelecido e/ou evento que implique na presença de quantidades significativas de radioatividade em áreas da instalação para as quais, de acordo com o projeto, tal fato não seja justificável e que exija medidas corretivas.
1		• Anomalia além do regime de operação autorizado. Pode ocorrer devido a uma falha de equipamento, a um erro humano ou a procedimentos inadequados (é conveniente distinguir as anomalias das situações em que os limites e condições são excedidas e que são convenientemente gerenciadas por meio de procedimentos adequados. Estas situações são consideradas tipicamente “abaixo da escala”).

Fonte: autoria própria.

Em casos de acidentes e explosões nucleares, Irwin Redlener, diretor do Centro Nacional de Preparação para Desastres do Instituto Terra - Columbia University, Professor de Política e Gestão de Saúde e Professor de Pediatria na Columbia University Medical Center orienta sobre medidas importantes de proteção individual, tais como:

- Não olhar para o foco do vazamento ou explosão;
- Manter a boca aberta para os tímpanos não estourarem com a pressão;
- Correr na direção perpendicular ao vento por 2 km;
- Cobrir o corpo enquanto corre;
- Esconder-se em locais subterrâneos ou em salas sem janelas;
- Se estiver em um prédio e a explosão tiver sido no solo, ir para o último andar;
- Lavar-se com água e sabão e retirar as roupas contaminadas;
- Remover leões e materiais radioativos da pele;
- Procurar não sair do abrigo durante o período de 48 a 72 horas;
- Alimentar-se apenas de comidas em recipientes fechados;
- Fazer uso de pílulas de iodeto de potássio, que evitam o câncer na tireóide e são distribuídas pelo governo.

3.3.4 Gerenciamento de resíduos radioativos

Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)²⁷, de acordo com a Lei 10.308/2001, que dispõe sobre a seleção de locais, a construção, o licenciamento, a operação, a fiscalização, os custos, a indenização, a responsabilidade civil e as garantias referentes aos depósitos de rejeitos radioativos “o recolhimento e armazenamento de rejeitos radioativos é uma atividade exclusiva da CNEN”.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é:

Uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), criada em 1956 e estruturada pela Lei 4.118, de 27 de agosto de 1962, para desenvolver a política nacional de energia nuclear. Órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, a CNEN estabelece normas e regulamentos em radioproteção e é responsável por regular, licenciar e fiscalizar a produção e o uso da energia nuclear no Brasil (CNEN)⁵.

A CNEN também investe em desenvolvimento em pesquisa a fim de promover o uso cada vez mais amplo e seguro das técnicas do setor nuclear. Seu objetivo é garantir os benefícios da energia nuclear a um número cada vez maior de brasileiros, sempre com segurança na operação dos materiais e equipamentos radioativos (CNEN)⁵.

Segundo o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN, 2011) rejeito é considerado como sendo todo material que seu reaproveitamento é economicamente inviável. O destino final destes rejeitos de forma segura para a geração atual e gerações futuras é certamente um dos desafios maiores da indústria nuclear, pois o sistema de armazenamento utilizado deve ser confiável e compatível com a meia vida dos radionuclídeos presentes no rejeito, o que pode alcançar até 10⁹ anos.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN, 2010) os rejeitos radioativos podem ser diferenciados em sete classes, conforme constam na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3: classes de rejeitos radioativos.

Classe de rejeitos radioativos	Materiais pertencentes
	Objetos, peças e materiais compostos

²⁷ <http://www.cnen.gov.br/quem-somos>

Sólido compactável	principalmente de BORRACHA, COURO, PAPEL, PAPELÃO, PLÁSTICO, TECIDO e VIDRO. São exemplos de rejeito compactável: Luvas, vidraria em geral, papel em geral, isopor, mangueiras plásticas, botas, aventais e macacões, seringas, algodão e estopa.
Sólido não compactável	Objetos, peças e materiais compostos de METAL, MADEIRA, PVC, LUCITE, ENTULHO, CARVÃO ATIVO SECO. São exemplos de rejeito não compactável: Ferramentas, chapas e tubos metálicos e de PVC, canos, filtros de ar com estrutura metálica ou de madeira, entulho e terra.
Sólido úmido	RESINAS DE TROCA IÔNICA, CARVÃO ATIVO ÚMIDO, LAMAS E PRECIPITADOS QUÍMICOS, TORTAS. São exemplos de rejeito sólido úmido: Filtros do sistema de tratamento de água de reatores e concentrados de evaporador.
Líquido inorgânico	Soluções aquosas resultantes de processos de produção e de descontaminação.
Líquido orgânico	Soluções não aquosas resultantes de processos de produção e de descontaminação. São exemplos de líquido orgânico: as soluções cintiladoras utilizadas em radiometria e óleos lubrificantes de bombas e equipamentos.
Biológico	Animais utilizados em experimentos científicos.
Fontes seladas	Material radioativo encapsulado ou aderido fortemente em material não radioativo, não dispersível no meio ambiente sob condições normais de uso.

Fonte: autoria própria.

Segundo Almeida (2016), os principais resíduos radioativos são divididos em dois grupos:

1. de alta radioatividade e atividade, como combustíveis utilizados em usinas nucleares;

2. de média e baixa radioatividade e atividade, como roupas, luvas e produtos que estiveram em contato com elementos radioativos. Resíduos hospitalares também pertencem ao último grupo.

Segundo Enokihara (1983, apud PIVA et al., 2010, p.34), há duas formas de gerenciamento de rejeitos radioativos: o confinamento no interior da crosta terrestre e a eliminação dos rejeitos da biosfera. Ainda segundo este referencial, o confinamento de rejeitos radioativos na crosta terrestre permeia a compreensão de três conceitos:

- **Armazenamento ou estocagem:** permite recuperar o rejeito posteriormente;
- **Deposição:** armazenamento definitivo sem possibilidade de recuperação;
- **Repositório/depósito:** compreende todas as instalações de estocagem de rejeitos radioativos.

De acordo com Enokihara (1983, apud PIVA et al., 2010, p.34), quatro ambientes podem ser utilizados para fins de confinamento de rejeitos radioativos, sendo estes: os fundos oceânicos, as camadas de gelo polar, depósito no solo e deposição em formações geológicas profundas.

Sobre a utilização dos fundos oceânicos para fins de confinamento de rejeitos radioativos, Enokihara (1983, apud PIVA et al., 2010, p.34) afirma que a deposição de rejeitos radioativos no mar tem apoio na grande capacidade de diluição e dispersão das massas líquidas que este meio oferece, de forma que manutenção da integridade dos recipientes durante o tempo de decaimento da radioatividade para níveis inofensivos não se constitui em um requisito necessário. Este método já foi muito utilizado por países como a França, a Inglaterra e a Holanda, porém está proibido no Brasil, tendo em vista o artigo 7 da Lei 10.308/2001. A utilização de fundos oceânicos para confinamento de rejeitos radioativos é alvo de grande preocupação mundial e existem diversos estudos sobre o tema.

Sobre a utilização das camadas de gelo polar para fins de confinamento de rejeitos radioativos, Enokihara (1983, apud PIVA et al., 2010, p.35) afirma que:

A alternativa de estocagem de rejeitos radioativos em camadas polares não é atraente devido, principalmente, à discutida estabilidade do gelo em longo prazo. Sabe-se que as calotas de gelo passam por oscilações em períodos de aproximadamente 10.000 anos, quando se registram mudanças climáticas, relativamente rápidas (ENOKIHARA, apud PIVA et al., 2010, p.35).

Apesar disso, o uso de energia nuclear pode contribuir na manutenção das calotas polares e contra o aquecimento global, pois não há emissão de gases do efeito estufa, sendo defendida por ecologistas renomados.

Sobre o depósito de rejeitos radioativos no solo, Enokihara (1983, apud PIVA et al., 2010, p.36) afirma que se trata do armazenamento de rejeitos de baixo nível próximos à superfície, desde que estes possuam radionuclídeos com tempo de meia-vida curto ou médio em baixas concentrações. Ainda segundo este autor, a deposição próxima à superfície inclui as seguintes alternativas:

- a) deposição em estruturas de engenharia no solo;
- b) deposição em trincheiras simples a poucos metros de profundidade;
- c) deposição em cripta de concreto;
- d) deposição em cavernas de rochas a várias dezenas de metros abaixo da superfície.

Sobre o depósito de rejeitos radioativos em formações geológicas profundas, Enokihara (1983, apud PIVA et al., 2010, p.37) afirma que a estabilidade de muitas formações geológicas durante milhões de anos é um dos principais fatores de atratividade desta técnica. Além disso, as formações geológicas possuem os três requisitos básicos para a deposição segura de materiais radioativos: resfriamento, proteção e isolamento. A rocha que envolve o rejeito age como um dissipador de calor, proporcionando o resfriamento. A profundidade de deposição fornece uma proteção ideal contra a radiação, e a dimensão e integridade das formações rochosas permitem o isolamento do rejeito, evitando que material radioativo seja liberado para a biosfera. As formações apropriadas para a deposição dos rejeitos são: o sal gema, granitos, xistos, rochas carbonáticas e metamórficas como as existentes no pré-Cambriano, sendo o sal gema considerado como a formação ideal, embora, outras rochas possam também, em condições ideais, proporcionar um isolamento adequado.

Outro meio de tratamento de rejeitos radioativos é a transmutação, que segundo consiste no bombardeio de radionuclídeos com partículas provenientes de reações nucleares, a fim de transformá-los em novas espécies proporcionando um decaimento mais rápido ou a emissão de níveis de radiações mais baixas. Para tanto, seriam utilizados aceleradores de partículas, reatores de fusão ou reatores termonucleares controlados. A praticidade desse método dependeria do desenvolvimento do processo de separação química e do fracionamento dos rejeitos radioativos (ENOKIHARA, apud PIVA et al., 2010, p.39).

Outra alternativa para o tratamento de rejeitos radioativos seria a estocagem extraterrestre, utilizando-se de foguetes e naves espaciais para eliminação dos rejeitos. Esta alternativa toma-se inviável na atual situação, devido às limitações de peso, o alto custo envolvido e as possibilidades de falhas nos veículos espaciais, ocasionando a reentrada destes na atmosfera, com a carga de rejeitos radioativos (ENOKIHARA, apud PIVA et al., 2010, p.40).

Outro fator importante a ser considerado no tratamento de rejeitos radioativos diz respeito a sua atividade. De acordo com Enokihara (1983, apud PIVA et al., 2010, p.41), o termo baixa atividade se refere a todos os rejeitos radioativos que não sejam de alta atividade oriundos do reprocessamento de elementos combustíveis e os contaminados com elementos transurânicos. Dentre os rejeitos gerados pelo ciclo do combustível, os de baixa atividade são a maioria volumétrica e contém pequena quantidade de radioatividade. Radioisótopos com tempo de meia-vida máxima de cerca de 30 anos, decaem para níveis inofensivos em dezenas ou centenas de anos e requerem o armazenamento durante esse período de decaimento.

Ainda de acordo com este referencial, os principais processos de tratamento dos rejeitos de baixa ou média atividade em uso são: a compactação mecânica, a incineração e a solidificação, que estão detalhados no Quadro 9 a seguir, conforme os dados trazidos por Basqueira (2013), pela Eletrobras – Centrais Elétricas Brasileiras S.A (2010, apud PIVA et al., 2010, p.41) e por Enokihara (1983, apud PIVA et al., 2010, p.42):

Quadro 9: Processos de tratamento dos rejeitos de baixa ou média atividade.

