UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

CARLOS ALEXANDRE DOS SANTOS BATISTA

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência do tópico radioatividade em ambientes reais de sala de aula.

ILHÉUS – BAHIA
2015

CARLOS ALEXANDRE DOS SANTOS BATISTA

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência do tópico radioatividade em ambientes reais de sala de aula.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências da Universidade Estadual de Santa Cruz como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Maxwell Siqueira.

ILHÉUS – BA
2015

B333 Batista, Carlos Alexandre dos Santos.
Física moderna e contemporânea no ensino médio: subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência do tópico radioatividade em ambientes reais de sala de aula / Carlos Alexandre dos Santos Batista. – Ilhéus: UESC, 2015.
142f. : il.
Orientador: Maxwell Siqueira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências.
Inclui referências e apêndices.

1. Física (Ensino médio) – Estudo e ensino. 2. Radioatividade. I. Siqueira, Maxwell. II. Título.

CDD - 537

CARLOS ALEXANDRE DOS SANTOS BATISTA

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: SUBSÍDIOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS PARA A SOBREVIVÊNCIA DO TÓPICO RADIOATIVIDADE EM AMBIENTES REAIS DE SALA DE AULA.

Dissertação submetida ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências – PPGEC, em cumprimento parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências.

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA

EM 31/08/2015

Prof. Dr. Maxwell Roger da Purificação Siqueira
Presidente da banca (UESC – PPGEC)

Prof. Dr. Neurivaldo José de Guzzi Filho
Examinador (UESC – PPGEC)

Prof. Dr. Milton Thiago Schivani Alves
Examinador (UFRN)

Ilhéus, Bahia, 31 de agosto de 2015

AGRADECIMENTOS

Ao meu prof. Dr. Maxwell Siqueira que, com toda confiança, companheirismo, generosidade e respeito, depositados em mim quanto pessoa e estudante, tornou possível a concretização de cada etapa da minha formação em nível superior.

A todos os meus professores do curso de graduação e pós-graduação que contribuíram pessoalmente e intelectualmente com o meu crescimento, em especial, a professora Dr.ª. Simoni Tormöhlen Gehlen, pelo apoio e incentivo concedidopara que eu ingressasse na carreira científica e acadêmica.

A toda a comissão do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, pelos esforços prestados para a implementação e desenvolvimento do programa de mestrado, visando sempre, o papel importante que o mesmo tem para a Educação em Ciências no Sul da Bahia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal do Nível Superior (CAPES) por todo o apoio financeiro dado para a realização da pesquisa.

Ao professor Me. Danilo de Souza (campus - Ilhéus-BA) e Joaquim Soares Júnior (campus – Uruçuca-Ba) e a toda a direção dos Institutos Federais de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA e IFBAIANOpela concessão e colaboração para realização da pesquisa.

Às minhas queridas amigas e professoras, Gabriela Goes e Isamar Miranda, pelas contribuições substanciais da correção deste texto. Pois não mediram esforços para ajudar-me nas horas mais cruciais do meu trabalho.

A minha mãe Maria da Glória, em memória do meu querido pai João Mendes, aos meus irmãos, aos parentes, a minha namorada Gleiciane dosSantos pela compreensão nas diversas ocasiões em que eu não pude estar presente, aosamigos e colegas do PPGEC, Maurício Araújo, Hadassa do Carmo, Acta Maiara, Yasmim Reis, Maíra, Rafaela, Luiza Félix, pelo apoio em todos os momentos, dedico à realização deste trabalho.

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência do tópico radioatividade em ambientes reais de sala de aula.