Processo	Método
----------	--------

Compactação	Rejeitos recolhidos em sacos de papel ou plástico, prensados dentro de um tambor metálico de 200 L, que será a embalagem definitiva; o fator de redução de volume é da ordem de 4.
Incineração	Rejeitos queimados em fornos especiais até se converterem em cinzas; o fator de redução de volume pode chegar a 80. O processo de incineração produz fumaça ou contém elementos radioativos, sendo obrigatória a utilização de filtros para sua retenção. Estes filtros devem ser encapsulados e guardados como rejeito. Esse processo ainda é utilizado de forma restrita em outros países e poderá vir a ser mais utilizado a fim de reduzir o volume de rejeitos armazenados, após estudos mais aprofundados.
Solidificação	Transformar o rejeito líquido em um bloco sólido (cimento, vidro, asfalto, cerâmicas ou polímeros). Os rejeitos líquidos de alta atividade devem ser tratados por meio do processo de solidificação, que objetiva reduzir os riscos da dispersão em casos de acidentes durante o seu transporte e armazenamento. Os principais fatores para a escolha do melhor processo de solidificação são a: estabilidade térmica e química, a insolubilidade e a capacidade de resistência aos impactos. Estes rejeitos devem ser solidificados na usina de reprocessamento, que ao serem solidificados, são estocados provisoriamente na própria usina de reprocessamento a fim de diminuir o calor gerado. Após esse período, estes rejeitos são armazenados em um depósito final ou estocados provisoriamente na superfície.

Fonte: autoria própria.

Os processos de solidificação podem ser classificados em (ENOKIHARA, 1983, apud PIVA et al., 2010, p.42): “vitrificação, secagem e calcinação”.

De acordo com Vieira (2008), “a vitrificação é hoje um dos principais caminhos em escala industrial para o manejo de rejeitos radioativos de alta atividade, e para o transporte e estocagem a curtos e longos períodos”. Como os vidros possuem alta resistência à radiação, boa estabilidade química e mecânica,

podem ser usados como matriz imobilizadora de rejeitos, sendo o único tipo de material capaz de incorporar os rejeitos radioativos em sua estrutura, e mantê-los nela por longos períodos. Esta técnica promove uma forma segura de imobilizar rejeitos radioativos e garante que estes não sejam reprocessados ou comercializados ilegalmente.

O processo de vitrificação tem sido desenvolvido há anos, sendo incluído nos programas de tratamento de rejeitos em muitos países. Para Enokihara (1983, apud PIVA et al., 2010, p.43) a sua maior vantagem da vitrificação é a menor condutividade térmica resultante que proporciona maior contenção de significativo volume de rejeitos geradores de calor. Os fenômenos e métodos envolvidos no processo de vitrificação são: fusão no recipiente, fundidor cerâmico contínuo em forno rotativo e fusão contínua em forno rotativo. De acordo com Santos (1979) na usina de fabricação de óxidos mistos de urânio e plutônio, os efluentes líquidos gerados são: “a água usada na lavagem das pastilhas combustíveis, os líquidos empregados na descontaminação e na limpeza dos encamisamentos e demais fluidos usados na limpeza de outras instalações da usina, eventualmente contaminadas”.

Ainda segundo o autor “os efluentes líquidos são evaporados e o material concentrado, resultante do processo, é secado e tratado, - juntamente com o rejeito não combustível contaminado”.

De acordo com Enokihara (1983) “os principais métodos de solidificação por calcinação são”:

- Calcinação em camadas fluidizadas;
- Calcinação em recipientes;
- Calcinação em forno rotativo;
- Calcinação por pulverização.

A primeira instalação em escala piloto para a solidificação de rejeitos líquidos teve por base a calcinação dos rejeitos provenientes da Usina de Reprocessamento Químico de Idaho (EUA), em 1963. Apesar de esses rejeitos possuírem uma radioatividade de 10 a 100 vezes menor que os rejeitos líquidos de alta atividade, o

sucesso das operações comprovou a viabilidade deste processo (ENOKIHARA, 1983, apud PIVA et al., 2010, p.43).

3.3.5 Curiosidades

No âmbito da Ciência Nuclear e suas tecnologias, existem muitas informações curiosas que podem despertar o interesse dos estudantes sobre o assunto. O site tecmundo (2016) traz várias destas curiosidades que serão trazidas no aplicativo gamificado RadiAção:

1. A tripulação de um submarino nuclear está exposta a menos radiação do que quem está em terra seca;
2. A usina de Chernobyl ainda está emitindo radiação mesmo 30 anos depois do fatídico acidente. Isso pode gerar um colapso na estrutura e causar ainda mais emissões radioativas;
3. A estação Grand Central, em Nova York, tem uma enorme quantidade de granito e, por isso, emite muito mais radiação do que o que seria permitido – mesmo em uma usina nuclear;
4. O fungo *Cryptococcus neoformans* cresce em Chernobyl justamente pelos altos índices de radiação no ar;
5. Em média, uma pessoa que fuma recebe uma carga anual de radiação equivalente a 300 radiografias de tórax;
6. A maior quantidade de radiação espacial recebida pela Terra foi em 24 de dezembro de 2004, por causa de uma estrela de nêutrons a 50 mil anos-luz de distância;
7. As bananas são levemente radioativas;
8. Pilotos e comissários de bordo estão mais expostos à radiação do que funcionários de usinas nucleares;
9. Um punhado de urânio, que caiba em uma mão, tem praticamente a mesma quantidade de radiação que 10 bananas;
10. O controverso Projeto Manhattan testou os efeitos da radiação nos cidadãos de diversas maneiras, inclusive utilizando aveia radioativa na alimentação de bebês;
11. O mesmo projeto injetou uma enorme quantidade de plutônio no pintor de casas norte-americano Albert Stevens. Mesmo assim, ele sobreviveu aos efeitos

radioativos por mais de 20 anos e se tornou o ser humano que ficou vivo por mais tempo com os altos índices de radiação no corpo;

12. O bombeiro Vladimir Pravik trabalhou no acidente nuclear de Chernobyl e teve a cor de seus olhos alterada de castanho para azul devido à radiação. Ele também sucumbiu no desastre;

13. Após a descoberta do rádio, muitos produtos como pastas de dentes e doces passaram a utilizar o elemento químico. Seus danos à saúde só foram descobertos anos depois;

14. Na década de 50, um brinquedo infantil foi vendido junto com amostras reais de minérios radioativos;

15. A futura explosão do sistema WR 104 pode gerar uma supernova com radiação suficiente para causar a extinção da vida na Terra;

16. Sabe quando a televisão analógica fica com estática ou “chuvisco”? Cerca de 1% disso é devido à radiação cósmica de fundo que ainda resta do Big Bang;

17. Próximo a Chernobyl, foi encontrada uma soja que desenvolveu defesas contra a radiação. Isso poderá beneficiar a ciência no futuro;

18. Ainda em Chernobyl, a radiação pode ter ocasionado mutações genéticas em diversas espécies – e em muitas isso foi fundamental para elas sobreviverem;

19. Você já ouviu que telefones celulares emitem radiação? Isso é verdade, mas você próprio emite mais radiação do que o seu smartphone;

20. Nosso corpo é constantemente bombardeado com radiação, mas a maior parte dela não causa problema algum. Devemos nos preocupar apenas com altas incidências de radiação ionizante, daquelas que existem em raios X e raios gama.

O site hypescience (2013) também traz várias destas curiosidades:

1. A castanha-do-pará é um dos alimentos mais radioativos do mundo. A razão para isto é que as raízes das árvores que produzem a castanha crescem tão profundamente no solo que absorvem níveis maciços de rádio, uma fonte natural de radiação;

2. Os moradores de Denver (EUA), cidade que está a mais de um quilômetro acima do nível do mar, são atingidos por duas vezes mais radiação que os que vivem no nível do mar;

3. Lugares públicos geralmente têm placas ou sinais brilhantes espalhados indicando a saída do lugar. A luz é gerada por amostras de um isótopo radioativo de

hidrogênio, o trítio, no interior da placa. Infelizmente, no entanto, se esse mesmo desastre que cortar a energia também quebrar a placa, o isótopo radioativo pode escapar e contaminar o edifício;

4. Fique longe da caixa de areia do seu gatinho, já que esta é uma das fontes mais comuns de radiação. Isso porque um dos seus principais componentes é a argila bentonítica, um tipo de argila ótimo para absorver coco e urina, mas terrível por deter vestígios de urânio e tório (elementos radioativos) de ocorrência natural. Graças à maneira como nós simplesmente despejamos milhares de toneladas de areia para gatos em aterros sanitários a cada ano, há um perigo de que esta radiação possa eventualmente se espalhar para nossas águas subterrâneas;

5. Muitos cigarros contêm materiais radioativos, como polônio-210 (o isótopo radioativo usado para assassinar Alexander Litvinenko) e chumbo-210. Estes materiais, que sobrevivem nas folhas de tabaco durante todo o processo de produção dos cigarros, são libertados para o ar na forma de vapor quando o cigarro é aceso e inalado pelo fumante. Embora estes materiais sejam liberados em concentrações baixas, os depósitos destes produtos químicos podem acumular-se de forma significativa nos órgãos de fumantes médios a pesados, e acredita-se estarem ligados ao desenvolvimento de certos cânceres;

6. Muitos itens de cerâmica produzidos antes de 1960, principalmente os com cor laranja ou vermelhada, contêm altos níveis de urânio, por conta de ele ter sido misturado no esmalte que dá as peças sua cor distinta. Da mesma forma, se você tem quaisquer itens de vidro antigo com uma cor esverdeada, eles provavelmente também contêm urânio. Não se deve beber a partir desses objetos (no caso de serem copos), ainda mais porque porcelana antiga também vaza chumbo;

7. Se uma editora de revistas quiser vender mais, geralmente passa a imprimir seus produtos em papel brilhante, simplesmente porque parece mais agradável e torna os consumidores mais propensos a comprá-los. Entretanto, esta aparência brilhante requer que o papel seja coberto de caulim, um tipo de argila branca. Como a argila da caixa de areia para gatos, esta também é capaz de deter elementos radioativos como urânio e tório.

Com isso, percebe-se que a **Ciência Nuclear e suas tecnologias** estão presentes no cotidiano e suas aplicações tem se expandido em nosso País e no mundo, o que torna o seu estudo em sala de aula cada vez mais necessário. Nessa perspectiva, podemos pensar: como trazer os conhecimentos da **Ciência Nuclear e**

suas tecnologias de forma interessante, dinâmica e participativa, num nível de compreensão acessível para os estudantes? Em resposta a esta pergunta, é possível utilizar os conceitos de gamificação no ensino de forma a buscar alcançar este objetivo.

Com o uso da gamificação estrutural, o professor pode criar recursos e estratégias de ensino da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** de forma a torná-lo mais dinâmico e interativo para os estudantes, como por exemplo, com o uso de um aplicativo sobre a **Ciência Nuclear e suas tecnologias** que é o tema deste trabalho. As recompensas, níveis e estímulos visuais presentes no aplicativo terão o papel de estimular o estudante a vencer seus limites e a buscar mais conhecimento, motivando-o a aprendizagem. Os conceitos de que envolvem a **Ciência Nuclear e suas tecnologias** serão apresentados de forma gradual e categorizada para facilitar a compreensão mais aprofundada dos mesmos.

O objetivo do uso da gamificação estrutural por meio do aplicativo **RadiAção** será guiar os estudantes na reestruturação e na reelaboração do conhecimento, para que possam ter compreensão dos conceitos fundamentais da Ciência Nuclear e suas tecnologias. Assim, o desenvolvimento do aplicativo gamificado e as informações que nele constarão serão definidos através da diagnose realizada no contexto escolar deste estudo. Além disso, estas informações devem ser disponibilizadas de forma contextualizada, trazendo as aplicações da Ciência Nuclear e suas tecnologias, para que o estudante consiga estabelecer relações entre o que aprende e a realidade, dando-lhe significado.

4 METODOLOGIA

Segundo Rodrigues (2007, p.1) a metodologia científica pode ser definida como “o conjunto de abordagens, técnicas e processos utilizados pela ciência para formular e resolver problemas de aquisição objetiva do conhecimento, de uma maneira sistemática”. Neste capítulo será descrita a natureza e o percurso metodológico que foi seguido buscando-se atingir ao objetivo proposto neste estudo.

4.1 A tipologia do estudo

Quanto à sua natureza, a metodologia utilizada neste trabalho caracteriza-se como pesquisa aplicada, sendo aquela que segundo Moresi (2003, p.9) “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática prevista. Envolve verdades e interesses locais”. Esta pesquisa pode ser classificada desta forma, pois foi uma pesquisa aplicada a estudantes do Ensino Básico e estudantes da licenciatura em química. Aos primeiros, com o intuito de identificar quais estratégias a serem utilizadas no aplicativo, a fim de que este fosse uma ferramenta de aprendizagem interativa, dinâmica e participativa para a compreensão da Ciência Nuclear e suas tecnologias pelos estudantes do Ensino Básico; e aos segundos, com o intuito de analisar a usabilidade do aplicativo e sua aceitação pelos usuários, no que diz respeito à navegação, interface e qualidade do conteúdo disponível no mesmo.

Quanto à forma de abordagem, a metodologia de pesquisa aplicada neste trabalho é uma pesquisa do tipo qualitativa, que pode ser definida da seguinte forma:

[a pesquisa qualitativa] considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. É descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem (MORESI, 2003; p.8-9).

Esta pesquisa foi realizada com o intuito de desenvolver um aplicativo gamificado como recurso didático para aprendizagem interativa, dinâmica e participativa da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** no Ensino Básico. Para tanto, foram analisados os conhecimentos prévios dos estudantes sobre radioatividade,

que serviram de base para o desenvolvimento do aplicativo. Por isso se classifica como uma pesquisa qualitativa, pois o enfoque foi analisar a “qualidade” do conhecimento que estes estudantes possuíam sobre o tema proposto e o que os levaram a construir os conceitos desta forma, comparando e analisando as respostas com as definições trazidas no referencial teórico.

Quanto aos fins, a metodologia de pesquisa aplicada no presente trabalho é de caráter intervencionista, pois segundo Moresi este tipo de metodologia:

[...] tem como principal objetivo interpor-se, interferir na realidade estudada, para modificá-la. Não se satisfaz, portanto, em apenas explicar. Distingue-se da pesquisa aplicada pelo compromisso de não somente propor resoluções de problemas, mas também de resolvê-los efetiva e participativamente (MORESI, 2003; p.9).

O presente trabalho busca intervir na realidade do ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** em pelo menos dois aspectos: (I) Contribuir para a diminuição da escassez de recursos didáticos em língua portuguesa sobre radioatividade; (II) Ser um recurso didático de ensino e aprendizagem da Ciência Nuclear e suas tecnologias para estudantes do Ensino Básico, contribuindo para uma divulgação mais ampla e de forma acessível deste conhecimento nos ambientes escolares, auxiliando os estudantes a compreenderem de fato a importância desta ciência para a humanidade e modificando o pensamento errôneo de que a radioatividade apenas causa danos aos seres vivos.

Quanto aos meios, a metodologia de pesquisa aplicada neste trabalho é a pesquisa de campo e a mesma pode ser definida da seguinte forma:

[...] é a investigação empírica realizada no local onde ocorre ou ocorreu um fenômeno ou que dispõe de elementos para explicá-lo. Pode incluir entrevistas, aplicação de questionários, testes e observação participante ou não (MORESI, 2003; p.9).

Neste trabalho foram utilizados dois questionários estruturados em dois ambientes distintos, a fim de investigar estas realidades e obter dados que serviram de base para as conclusões obtidas nesta pesquisa.

4.2 Delimitação da população e da amostra

O universo da pesquisa foi constituído por estudantes de uma turma de terceiro ano de uma escola da Rede Estadual de Ensino do município de Caruaru-PE, sob a jurisdição da GRE e por estudantes do curso de graduação em Licenciatura em Química da Universidade Federal de Pernambuco. A amostra foi

constituída por 29 (vinte e nove) estudantes do Ensino Médio de uma escola da Rede Estadual de Ensino do município de Caruaru-PE e 9 (nove) estudantes do curso de graduação em Licenciatura em Química da Universidade Federal de Pernambuco.

Os critérios de inclusão dos participantes da pesquisa foram: para os estudantes da escola pública: (i) Estar devidamente matriculado no terceiro ano do Ensino Médio da referida Escola. (ii) Frequentar regularmente a sala de aula. (iii) Compreender a proposta da pesquisa. (iv) Aceitar voluntariamente participar do referido estudo. (v) Possuir aparelho celular para a realização das atividades com o aplicativo. Para os estudantes do curso de graduação, foram: (i) Estar cursando licenciatura em química. (ii) Ter cursado ou estar cursando a disciplina de Introdução à Química Nuclear. (iii) Compreender a proposta da pesquisa. (iv) Aceitar voluntariamente participar do referido estudo. (v) Possuir aparelho celular ou acesso a internet para realização das etapas referentes ao aplicativo.

Os critérios de exclusão dos participantes da pesquisa foram: para os estudantes da escola pública: (i) Não estar devidamente matriculado no terceiro ano do Ensino Médio da referida Escola. (ii) Não frequentar regularmente a sala de aula. (iii) Não compreender a proposta da pesquisa. (iv) Não aceitar voluntariamente participar do referido estudo. (v) Não possuir aparelho celular para a realização das atividades com o aplicativo. Para os estudantes do curso de graduação, foram: (i) Não estar cursando licenciatura em química. (ii) Não ter cursado ou estar cursando a disciplina de Introdução à Química Nuclear. (iii) Não compreender a proposta da pesquisa. (iv) Não aceitar voluntariamente participar do referido estudo. (v) Não possuir aparelho celular ou acesso a internet para realização das etapas referentes ao aplicativo.

Nesse estudo foram respeitadas as Diretrizes e Normas Regulamentadoras das Pesquisas envolvendo Seres Humanos (Resolução 196/96-CNS/MS, 1996) através da garantia do sigilo quanto aos dados confidenciais da comunidade acadêmica envolvida na pesquisa, bem como o direito à liberdade de se recusar a participar ou de retirar o seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização e sem prejuízo ao seu vínculo institucional.

4.3 Instrumentos de coleta de dados

4.3.1 Instrumento para análise do conhecimento prévio dos estudantes

O instrumento para coleta de dados utilizado nesta pesquisa a fim de analisar o conhecimento prévio dos estudantes sobre o conteúdo **Ciência Nuclear e suas tecnologias**, suas deficiências e também suas curiosidades, foi um questionário estruturado, contendo dez perguntas. A partir da análise dos dados coletados com este questionário, foi desenvolvido o aplicativo gamificado “RadiAção”, baseado nos conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema, demais conhecimentos considerados necessários para a aprendizagem sobre este tema e curiosidades informadas por eles.

4.3.2 Instrumento para análise da usabilidade do aplicativo desenvolvido

O instrumento para coleta de dados utilizado nesta pesquisa a fim de analisar a usabilidade do aplicativo desenvolvido foi um questionário estruturado contendo nove perguntas. A partir da análise dos dados coletados com este questionário, pode-se verificar o nível de aceitação do aplicativo pelos usuários, o nível de qualidade da interface, dos botões e a qualidade dos conteúdos oferecidos, de acordo com a opinião expressa pelos mesmos. Ainda foi possível coletar sugestões de melhoria a serem implementadas no aplicativo.

4.4 Realizar um levantamento de requisitos funcionais (RF) necessários para o desenvolvimento do aplicativo

Requisitos são objetivos ou restrições estabelecidas por clientes e usuários do sistema que definem as diversas propriedades do sistema (MACHADO, 2018). De acordo com as necessidades do usuário, são definidos os requisitos, de modo que venham a expressar as características e restrições do produto do software. Estes requisitos não dependem da tecnologia empregada na construção do software.

Segundo Machado (2018) um conjunto de requisitos pode ser definido como: “uma condição ou capacidade necessária que o software deve possuir para que o usuário possa resolver um problema ou atingir um objetivo ou para atingir as necessidades ou restrições da organização ou dos outros componentes do sistema”.

Requisitos funcionais são aqueles que descrevem o comportamento do sistema, suas ações para cada entrada, ou seja, é aquilo que descreve o que tem de ser feito pelo sistema, assim como o que deve sair do sistema (MACHADO, 2018).

Os requisitos funcionais necessários para o desenvolvimento do aplicativo gamificado RadiAção serão apresentados a seguir:

RF001 - Objetivo

Descrição do propósito: o usuário poderá conhecer o objetivo do aplicativo gamificado RadiAção.

RF002 – Instruções

Descrição do propósito: o usuário terá acesso às instruções de uso do aplicativo gamificado RadiAção.

RF003 – Jogar

Descrição do propósito: o usuário terá acesso aos conteúdos didáticos disponíveis no aplicativo sobre a Ciência Nuclear e suas tecnologias.

RF004 – O que é radioatividade

Dependência: RF003 (Jogar) precisa ser executado.

Descrição do propósito: o usuário terá acesso aos conteúdos didáticos sobre o tema radioatividade e seus principais conceitos.

RF005 – Aplicações da radioatividade

Dependência: RF003 (Jogar) precisa ser executado.

Descrição do propósito: o usuário terá acesso aos conteúdos didáticos sobre as aplicações da radioatividade.

RF006 – Efeitos da Radiação Ionizante no Corpo Humano

Dependência: RF003 (Jogar) precisa ser executado.

Descrição do propósito: o usuário terá acesso aos conteúdos didáticos sobre os efeitos da radiação ionizante no corpo humano.

RF007 – Gerenciamento de Resíduos Radioativos

Dependência: RF003 (Jogar) precisa ser executado.

Descrição do propósito: o usuário terá acesso aos conteúdos didáticos sobre o gerenciamento de resíduos radioativos.

RF008 – Curiosidades

Dependência: RF003 (Jogar) precisa ser executado.

Descrição do propósito: o usuário terá acesso aos conteúdos didáticos sobre curiosidades a respeito da Ciência Nuclear e suas tecnologias.

RF009 – Quiz

Dependência: RF003 (Jogar) e um destes requisitos RF004, RF005, RF006, RF007 e RF008 precisam ter sido executados.

Descrição do propósito: o usuário terá acesso a questões sobre o tema estudado, podendo testar e avaliar os seus conhecimentos.