RESUMO

A necessidade de atualização dos currículos de Física da Educação Básica no Brasilé sentida pela comunidade de pesquisadores e de professores ao longo de mais de duas décadas. Essa necessidadetem recaído, principalmente, sobre as implicações que os conhecimentos científicos de fronteira exercem nos contextos sociais, políticos, econômicos, tecnológicos e ambientais. Por sua vez, um dos caminhos que está sendo amplamente explorado no ensino de Física perpassa pela inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio. Todavia,apesar de um acúmulo significativo das pesquisas nos últimos vinteanos, existeum número incipiente de pesquisasfundamentadas em referenciais teóricos reconhecidos pela literatura que visam investigar como, efetivamente, esta área da Física é inserida nos ambientes reais de sala de aula e como os estudantes constroem seus conhecimentos científicos. Essa desproporcionalidade nos levou a investigar comodesenvolver e implementar propostas inovadoras apoiadas em referenciais teórico-metodológicos reconhecidos pela literatura, bem como quais os resultados práticos esse tipo de investigação nos permite alcançar para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem. Nossos objetivos foram três, (i) buscar na literatura, justificativas que nos levassem a escolha do tópico da FMC; (ii) avaliar por meio da teoria da Transposição Didática as potencialidades de sobrevivências do tópico radioatividade e (iii) elaborar a sequência de ensino-aprendizagem utilizando referenciais teóricos presentes na literatura do ensino de Ciências, no intuito de fornecer os subsídios teórico-metodológicos para tornar possível a atualização curricular em ambiente real de sala de aula. Para alcançá-los, escolhemos o tópico radioatividade, realizamos sua análise por meio da Transposição Didática, elaboramos a sequência de ensino-aprendizagem, apresentamos os aspectos metodológicos da pesquisa (contextos de implementação), avaliamos e reestruturamos a sequência, implementamos novamente e realizamos uma última avaliação.Com isso, mostramos que (1) o processo de ensino-aprendizagem de Física por meio da*Teaching-Learning Sequence*, torna-se mais didático, com a inclusão de outros recursos de ensino e mais construtivista com participação ativa dos estudantes; (2) permite aos professores trabalhar os conceitos envolvidos em um tópico da Física Moderna e Contemporânea (radioatividade) de forma mais abrangente do que estamos acostumados no ensino tradicional; (3) as concepções espontâneas dos estudantes (subsunçores) e ideias informais, podem ser tomadas como referências primárias essenciais para o desenvolvimento de estratégias para uma melhor aprendizagem significativa dos conteúdos; (4) permite observar que, o tripé professor-saber-estudante, presentes no sistema didático de Chevallard, no losango didático de Méheut e Psillos e no triângulo didático da Tiberghien ecolaboradores ganham outra dimensão para o ensino de Ciências, quando reconhecemos o papel e peculiaridades de cada um dos protagonistas desse tripé.

PALAVRAS-CHAVE: Física Moderna e Contemporânea; Radioatividade; TransposiçãoDidática; *Teaching-Learning Sequence.*

ABSTRACT

The need to update the curricula of physics of basic education in Brazil is felt by the community of researchers and teachers over more than two decades. This need has fallen mainly on the implications of the scientific frontier of knowledge engaged in social, political, economic, technological and environmental contexts. In turn, one of the paths being widely exploited in teaching physics permeates the insertion of Modern and Contemporary Physics (FMC) in high school. However, despite a significant accumulation of research in the last twenty years, there is an emerging body of research based on theoretical frameworks recognized in the literature that aim to investigate how effectively this area of physics is inserted in the actual environment of the classroom and how Students build their scientific knowledge. This disproportionality led us to investigate how to develop and implement innovative proposals supported by theoretical and methodological frameworks recognized by the literature, and any practical results that kind of research allows us to achieve to improve the teaching-learning process. Our goals were three (i) search the literature, justifications to take us choosing the topic of FMC; (ii) to evaluate by the theory of Didactic Transposition the topic of survival potential radioactivity and (iii) developing the teaching-learning sequence using theoretical references present in Science teaching literature in order to provide the theoretical and methodological subsidies make possible the curriculum updating in real environment of the classroom. To reach them, we chose the topic radioactivity, conducted its analysis through the Didactic Transposition, we make the teaching-learning sequence, we present the methodological aspects of research (implementation contexts), we evaluated and restructured the sequence, implemented again and conducted a last avaliação.Com this, we show that (1) the process of teaching and learning physics through the Teaching-Learning Sequences becomes more didactic, with the inclusion of other teaching resources and more constructivist with active participation of students; (2) allows teachers to work the concepts involved in a topic of Modern and Contemporary Physics (radioactivity) more broadly than we are accustomed to in traditional education; (3) the spontaneous conceptions of students (subsumers) and informal ideas, can be taken as essential primary references for the development of strategies for better meaningful learning content; (4) allows us to observe that the teacher-knows-student tripod, present in the educational system Chevallard in teaching diamond Méheut & Psillos and didactic triangle Tiberghien & employees gain another dimension to science teaching, when we recognize the role and peculiarities of each of the protagonists of this tripod.

Keywords: Modern and Contemporary Physics, Radioactivity, Didactic Transposition, Teaching-Learning Sequence.

LISTA DE SIGLAS

CTS - Ciência Tecnologia e Sociedade

DBR - Design Based Research

DA - Demanda de Aprendizagem

ED - Estrutura Didática

EM- Ensino Médio

FMC - Física Moderna e Contemporânea

LD – Losango Didático

LDB - Lei de Diretrizes e Bases da Educação

PCN - Parâmetros Curriculares Nacionais

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

SEA - Sequência de Ensino e Aprendizagem

ST- Segurança do Trabalho

TI – Técnico de Informática.