RF010 – Sobre

Descrição do propósito: o usuário saberá quem foram os criadores do aplicativo, e-mail para contato e terão acesso a links para compartilhamento do mesmo nas redes sociais.

4.5A construção do aplicativo

O aplicativo gamificado RadiAção foi construído tendo por base as necessidades de aprendizagem verificadas nos estudantes sobre a Ciência Nuclear e suas tecnologias e as curiosidades trazidas pelos mesmos sobre o tema. O aplicativo contém cinco subtemas sobre o assunto e quarenta perguntas, distribuídas em grupos de dez após cada tema. Também existem algumas funções na tela inicial para contextualizar o usuário sobre o aplicativo. O Quadro 10 apresenta o conteúdo do aplicativo.

Quadro 10: Conteúdo do aplicativo.

Botão	Função
-------	--------

Objetivo	Neste botão, o usuário conhecerá qual o objetivo para qual o aplicativo RadiAção foi desenvolvido.
Instruções	Neste botão, o usuário terá acesso as instruções de uso do aplicativo.
Jogar	Neste botão, o usuário terá acesso aos 5 temas abordados no aplicativo, a saber: (i) O que é radioatividade, (II) Aplicações da radioatividade, (III) Efeitos da radiação ionizante no corpo humano, (IV) Gerenciamento de resíduos radioativos e (V) Curiosidades.
Sobre	Neste botão, o usuário saberá quem foram os criadores do aplicativo, o e-mail para contato e terá opções de compartilhamento do aplicativo nas redes sociais.
O que é radioatividade	Neste botão, o usuário aprenderá os principais conceitos acerca da radioatividade, sua definição e outros conceitos importantes.
Aplicações da radioatividade	Neste botão, o usuário aprenderá sobre as diversas aplicações da radioatividade, como por exemplo: na irradiação de alimentos, na produção de energia elétrica, dentre outras.
Efeitos da radiação ionizante no corpo humano	Neste botão, o usuário aprenderá quais são os efeitos que a radiação ionizante pode causar no ser humano.

Gerenciamento de resíduos radioativos	Neste botão, o usuário aprenderá quais são as principais técnicas de tratamento de resíduos radioativos.
Curiosidades	Neste botão, o usuário terá acesso a diversas curiosidades sobre a radioatividade.
Quiz	Após cada tema estudado, o usuário responderá 10 perguntas sobre o mesmo, a fim de testar os seus conhecimentos.

Fonte: autoria própria.

4.6A Análise dos dados

A análise realizada através dos dados levantados neste estudo foi do tipo diagnóstica e se deu de forma sistemática, tendo por base as respostas dos questionários, levando-se em consideração a correlação dos dados com o referencial teórico e o problema investigado. Inicialmente, buscou-se compreender como cada estudante entende os conceitos que envolvem a **Ciência Nuclear e suas tecnologias**, como os relaciona com o meio em que vive e atua. A partir desta compreensão, refletiu-se sobre como o aplicativo gamificado RadiAção poderia contribuir na aprendizagem destes conceitos e na reelaboração dos mesmos por parte do futuros usuários.

Após esta análise, foi realizado o desenvolvimento do aplicativo gamificado: seleção e preparação do conteúdo, levantamento dos requisitos funcionais, preparação das imagens, vídeos, interface, criação de perguntas para o quiz e desenvolvimento da parte computacional para disponibilização do mesmo em forma de aplicativo, tendo por base todo o conteúdo do referencial teórico.

Posteriormente, o aplicativo foi disponibilizado para uso durante um período de 7 (sete) dias pelos estudantes de licenciatura em química, a fim de que explorassem sua interface e conteúdo. Depois disso, os mesmos responderam um questionário de usabilidade estruturado, no qual puderam expressar suas opiniões a respeito da qualidade da interface, botões, imagens, vídeos e também dos

conteúdos oferecidos no aplicativo. Também tiveram a oportunidade de deixarem sugestões de melhoria. À partir disso foi possível refletir sobre a eficiência do aplicativo no cumprimento de seu propósito e como aperfeiçoá-lo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A reflexão sobre as contribuições do aplicativo gamificado RadiAção para o processo de ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** serão feitas com base nos dados do estudo, levantados sobre o conhecimento dos estudantes do ensino médio de uma escola pública da Rede Estadual de Ensino a respeito do tema radioatividade e das respostas dos estudantes de licenciatura em química de uma Universidade Pública no Agreste de Pernambuco sobre a usabilidade do aplicativo, que aceitaram voluntariamente participar da pesquisa, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão anteriormente definidos.

Estes dados possibilitaram analisar a problemática de investigação que foi proposta sobre a seguinte questão: “Como um recurso didático tecnológico pode contribuir para o processo de ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** no Ensino Básico de Química de forma interativa, dinâmica e participativa?” A sistematização e a análise comparativa dos dados coletados bem como as discussões elaboradas neste trabalho serão apresentadas nos parágrafos seguintes, de forma estruturada de acordo com os objetivos específicos 1 e 3, com o intuito de responder ao problema da pesquisa.

5.1 Identificar quais estratégias a serem utilizadas no aplicativo, a fim de que este seja uma ferramenta de aprendizagem interativa, dinâmica e participativa para a compreensão da Ciência Nuclear e suas tecnologias pelos estudantes do Ensino Básico

Para o desenvolvimento do aplicativo, foi utilizado um questionário estruturado com dez perguntas sobre radioatividade, com vinte e nove estudantes do Ensino Médio de uma escola pública da Rede Estadual de Ensino de Caruaru. Os dados coletados neste questionário apontaram quais eram os conhecimentos que estes estudantes possuíam sobre o tema e quais gostariam de aprender por meio do aplicativo. Com isso, foi possível nortear a preparação de todo o conteúdo didático a ser inserido no mesmo: textos, imagens, vídeos e perguntas, de forma a suprir as necessidades de aprendizagem que foram identificadas através das respostas do questionário.

O questionário foi aplicado na forma impressa, na sala de aula da escola escolhida, durante um tempo de 30 minutos. Como citado anteriormente, o mesmo consistiu de um total de dez perguntas, a saber:

1. Defina com suas palavras o conceito de Radioatividade.
2. Decaimento radioativo pode ser definido como o processo espontâneo de transformação de um dado nuclídeo em outro através de três mecanismos. Quais seriam estes mecanismos?
3. Relacione corretamente os conceitos apresentados na segunda coluna de acordo com a primeira (conceitos de atividade, meia-vida, radiação alfa, radiação beta e radiação gama).
4. Descreva os processos nucleares de fissão e fusão, apresentando suas semelhanças e diferenças.
5. Cite algumas aplicações da radioatividade para a sociedade e seus benefícios.
6. Você comeria um alimento irradiado? Você sabe como é feito este processo? Justifique sua resposta.
7. Você considera importante o uso das usinas nucleares para geração de energia elétrica no nosso país e no mundo? Justifique a sua resposta e explique através de uma representação esquemática como funciona esta tecnologia nuclear.
8. Você seria capaz de relacionar os tipos de efeitos que ocorrem no corpo humano decorrentes da sua exposição à radioatividade?
9. Explique por que o Carbono-14 é utilizado na datação de fósseis e qual a relação deste processo com o tema radioatividade.
10. Utilize este espaço para nos dizer quais as suas curiosidades sobre o tema radioatividade e o que você gostaria de aprender sobre isso através do nosso aplicativo. Você também pode opinar sobre o formato do mesmo, como por exemplo: quais funções você gostaria que tivesse, os níveis, o sistema de pontuação. Lembre-se que sua participação é muito importante! Este aplicativo será feito para você!

Os dados coletados através deste questionário mostraram quais as concepções trazidas por estes estudantes sobre o tema radioatividade. A seguir, serão apresentadas e discutidas as respostas para cada uma destas perguntas.

Na primeira pergunta, foi solicitado que os estudantes definissem o conceito de radioatividade. As respostas obtidas são apresentadas na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4: Definições trazidas pelos estudantes sobre o conceito de radioatividade.

Definição 1:	É um produto altamente perigoso.
Definição 2:	São átomos de cargas positivas e negativas que se transformam em energia.
Definição 3:	É tudo o que tem raios ultra-violeta.
Definição 4:	É uma radiação que entra em contato com os seres vivos e prejudica a saúde.
Definição 5:	É algo que é importante para o uso de várias máquinas, porém pode causar problemas ao corpo humano.
Definição 6:	É um núcleo estável que emite partículas.
Definição 7:	É um tipo de energia.
Definição 8:	É algo que ajuda muito os seres humanos, como na cura de doenças.
Definição 9:	Informou não saber explicar, por nunca ter visto o conteúdo.
Definição 10:	É um fenômeno pelo qual um núcleo instável emite partículas e ondas para atingir a estabilidade.
Definição 11:	São átomos que não fazem tão bem para nossas células.
Definição 12:	Não responderam.

Fonte: autoria própria.

Os dados apresentados na tabela 4 mostram que as concepções trazidas por estes estudantes sobre a radioatividade são em geral confusas e em sua maioria provenientes do senso comum, ao serem comparadas com a definição trazida por

Herman Cember (2009). Observa-se que não há uma ideia muito clara a respeito do que seria a radioatividade, sendo definida por alguns como um tipo de átomo, por outros como uma energia, por outros como um produto ou um fenômeno e por outros estudantes como uma radiação. Nota-se também o emprego de ideias do senso comum, tais como: “é um produto altamente perigoso” e “é uma radiação que entra em contato com os seres vivos e prejudica a saúde”.

De acordo com o que foi abordado no referencial teórico, o conteúdo radioatividade é proposto, nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM's), como um tema transversal e interdisciplinar e não como um conteúdo obrigatório. Desta maneira, a falta de uma abordagem mais ampla e aprofundada sobre a radioatividade nas escolas e a sua presença como um conteúdo importante da Química e que deve ser vivenciado, pode ser um dos fatores que contribuem para a falta de compreensão destes conceitos por parte dos estudantes, o que acarreta na desinformação.

Além disso, por não verem o conteúdo de forma **aprofundada** ou nem terem visto o conteúdo durante o Ensino Médio, como afirmou um estudante no questionário, resta aos mesmos uma interpretação da radioatividade através das ideias do senso comum, daquilo que é veiculado pela mídia ou pela cultura popular, que passa uma visão errônea da radioatividade, sendo vista pela população apenas como algo nocivo e perigoso.

Na segunda pergunta, foi solicitado que os estudantes citassem os mecanismos pelos quais ocorre o decaimento radioativo, mecanismos estes que são citados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Nenhum dos estudantes respondeu a esta pergunta, o que mais uma vez comprova a falta de um processo de ensino e aprendizagem amplo e aprofundado do tema radioatividade nas escolas.

Na terceira pergunta, foi solicitado que os estudantes relacionassem corretamente os conceitos de atividade, meia-vida, radiação alfa, radiação beta e radiação gama. As respostas obtidas para cada um dos conceitos são apresentadas na Tabela 5 abaixo:

Tabela 5: Relações estabelecidas pelos estudantes sobre os conceitos: atividade, meia-vida, radiação alfa, radiação beta e radiação gama.

Conceito atividade		
6 estudantes estabeleceram esta relação		Termo usado para caracterizar o número de núcleos de uma substância radioativa que se desintegram por unidade de tempo. A unidade de medida no sistema SI é becquerel (Bq).
4 estudantes estabeleceram esta relação		Radiação em forma de onda eletromagnética, com velocidade semelhante a da luz, sem carga elétrica.
2 estudantes estabeleceram esta relação		Tempo necessário para que a quantidade de átomos presentes numa amostra de um dado radionuclídeo seja reduzida até a metade de seu valor original pelo processo de decaimento radioativo.
1 estudante estabeleceu esta relação		Partículas radioativas com carga positiva, constituídas por dois prótons e dois nêutrons, também conhecidas como núcleos de Hélio, por possuírem a mesma quantidade de prótons e nêutrons que deste nuclídeo (tipo de átomo de Hélio).
1 estudante estabeleceu esta relação		Partículas com carga negativa (elétron: β^-) ou positiva (pósitron: β^+ ; antipartícula do elétron) emitidas no decaimento radioativo de certos nuclídeos resultante da conversão de um nêutron em um próton ou de um próton num nêutron no núcleo atômico, respectivamente.
15 estudantes não responderam.		
Conceito meia-vida		
4 estudantes estabeleceram esta relação		Partículas com carga negativa (elétron: β^-) ou positiva (pósitron: β^+ ; antipartícula do elétron) emitidas no decaimento radioativo de certos nuclídeos resultante da conversão de um nêutron em um próton ou de um próton num nêutron no núcleo atômico, respectivamente.
4 estudantes estabeleceram esta relação		Tempo necessário para que a quantidade de átomos presentes numa amostra de um dado radionuclídeo seja reduzida até a metade de seu valor original pelo processo de decaimento radioativo.
2 estudantes estabeleceram esta relação		Partículas radioativas com carga positiva, constituídas por dois prótons e dois nêutrons, também conhecidas como núcleos de Hélio, por possuírem a mesma quantidade de prótons e nêutrons que deste nuclídeo (tipo de átomo de Hélio).
2 estudantes estabeleceram esta relação		Termo usado para caracterizar o número de núcleos de uma substância radioativa que se desintegram por unidade de tempo. A

relação		unidade de medida no sistema SI é becquerel (Bq).
2 estabeleceram relação	estudantes esta	Radiação em forma de onda eletromagnética, com velocidade semelhante a da luz, sem carga elétrica.
15 estudantes não responderam.		
Conceito radiação alfa		
3 estabeleceram relação	estudantes esta	Partículas com carga negativa (elétron: β^-) ou positiva (pósitron: β^+ ; antipartícula do elétron) emitidas no decaimento radioativo de certos núclídeos resultante da conversão de um nêutron em um próton ou de um próton num nêutron no núcleo atômico, respectivamente.
3 estabeleceram relação	estudantes esta	Termo usado para caracterizar o número de núcleos de uma substância radioativa que se desintegram por unidade de tempo. A unidade de medida no sistema SI é becquerel (Bq).
3 estabeleceram relação	estudantes esta	Radiação em forma de onda eletromagnética, com velocidade semelhante a da luz, sem carga elétrica.
2 estabeleceram relação	estudantes esta	Tempo necessário para que a quantidade de átomos presentes numa amostra de um dado radionuclídeo seja reduzida até a metade de seu valor original pelo processo de decaimento radioativo.
2 estabeleceram relação	estudantes esta	Partículas radioativas com carga positiva, constituídas por dois prótons e dois nêutrons, também conhecidas como núcleos de Hélio, por possuírem a mesma quantidade de prótons e nêutrons que deste nuclídeo (tipo de átomo de Hélio).
15 estudantes não responderam.		
Conceito radiação beta		
8 estabeleceram relação	estudantes esta	Partículas radioativas com carga positiva, constituídas por dois prótons e dois nêutrons, também conhecidas como núcleos de Hélio, por possuírem a mesma quantidade de prótons e nêutrons que deste nuclídeo (tipo de átomo de Hélio).
3 estabeleceram relação	estudantes esta	Partículas com carga negativa (elétron: β^-) ou positiva (pósitron: β^+ ; antipartícula do elétron) emitidas no decaimento radioativo de certos núclídeos resultante da conversão de um nêutron em um próton ou de um próton num nêutron no núcleo atômico, respectivamente.
2	estudantes	Termo usado para caracterizar o número de núcleos de uma

estabeleceram esta relação	esta	substância radioativa que se desintegram por unidade de tempo. A unidade de medida no sistema SI é becquerel (Bq).
1 estudante estabeleceu esta relação	estabeleceu	Tempo necessário para que a quantidade de átomos presentes numa amostra de um dado radionuclídeo seja reduzida até a metade de seu valor original pelo processo de decaimento radioativo.
1 estudante estabeleceu esta relação	estabeleceu	Radiação em forma de onda eletromagnética, com velocidade semelhante a da luz, sem carga elétrica.
14 estudantes não responderam.		
Conceito radiação gama		
5 estudantes estabeleceram esta relação	estudantes esta	Tempo necessário para que a quantidade de átomos presentes numa amostra de um dado radionuclídeo seja reduzida até a metade de seu valor original pelo processo de decaimento radioativo.
4 estudantes estabeleceram esta relação	estudantes esta	Radiação em forma de onda eletromagnética, com velocidade semelhante a da luz, sem carga elétrica.
3 estudantes estabeleceram esta relação	estudantes esta	Partículas com carga negativa (elétron: β^-) ou positiva (pósitron: β^+ ; antipartícula do elétron) emitidas no decaimento radioativo de certos núclídeos resultante da conversão de um nêutron em um próton ou de um próton num nêutron no núcleo atômico, respectivamente.
2 estudantes estabeleceram esta relação	estudantes esta	Partículas radioativas com carga positiva, constituídas por dois prótons e dois nêutrons, também conhecidas como núcleos de Hélio, por possuírem a mesma quantidade de prótons e nêutrons que deste núclídeo (tipo de átomo de Hélio).
0 estudantes estabeleceram esta relação	estudantes esta	Termo usado para caracterizar o número de núcleos de uma substância radioativa que se desintegram por unidade de tempo. A unidade de medida no sistema SI é becquerel (Bq).
15 estudantes não responderam.		
Fonte: autoria própria.		

Fazendo uma análise dos dados obtidos nesta questão, pode-se inicialmente observar que: (i) Boa parte dos estudantes não responderam à questão. (ii) Dentre os estudantes que responderam, as relações estabelecidas entre os conceitos e suas definições apresentaram grandes variações, se comparadas as definições trazidas pela European Nuclear Society para atividade, por Hermam Cember (2009)

para meia-vida e pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, 1982), para radiação alfa, beta e gama.

Isso mostra mais uma vez a falta de domínio do conteúdo. Conforme citado no referencial teórico, segundo Chalmers (1993, p.17) o conceito de ciência nos tempos modernos tem usufruído de certo prestígio, sendo-lhe atribuído certo grau de confiança no que se diz respeito ao que é “científico”. Isto significa que, de certo modo, a população vê o conhecimento científico como superior aos demais, distante da realidade e do senso comum, o que acarreta em certo distanciamento e desinteresse em aprender este conhecimento.

Deste modo, pode-se entender que, o conhecimento científico sobre a **Ciência Nuclear e suas tecnologias** fica de certo modo “restrito” aos estudiosos da área, visto que os estudantes não têm acesso a ele ou não conseguem compreendê-lo e estabelecer relações entre ele e o seu cotidiano. Portanto, observa-se que por este motivo os estudantes em sua maioria não conseguiram estabelecer as relações entre os conceitos e suas definições, conforme solicitado na pergunta.

Na quarta pergunta, foi solicitado que os estudantes descrevessem os processos de fissão e fusão e os comparassem. Apenas um estudante respondeu, afirmando que fusão trata-se da junção de elementos químicos. Fazendo uma análise desta resposta tendo por base a definição de fusão trazida pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, 1982) observa-se nesta fala mais uma vez, a utilização de ideias do senso comum: fusão=junção, para tentar explicar o fenômeno. Também há um erro conceitual, pois no processo de fusão há a coalescência de átomos e não de elementos químicos.

Na quinta pergunta, foi solicitado que os estudantes citassem aplicações da radioatividade e seus benefícios. As aplicações e benefícios citados estão listados abaixo:

1. Energia nuclear;
2. Exames médicos;
3. Esterilização de materiais médicos;
4. Avanço tecnológico;
5. Aplicações em celulares, micro-ondas e televisão;
6. 23 estudantes não souberam citar.

Pode-se observar que, mais uma vez, boa parte dos estudantes não soube responder à pergunta. Como discutido anteriormente, o distanciamento entre o conhecimento científico e a realidade acarretou na dificuldade que estes estudantes tiveram para responder a esta pergunta. A radioatividade possui diversas aplicações, como discutidas no referencial teórico de acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e algumas delas foram citadas acima por alguns estudantes que responderam, tais como a energia nuclear, exames médicos, esterilização de materiais médicos dentre outras. A resposta 5 demonstra certa falta de compreensão entre a utilização de radioatividade para determinado fim e a emissão de radioatividade, seja ela ionizante ou não, por determinados aparelhos eletrônicos. Isto deriva da falta de conhecimento sobre os tipos de radiação e emissões radioativas, trazidas no referencial teórico estas definições de acordo com a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, 1982).

Na sexta pergunta, foi questionado se os estudantes comeriam um alimento irradiado e solicitou-se que eles explicassem o processo de irradiação de alimentos. As respostas obtidas estão apresentadas na Tabela 6:

Tabela 6: Opiniões dos estudantes sobre alimentos irradiados e seu processo de preparação.

Opinião 1:	Não comeriam um alimento irradiado.
Motivos:	Complicações, afeta as células, deforma o corpo, prejudica a saúde, o alimento fica contaminado por radiação, é tóxico, causa doenças graves, causa câncer.
Opinião 2:	Não opinaram.

Fonte: autoria própria.

Os dados obtidos através desta pergunta mostram a visão negativa e distorcida que ainda existe sobre a radioatividade, se comparados aos dados trazidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Observa-se que nenhum estudante afirmou que comeria um alimento irradiado e aqueles que afirmaram que não comeriam, apresentaram diversas justificativas sobre os danos que este tipo de alimento pode causar aos seres humanos. Porém, nenhuma destas justificativas apresenta danos reais que os alimentos irradiados podem causar ao homem.

A irradiação de alimentos é uma técnica muito útil para a conservação dos mesmos e não traz nenhum risco à saúde, visto que as doses de radiação a que o alimento é exposto são controladas e este não é contaminado por ela. Diversos países, inclusive o Brasil, utilizam este processo antes de exportar frutas e verduras. Portanto, através da análise de mais estas respostas nota-se a importância de recursos didáticos em língua portuguesa que contribuam para a divulgação do conhecimento científico da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** para estudantes do Ensino Básico.

Na sétima pergunta, foi questionado se os estudantes consideram importante o uso de usinas nucleares para a produção de energia elétrica no país e no mundo. Eles também deveriam justificar a resposta e fazer um desenho esquemático do funcionamento de uma usina. Os estudantes responderam citando as seguintes aplicações: “avanço na tecnologia, uso da energia para coisas do dia a dia e que não dá para depender só de hidrelétricas, energia solar e eólica.” Justificaram dizendo que “a energia é gerada através de partículas que colidem, aquecem o reator, que aquece a água e gera energia. Não precisa alagar cidades, só é perigosa quando perde o controle.” Nenhum estudante conseguiu fazer o desenho esquemático de funcionamento de uma usina.

De acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) existem no Brasil duas usinas nucleares de potência e uma em fase de construção, todas na cidade de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro. Então, se em nosso País existem usinas nucleares, a população em massa deveria ter o conhecimento básico sobre o funcionamento destas usinas e a sua importância na geração de energia. Com as respostas da sétima pergunta, vemos que o conhecimento que estes estudantes possuem sobre o tema é muito superficial, pois descreveram de forma muito resumida o funcionamento das usinas nucleares.

Na oitava pergunta, foi questionado se os estudantes conseguiriam relacionar os efeitos no corpo humano decorrentes da exposição à radioatividade. As respostas obtidas estão listadas abaixo:

1. Responderam que sim e citaram: náuseas, o corpo se decompõe, doenças nos órgãos, manchas na pele, dependendo da exposição e quantidade de radiação, doenças degenerativas, câncer, queda de cabelo e tumores;

2. Respondeu que conseguiria mais ou menos, mas não citou nenhum efeito;
3. Responderam que não saberiam citar.

De acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), sabe-se que os efeitos da radioatividade no corpo humano dependem de diversos fatores, tais como: a natureza da emissão radioativa, o tempo de exposição e a quantidade de radiação absorvida. Deste modo, as respostas demonstram que alguns estudantes conseguiram citar alguns efeitos e alguns fatores, porém necessitando de um maior aprofundamento conceitual para saber distinguir estes efeitos para cada tipo de radiação ionizante e demais fatores.

Na nona pergunta, foi solicitado que os estudantes explicassem por que o carbono-14 é utilizado na datação de fósseis e qual a sua relação com a radioatividade. Apenas um estudante respondeu afirmando que “o carbono-14 é o átomo mais abundante na natureza”. Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) a datação de fósseis é uma técnica muito importante e para que seja possível explicar o seu funcionamento, faz-se necessário ter a compreensão de conceitos como decaimento radioativo, tempo de meia-vida, radionuclídeos, os quais se viu que apresentaram muitas disparidades nas respostas dos estudantes.

Na décima pergunta, foi solicitado que os estudantes informassem quais assuntos sobre radioatividade eles gostariam que estivesse no aplicativo, quais suas curiosidades e opinassem sobre o formato do mesmo. As respostas obtidas estão listadas abaixo:

1. Possuir conceitos básicos e avançados;
2. Ilustrações para entender o processo;
3. Como se fabrica uma bomba nuclear;
4. Conhecer mais e aprender de maneira direta e sucinta;
5. Conhecer mais, planos de estudo, aulas e mais informações;
6. Explicação sobre o que é, pois é um assunto importante;
7. Saber de pessoas que foram expostas a radiação;
8. Quantidade de radiação que leva a morte e como se proteger;
9. Aulas, vídeos, imagens, questões e níveis;
10. Sistema de desafios com perguntas, formulário.

Portanto, através dos dados obtidos com este primeiro questionário e a análise dos mesmos de acordo com o referencial teórico, conclui-se que o conhecimento trazido pelos estudantes participantes desta pesquisa com relação à **Ciência Nuclear e suas tecnologias** é superficial, sem compreensão clara dos conceitos e com uma visão por vezes deturpada da radioatividade, devido à falta de um enfoque maior no ensino e aprendizagem da radioatividade nos conteúdos vivenciados pela escola e pelo distanciamento do conhecimento científico, visto como superior e distante da realidade, como discute Chalmers (1993).

5.2 Analisar, através de um pré-teste, a usabilidade do aplicativo e sua aceitação pelos usuários no que diz respeito à navegação, interface e qualidade do conteúdo disponível no mesmo

Após a coleta e análise dos dados obtidos no primeiro questionário e realizado o levantamento de requisitos funcionais e não funcionais necessários para o desenvolvimento do aplicativo, fez-se a seleção e preparação de todo o material a ser disponibilizado no aplicativo gamificado RadiAção, a fim de que este fosse um recurso didático de ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** para estudantes do Ensino Básico e viesse a suprir as necessidades de aprendizagem identificadas e as temáticas solicitadas pelos estudantes.

O aplicativo gamificado RadiAção foi desenvolvido e disponibilizado para uso durante um período de sete dias por nove estudantes de licenciatura em Química, que tenham cursado ou estivessem cursando a disciplina de Introdução à Química Nuclear. Eles exploraram o aplicativo durante este período com o intuito de analisar a sua usabilidade (qualidade dos botões, cores, imagens e vídeos) e a qualidade do conteúdo oferecido de acordo com a proposta inicial. A Figura 4 mostra a tela inicial do aplicativo:

Figura 4: Tela inicial do aplicativo.



Fonte: autoria própria.

Após o período de uso, estes estudantes responderam a um questionário estruturado online, contendo nove perguntas sobre a usabilidade do aplicativo, relacionadas e discutidas na mesma ordem sequencial do questionário avaliativo. A partir dos dados obtidos através deste questionário, buscou-se identificar o nível de usabilidade e aprovação do aplicativo e refletir, tendo por base o referencial teórico, sobre os pontos positivos e negativos apresentados, com o intuito de melhorar o mesmo antes de disponibilizá-lo para livre acesso numa plataforma digital. Nesta perspectiva também foi solicitado aos estudantes (Pergunta 9) que apresentassem sugestões para a melhoria para o aplicativo, tanto na sua dimensão visual quanto aos conteúdos oferecidos. A análise qualitativa e a discussão sobre os dados obtidos a partir das respostas dos estudantes usuários do aplicativo proposto, para cada pergunta a eles formulada estão apresentadas a seguir:

PERGUNTA 1- Como você classificaria a sua experiência na utilização do aplicativo gamificado RadiAção?

Nesta pergunta, buscou-se investigar como foi a experiência dos usuários na utilização do aplicativo gamificado RadiAção. As respostas dos usuários foram: 55,6% consideraram boa; 22,2% consideraram excelente e 22,2% consideraram regular. Sendo assim, a maioria dos usuários opinaram como sendo uma boa experiência.

PERGUNTA 2 - Com relação à dimensão visual do aplicativo (cores, imagens, botões, vídeos) você os considera de boa qualidade?

Nesta pergunta, buscou-se investigar se a dimensão visual do aplicativo, no que se refere às cores, as imagens, aos botões, aos vídeos, eram de boa qualidade. As respostas dos usuários foram: 55,6% consideraram que a dimensão visual é de boa qualidade, mas que pode melhorar; 33,3% consideraram que a dimensão visual é de muita qualidade e 11,1% consideraram que a dimensão visual não é de boa qualidade. Sendo assim, a maioria dos usuários opinou que a dimensão visual é de boa qualidade, mas que pode melhorar.

Na opinião dos mesmos, o que poderia contribuir para a dimensão visual pudesse ser considerada de “muita qualidade” seria o melhoramento das cores de forma a tornar o aplicativo mais receptivo, trazendo o elemento ludicidade apontado por Kapp (2012).

PERGUNTA 3 - O aplicativo gamificado RadiAção apresenta os recursos necessários para a aprendizagem da Ciência Nuclear e suas tecnologias de uma forma interativa, dinâmica e participativa?

Nesta pergunta, buscou-se investigar se o aplicativo apresentava os recursos necessários para a aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** de forma interativa, dinâmica e participativa. As respostas dos usuários foram: 44,4% opinaram que o aplicativo apresenta totalmente os recursos necessários; 44,4% opinaram que o aplicativo apresenta em parte os recursos necessários e 11,1% opinaram que o aplicativo não apresenta os recursos necessários. Sendo assim, a maioria opinou que o aplicativo apresenta totalmente ou em parte os recursos necessários para a aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** de forma interativa, dinâmica e participativa.

Na opinião dos avaliadores o que poderia contribuir para que o aplicativo viesse a apresentar “totalmente” os recursos necessários para a aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** de uma forma interativa, dinâmica e participativa, seria a apresentação do conteúdo trabalhado em blocos menores,

tornando a navegação menos cansativa e mais dinâmica, englobando os elementos do jogo propostos para promover o aprendizado, conforme Kapp (2012).

PERGUNTA 4 - Você considera pertinente o conteúdo e as temáticas abordadas neste aplicativo?

Na referida pergunta, buscou-se investigar se o conteúdo e as temáticas abordadas no aplicativo eram pertinentes na perspectiva educacional proposta em sua elaboração.

As respostas obtidas foram: 100% dos usuários opinaram que sim. Com isso, percebe-se que se atingiu o objetivo de trazer conteúdos de qualidade no aplicativo sobre a temática Ciência Nuclear e suas tecnologias, suprimindo as necessidades de aprendizagem identificadas no primeiro questionário e as temáticas sugeridas. A gamificação utilizada neste aplicativo foi a do tipo estrutural, que conforme Kapp et al. (2014) consiste na aplicação de elementos de jogos para impulsionar os alunos através de conteúdo sem alterações. A Figura 5 mostra as temáticas abordadas no aplicativo:

Figura 5: Temáticas abordadas no aplicativo.



Fonte: autoria própria.

PERGUNTA 5 - Qual foi a temática abordada no aplicativo que mais lhe chamou a atenção?

Na referida pergunta, buscou-se investigar qual foi a temática abordada no aplicativo que mais chamou a atenção dos usuários avaliadores. As temáticas “o que é radioatividade”, “aplicações da radioatividade”, “efeitos da radiação ionizante no corpo humano” e “gerenciamento de resíduos radioativos” foram escolhidas de igual modo por 22,2% dos usuários e a temática “curiosidades” apresentando-se como sendo de menor interesse na opinião dos mesmos, com 11,1% dos votos, que apontaram a necessidade desta última temática ser mais atrativa com a inserção de mais curiosidades apresentadas de forma mais criativa, buscando-se novas fontes de informação, pois de acordo com Kapp et al. (2014, traduzido para o português) a gamificação é apropriada na educação quando se deseja motivar os estudantes a aprenderem os conteúdos escolares.

PERGUNTA 6 - Você gostaria que outras disciplinas explorassem ferramentas semelhantes para o ensino e aprendizagem dos conteúdos aprendidos no contexto escolar?

Na referida pergunta, buscou-se investigar se os estudantes de licenciatura participantes da pesquisa gostariam que outras disciplinas explorassem ferramentas semelhantes para o ensino e aprendizagem dos conteúdos abordados.

As respostas obtidas foram: 100% dos usuários opinaram que sim, pois são ferramentas muito úteis para o aprendizado". Isso demonstra que o aplicativo gamificado RadiAção foi percebido como ferramenta útil para o ensino e aprendizagem da temática proposta, podendo ser uma inspiração para outros trabalhos semelhantes. Estudos publicados em revistas internacionais sobre gamificação, o contexto no qual ela mais se apresenta é na educação e na aprendizagem, tendo sido identificados resultados positivos no que diz respeito ao aumento da motivação, do engajamento nas atividades e no divertimento, conforme Hamari, Koivisto e Sarsa (2014 apud ARAÚJO, 2016, p.99).

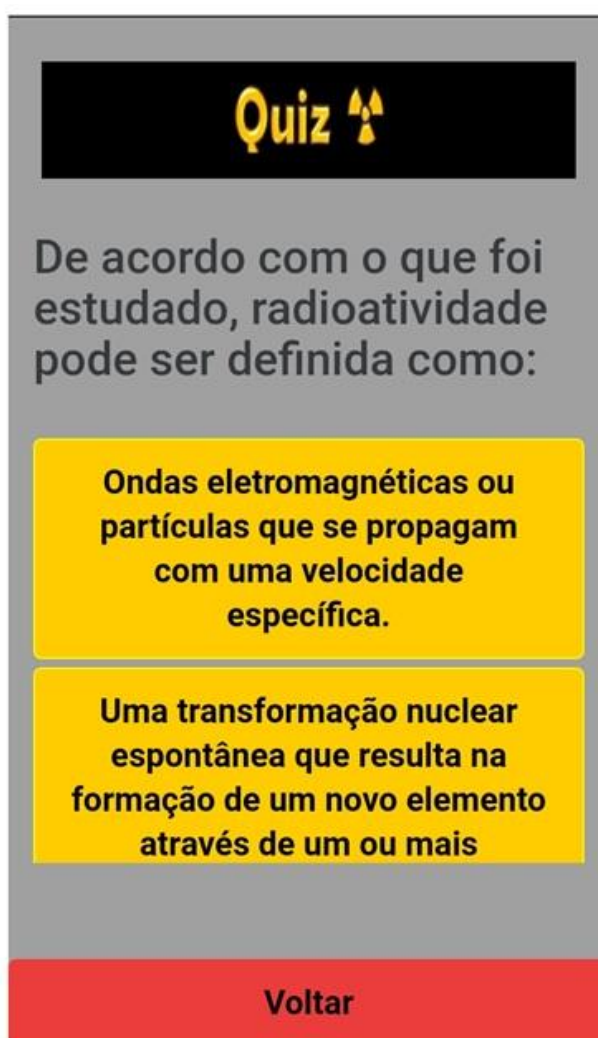
PERGUNTA 7 - Quanto ao *quiz*, você considera que ele contribuiu para a inserção de elementos da gamificação (engajamento, motivação, enfrentar desafios) no aplicativo?

Nesta pergunta, buscou-se investigar se o *quiz* do aplicativo contribuiu para a inserção de elementos da gamificação (engajamento, motivação, enfrentar desafios). As respostas obtidas foram: 44,4% dos usuários consideraram que o quiz contribuiu muito para a inserção de elementos da gamificação; 22,2% consideraram que consideraram que o quiz contribuiu totalmente; 22,2% consideraram que consideraram que o quiz não contribuiu; 11,1% consideraram que consideraram que o quiz contribuiu um pouco. Sendo assim, a maioria opinou que o quiz contribuiu muito para a inserção de elementos da gamificação.

Como já discutido anteriormente no referencial teórico, de acordo com Kapp (2012), gamificação é uma experiência que utiliza a estrutura do jogo e sua forma de pensamento com o objetivo de que os sujeitos possam ter o domínio de determinado conteúdo. Sendo assim, compreende-se que para utilizar a gamificação em sala de aula, o professor deve criar estratégias que possuam características de jogo, como por exemplo: desafios, premiações, ludicidade e interatividade, tendo como objetivo a aprendizagem de um conteúdo específico.

De acordo com as respostas do questionário avaliativo os participantes opinaram que este item contribuiu muito para a inserção de elementos da gamificação no aplicativo. No entanto apresentaram como sugestão, para que o *quiz* viesse a contribuir mais significativamente para a inserção da gamificação neste aplicativo, que o mesmo fosse estruturado com as perguntas de forma intercalada com o respectivo conteúdo, trazendo mais motivação, durante a navegação, na busca para a sua compreensão. A Figura 6 mostra uma tela do *quiz* do aplicativo:

Figura 6: Tela do quiz.



Fonte: autoria própria.

Os participantes também sugeriram que fosse inserido no aplicativo um ranking, no qual pudessem acompanhar seu desempenho e também algum tipo de “premiação” pela pontuação, como um selo ou um título.

PERGUNTA 8 - Em geral, como você classificaria a eficiência do aplicativo gamificado RadiAção no ensino e aprendizagem da Ciência Nuclear e suas tecnologias para estudantes do Ensino Básico?

Na referida pergunta, buscou-se investigar como os participantes classificariam a eficiência do aplicativo gamificado RadiAção no ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** para estudantes do Ensino Básico. As respostas obtidas foram: 55,6% dos usuários classificaram o aplicativo RadiAção como eficiente; 33,3% classificaram o aplicativo como pouco eficiente e 11,1% classificaram o aplicativo como muito eficiente. Sendo assim, a maioria dos usuários classificou o aplicativo RadiAção como eficiente no cumprimento de seu propósito.

Segundo Kapp et al. (2014) a gamificação é apropriada para fins educacionais educação quando se deseja: motivar os estudantes na aprendizagem dos conteúdos escolares, influenciando o comportamento dos mesmos em sala de aula; guiando-os na construção de novas soluções para os desafios propostos e encorajando-os no desenvolvimento, de forma autônoma, dos seus conhecimentos e habilidades além da aquisição de novos conhecimentos.

A Figura 7 mostra uma parte do conteúdo abordado no aplicativo:

Figura 7: Conteúdo Irradiação de alimentos.

Irradiação ☢

←
→

Na área dos alimentos, uma aplicação importante é a irradiação para a conservação de produtos agrícolas, como batata, cebola, alho e feijão. Batatas irradiadas podem ser armazenadas por mais de um ano sem murcharem ou brotarem. Desde 2013 existem no Brasil cinco irradiadores industriais de grande porte, em São Paulo, nas cidades de São José dos Campos, Campinas, Jarinu e Cotia.

Diagrama comparando a conservação de batatas irradiadas e não irradiadas. A batata irradiada, após meses de armazenamento, não apodrece e não brota. A batata não irradiada, após meses de armazenamento, sofre apodrecimento e germinação.

Irradiado **Normal**

Assista estes vídeos para melhor compreender a importância da energia nuclear na irradiação de alimentos:

A irradiação na prevenção...

"Avenida da Ciência - MIC..."

Voltar

Fonte: autoria própria.

O aplicativo gamificado RadiAção foi considerado eficiente no seu propósito, pois de acordo com os dados coletados neste questionário vemos que ele atende pelos menos aos quesitos (1), (4) e (5) propostos por Kapp et. al (2014).

PERGUNTA 9 - foi deixado um espaço para os participantes deixarem sugestões de melhoria para o aplicativo, tanto sobre sua dimensão visual quanto aos conteúdos oferecidos.

As melhorias sugeridas para o aplicativo que foram consideradas pertinentes serão implementadas no mesmo em uma nova atualização, antes de sua liberação para livre acesso pela população através de uma plataforma digital. Algumas destas sugestões que não foram citadas acima, mas que também foram dadas são: aumentar a quantidade de perguntas no quiz, substituição de algumas

imagens impactantes por outras menos impactantes e melhorar a visualização das alternativas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão apresentadas as principais contribuições do aplicativo gamificado RadiAção, bem como limitações de pesquisa e trabalhos futuros.

6.1 Principais contribuições

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho partiu da busca por investigar como um recurso didático tecnológico pode contribuir para o ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** no Ensino Básico de forma interativa, dinâmica e participativa.

Para tanto, buscou-se conhecer a realidade educacional de uma turma de terceiro ano do Ensino Médio de uma escola da Rede Pública Estadual de Ensino de Caruaru com relação aos conhecimentos sobre a temática em questão e foi possível constatar a superficialidade deste conhecimento e sua compreensão por vezes equivocada, devido a falta de uma abordagem mais contundente desta temática nas escolas, a falta de recursos didáticos em língua portuguesa sobre radioatividade, como afirma Eichler et al. (2011, p.2) e o distanciamento entre o conhecimento científico e a realidade destes estudantes.

De maneira a intervir neste realidade, foi realizado um grande estudo e levantamento de materiais para o desenvolvimento de um recurso didático tecnológico que viesse a contribuir para o ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** no Ensino Básico de forma interativa, dinâmica e participativa. Então, foi desenvolvido o aplicativo gamificado RadiAção com este intuito.

O aplicativo gamificado RadiAção foi avaliado por licenciandos em Química de uma Universidade Pública do Agreste, que cursaram ou estivessem cursando a disciplina Introdução à Química Nuclear, no intuito de perceber com este recurso poderia contribuir para o ensino e aprendizagem da temática proposta. Através da análise dos resultados da avaliação, conclui-se que um recurso didático tecnológico, neste caso o aplicativo RadiAção, poderá contribuir para o ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** no Ensino Básico de forma interativa, dinâmica e participativa possivelmente através dos elementos da gamificação, que trazem motivação, engajamento e a capacidade de ensinar novos conteúdos aos

estudantes de forma mais interessante. O aplicativo foi considerado eficiente e uma ferramenta muito útil para o aprendizado.

Portanto, este trabalho contribuiu para a compreensão sobre como um recurso didático tecnológico poderá contribuir para o ensino e aprendizagem do tema proposto no Ensino Básico de forma interativa, dinâmica e participativa e para o suprimento de recursos didáticos sobre radioatividade em língua portuguesa (tão escassos em nossa realidade educacional) e com uma proposta de ensino e aprendizagem considerada útil e eficiente.

6.2 Limitações

Apesar dos resultados obtidos mostrarem que o aplicativo gamificado RadiAção poderá contribuir para o ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** no Ensino Básico de forma interativa, dinâmica e participativa possivelmente através da gamificação e ter sido considerado eficiente em sua proposta e uma ferramenta útil para o aprendizado, ainda existem algumas limitações. De acordo com os resultados do questionário de usabilidade, constatou-se que a dimensão visual (cores, imagens) e a distribuição das perguntas do quiz e textos ao longo do aplicativo precisam ser melhoradas, a fim de aumentar a dinamicidade e tornar a navegação mais agradável.

6.3 Trabalhos futuros

Como proposta de trabalhos futuros, tem-se a inclusão de novos requisitos funcionais referentes ao ranking, à inserção do nome do usuário e o logout; a validação do aplicativo gamificado RadiAção como recurso didático para o ensino e aprendizagem da **Ciência Nuclear e suas tecnologias** para estudantes do Ensino Básico, através da aplicação de um novo questionário após o uso do aplicativo pelos estudantes, a fim de analisar avanços na construção do conhecimento através do uso do mesmo e melhorias com relação às limitações verificadas nos resultados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, et al. Usina Nuclear: obtenção de energia e resíduos gerados. **Revista Engenharias Online**. Volume 2, n.1, 2016. Disponível em: < www.fumec.br/revistas/eol/article/download/3961/2131> Acesso em: 05 de janeiro de 2019.

ATKINS, Peter. **Princípios de Química** [recurso eletrônico]: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre, 2012.

AZEVEDO, Ana Cecília Pedrosa de. **Radioproteção em serviços de saúde**. Fiocruz. Rio de Janeiro. 2005. Disponível em:<<http://www.fiocruz.br/biossegurancahospitalar/dados/material10.pdf>> Acesso em: 09 de julho de 2019.

BASQUEIRA, Daniela. Manipulação do combustível fóssil usado. 2013. Disponível em:< <http://www.ifsc.usp.br/~eletronuclear/wordpress/228/>> Acesso em: 30 de setembro de 2019.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. 2000. Disponível em:<<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>> Acesso em: 03 de junho de 2019.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília, 2006. Disponível em:< http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf> Acesso em: 11 de dezembro de 2019.

CARVALHO, Camila Nunes de. Aplicação das fontes radioativas na perfilagem de poços e aspectos de radioproteção. 2015. Disponível em:< [arquivos.info.ufrn.br › TCC_-_2015.1_-_Camila_Nunes_de_Carvalho.pdf](http://arquivos.info.ufrn.br/TCC_-_2015.1_-_Camila_Nunes_de_Carvalho.pdf)> Acesso em: 29 de setembro de 2019.

CEMBER, Herman. **Introduction to Health Physics**. 4. ed. The McGraw-Hill Companies, 2009. Disponível em:<<https://inayacollegedrmmohammedmam.files.wordpress.com/2015/02/introduction-to-health-physics.pdf>> Acesso em: 28 de setembro de 2019.

CHALMERS, Alan F. **O que é ciência afinal?** Brasiliense, 1993.

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. Glossário de termos usados em energia nuclear. Disponível em:<http://www.cnen.gov.br/noticias/documentos/glossario_tecnico.pdf> Acesso em: 28 de setembro de 2019.

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. Aplicações da Energia Nuclear. Disponível em:<<http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/aplicacoes-da-energia-nuclear.pdf>> Acesso em: 29 de setembro de 2019.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Energia Nuclear e suas aplicações: aprendendo com o nuclídeo. Disponível em:<<http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa-aplicacoes.pdf>> Acesso em: 29 de setembro de 2019.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Radiações Ionizantes e a vida. Disponível em:<<http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>> Acesso em: 29 de setembro de 2019.

CNEN- Comissão Nacional de Energia Nuclear. Quem somos. Disponível em:<<http://www.cnen.gov.br/quem-somos>> Acesso em: 30 de setembro de 2019.

EICHLER, et al. **Módulos para o Ensino de Radioatividade**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011. Disponível em:<http://www.quimica.seed.pr.gov.br/arquivos/File/AIQ_2011/radio_ufrgs.pdf> Acesso em: 11 de janeiro de 2019.

ENOKIHARA, C. T. O armazenamento de rejeitos radioativos no Brasil com ênfase especial em rochas. 1983. Disponível em:<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/40/094/40094780.pdf?r=1&r=1> Acesso em: 30 de setembro de 2019.

European Nuclear Society. Glossary of nuclear terms. Disponível em:<<http://euronuclear.org/info/encyclopedia/activity.htm>> Acesso em: 28 de setembro de 2019.

HYPESCIENSE. 10 coisas que você provavelmente não sabia que são radioativas. 2013. Disponível em:< <https://hypescience.com/10-coisas-que-voce-provavelmente-nao-sabia-que-sao-radioativas/>> Acesso em: 30 de setembro de 2019.

IAEA – Agência Internacional de Energia Atômica. Efeitos Biológicos da Radiação. Disponível

em:<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/073/45073469.pdf> Acesso em: 29 de setembro de 2019.

IAEA – Agência Internacional de Energia Atômica. Doses de radiação ionizante de baixos níveis: um risco mal compreendido, todavia inevitável. 2004. Disponível

em:<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/20/042/20042734.pdf?r=1&r=1> Acesso em: 29 de setembro de 2019.

IAEA- Agência Internacional de Energia Atômica. Escala Internacional de Eventos Nucleares e Radiológicos (INES). Disponível

em:<<https://www.iaea.org/topics/emergency-preparedness-and-response-epr/international-nuclear-radiological-event-scale-ines>> Acesso em: 30 de setembro de 2019.

IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Radioatividade no meio ambiente e avaliação de impacto radiológico ambiental. 2011. Disponível em:<

https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/posgraduacao/arquivos/201103311026310-Apostila%20TNA-5754%20abr-2011.pdf> Acesso em: 29 de setembro de 2019.

IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Gerência de Rejeitos Radioativos – GRR. 2010. Disponível em:<

https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/Arquivos/1883_41_Criterios-setembro-2010.pdf> Acesso em: 30 de setembro de 2019.

IUPAC – União Internacional de Química Pura e Aplicada. Glossário de termos de radioquímica e técnicas nucleares. Disponível em:<

<http://www.andrew.cmu.edu/course/09-106/RadiochemGlossary/Main.html>> Acesso em: 28 de setembro de 2019.

IUPAC - União Internacional de Química Pura e Aplicada. Glossário de termos usados na química analítica nuclear. 1982. Disponível em:<

<http://publications.iupac.org/pac-2007/1982/pdf/5408x1533.pdf>> Acesso em: 11 de dezembro de 2019.

KAPP, Karl M. A Gamificação do Aprendizado e da Instrução: Métodos e Estratégias Baseados em Jogos para Treinamento e Educação. 2012. Disponível em:<

https://books.google.com.br/books?id=GLr81qqTELcC&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s>. Acesso em: 08 de janeiro de 2020.

KAPP, et al. The Gamification of Learning and Instruction Fieldbook: Ideas into Practice. 2014. Disponível em:<
https://books.google.com.br/books?redir_esc=y&hl=pt-BR&id=NaYzAQAAQBAJ&q=structural+gamification#v=snippet&q=structural%20gamification&f=false> Acesso em: 08 de janeiro de 2020.

LEITE, Bruno Silva. Gamificando as aulas de química: uma análise prospectiva das propostas de licenciandos em química. **Novas Tecnologias na Educação**, vol. 15, núm. 2, 2017. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em:<<https://seer.ufrgs.br/renote/article/viewFile/79259/46153>> Acesso em: 13 de abril de 2019.

MACHADO, Felipe, N. R. Análise e Gestão de Requisitos de Software – Onde nascem os sistemas. 2018. Disponível em:<
https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=MYdiDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=o+que+sao+requisitos+funcionais&ots=Dj0eoE8ZN3&sig=uuyIVwC5dhYh8eCDIMPtw3_xeoA#v=onepage&q=o%20que%20sao%20requisitos%20funcionais&f=false> Acesso em: 30 de dezembro de 2019.

MARQUES, et al. Uma proposta didática na utilização da história da ciência para a primeira série do Ensino Médio: A Radioatividade e o cotidiano. 2010. Disponível em:< <http://200.144.145.24/hcensino/article/view/3024/2037>> Acesso em: 16 de dezembro de 2019.

MARTINS, R. de A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. **Revista da SBHC**, v. 1, p. 29-41, 2003. Disponível em:<
<http://www.ghhc.usp.br/server/pdf/curie-a1.pdf>> Acesso em: 07 de junho de 2019.

MORESI, Eduardo. **Metodologia de Pesquisa**. Universidade Católica de Brasília. 2003. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/889693-Metodologia-da-pesquisa.html>> Acesso em 11 de janeiro de 2019.

NAVARRO, Gabrielle. **Gamificação: a transformação do conceito do termo jogo no contexto da pós-modernidade**. 2013. Disponível em:<
<http://paineira.usp.br/celacc/sites/default/files/media/tcc/578-1589-1-PB.pdf>> Acesso em: 07 de junho de 2019.

NOVAK Joseph D; GOWIN, D B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Ed Técnicas, 1996.

OKUNO, et al. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas**. Editora Harbra Ltda., 1982.

OKUNO, Emico. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. Editora Oficina de textos, 2018. Disponível em:<
<https://books.google.com.br/books?id=dRFaDwAAQBAJ&pg=PT108&lpg=PT108&dq=radia%C3%A7%C3%A3o+cosmica+que+atinge+a+terra+87%25+s%C3%A3o+protons&source=bl&ots=i8q7Gmm4SM&sig=ACfU3U2fjTY7rgrTtR7I1OQwKlqeiPF3jw&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjK99uK5a3mAhV0BtQKHchYCIQQ6AEwAnoECAsQAg#v=onepage&q=radia%C3%A7%C3%A3o%20cosmica%20que%20atinge%20a%20terra%2087%25%20s%C3%A3o%20protons&f=false>> Acesso em: 11 de dezembro de 2019.

PIVA, et al. Critérios de projeto para destinação de rejeitos radioativos. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010. Disponível em:<
http://www.ambientesquimicos.eq.ufrj.br/Nosso_ambito_2_files/2010-UFP-TCF-IOR-AZ-Crit%C2%8EeriosdeProjetoparaDestinacaodeRejeitosRadioativos.pdf> Acesso em: 30 de setembro de 2019.

REDLENER, Irwin. Sobrevivência em um ataque nuclear. Disponível em:<
https://www.ted.com/talks/irwin_redlener_warns_of_nuclear_terrorism/transcript?language=pt-br> Acesso em: 30 de setembro de 2019.

RIBEIRO, C. V. S. Radioatividade: a evolução do entendimento conceitual ao longo da formação docente em química numa perspectiva CTSA. Universidade Federal de Pernambuco. 2017.

RODRIGUES, W. C. **Metodologia Científica**. Paracambi, 2007. Disponível em:
 <http://www.hugoribeiro.com.br/biblioteca-digital/Rodrigues_metodologia_cientifica.pdf> Acesso em: 16 de janeiro de 2019.

SANTIAGO, André. Radiação – entenda de uma vez por todas. 2017. Disponível em:< <https://radioprotecaonapratica.com.br/radiacao-entenda-de-uma-vez-por-todas/>> Acesso em: 28 de setembro de 2019.

SANTOS, J. M. E. Análise quantitativa dos rejeitos radioativos a serem gerados no programa nuclear brasileiro. 1979. Disponível em:<
http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Jose%20Mauro%20Esteves%20dos%20Santos_M.pdf> Acesso em: 30 de setembro de 2019.

SOUZA, Erica. F. **Estudo para rastreamento de irradiadores de gamagrafia industrial por meio do uso do sistema de posicionamento global (GPS)**. 2015. Disponível em:< http://www.con.ufrj.br/wp-content/uploads/2015/11/Dissertacao_Erica_Fernanda_de_Souza.pdf> Acesso em: 29 de setembro de 2019.

SOUZA, S. E. **O uso de recursos didáticos no ensino escolar**. In: I Encontro de Pesquisa em Educação, IV Jornada de Prática de Ensino, XIII Semana de Pedagogia da UEM: “Infância e Práticas Educativas”. Arq. Mudi. 2007. Disponível em: <<http://www.dma.ufv.br/downloads/MAT%20103/2015-II/slides/Rec%20Didaticos%20-%20MAT%20103%20-%202015-II.pdf>>. Acesso em: 11 janeiro de 2019.

TAUHATA, L., Salati, P. A., Di Prinzio, R., & Di Prinzio, A. R. Radioproteção e dosimetria: fundamentos. 10ª revisão. 2014. Disponível em:< <http://www.cnen.gov.br/component/content/article/75-cin/material-didatico-cnen/171-radioprotecao-e-dosimetria-fundamentos>> Acesso em: 29 de setembro de 2019.

TECMUNDO. 20 curiosidades aleatórias e bizarras sobre a radiação. 2016. Disponível em:< <https://www.tecmundo.com.br/quimica/100827-20-curiosidades-aleatorias-bizarras-radiacao.htm>> Acesso em: 30 de setembro de 2019.

VIEIRA, Heveline. Avaliação da cristalização e durabilidade química de vidros niobofosfatos visando a imobilização de rejeitos radioativos. 2008. Disponível em:< <https://www.ipen.br/biblioteca/teses/12872.pdf>> Acesso em: 30 de setembro de 2019.