TD - Transposição Didática

TLS – Teaching Learning Sequence

PNLD – Plano Nacional do Livro Didático

PNLEM- Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio

SUMÁRIO

RESUMO.....vi

ABSTRACT.....vii

INTRODUÇÃO.....11

Objetivo geral.....16

Objetivos específicos.....16

Justificativa da Pesquisa.....16

CAPÍTULO 1- A ATUALIZAÇÃO CURRICULAR NO ENSINO DE FÍSICA COMO UMA NECESSIDADE PULSANTE.....18

1.1- Introdução.....18

1.2- A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma breve revisão.....19

1.3- Por que o tópico radioatividade?.....21

1.4- Conclusão.....25

2- A TEORIA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA.....26

2.1- Introdução.....26

2.2- O Conceito de Transposição Didática.....26

2.3- Como as grandes teorias levam às teorias específicas.....37

2.4- Categorias Metodológicas de Análise: um olhar para o tópico radioatividade.....40

2.4.1- Análise por meio das características da Transposição Didática.....41

2.4.2- Análise por meio das regras da Transposição Didática.....45

2.5- Conclusão.....47

3- MARCADORES TEÓRICOS PARA O PROJETO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM.....49

3.1- A relação entre *Design-Based Research e a Teaching-Learning Sequence*.....52

3.2- Teorias específicas para o projeto da *Teaching-Learning Sequence*.....55

3.2.1- A Reconstrução Educacional.....56

3.2.2- A Engenharia Didática.....57

3.2.3- A Demanda de Aprendizagem.....58

3.2.4- A Pesquisa de Desenvolvimento.....59

3.3- A Estrutura teórica geral da *Teaching-Learning Sequence*.....65

3.3.1- Avaliação da *Teaching-Learning Sequence*: interna e externa.....68

3.4- A materialização da sequência de ensino-aprendizagem.....70

3.5- Conclusão.....72

4- PERCURSO METODOLÓGICO PARA A AVALIAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM.....73

4.1- As Características da Pesquisa Qualitativa.....73

4.2- Os contextos de implementação da sequência de ensino-aprendizagem.....75
4.2.1- Contexto de implementação da primeira versão.....75
4.2.2- Contexto de implementação do redesenho.....77
4.3- Perfis das turmas de Física de Segurança do Trabalho e de Informática.....79
4.4- Metodologias de coleta e análise dos dados: *protoprincípio de design* da sequência de ensino-aprendizagem.....80
4.4.1- Metodologia de coleta.....80
4.4.2- Metodologia de análise.....81
5- ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM NA PRIMEIRA IMPLEMENTAÇÃO.....83
5.1- Avaliação da sequência de ensino-aprendizagem por meio do primeiro objetivo.....83
5.2- Avaliação da sequência de ensino-aprendizagem por meio do segundo objetivo.....95
5.2.1- Andamento das aulas.....95
5.2.2- Participação dos estudantes nas atividades.....97
5.2.3- Avaliação dos recursos de ensino.....98
5.3- Conclusão.....107
6- AVALIAÇÃO INTERNA DA SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM.....108
6.1- Análise do questionário do *pré-teste*.....109
6.2- Avaliação interna da sequência de ensino-aprendizagem por meio da atividade lúdica do quebra-cabeça radioativo.....113
6.3- Análise do questionário do *pós-teste*.....117
7- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....133
APÊNDICE.....142

INTRODUÇÃO

A Ciência e a Tecnologia como parte da cultura humana têm contribuído significativamente para o desenvolvimento da humanidade. Muitas vezes, esse desenvolvimento tem sido atribuído aos diversos benefícios que os avanços científicos e tecnológicos têm proporcionado para melhorar a vida das pessoas.

Sobre os benefícios garantidos, podemos citar as variadas contribuições que os conhecimentos advindos das pesquisas de fronteira têm proporcionado para a medicina, a indústria, as telecomunicações, a agricultura e os sistemas de navegação espacial, terrestre, aquática e aérea. A materialização desses benefícios se dá, por exemplo, em forma de tratamento e diagnóstico de doenças genéticas e cancerígenas, uma gama de produtos e subprodutos eletroeletrônicos, formas alternativas de produção de energia elétrica, dentre outros.

Nessa perspectiva, todo conhecimento científico e tecnológico aplicado para obtenção desses benefícios tornam-se, muitas vezes, conhecimentos básicos necessários a serem transmitidos às novas gerações. Por sua vez, ao ensino de Ciências da Educação Básica, caberá a responsabilidade de transmitir esses conhecimentos aos jovens e inseri-los também em uma “cultura científica e tecnológica” capaz de ajudá-los a compreender os principais aspectos básicos dos contextos históricos, sociais, políticos, econômicos, epistemológicos, científicos e tecnológicos da produção do conhecimento ensinado em sala de aula.

Em um contexto geral, a maioria dos jovens têm despertado seus interesses por áreas que não estejam ligadas às científicas, pois acreditam que suas linguagens, principalmente, a da matemática, não sejam acessíveis por pessoas comuns (FOUREZ, 2003). A razão para o distanciamento da grande maioria desses jovens, independentemente de classe social ou país que pertença, tem sido imputada pelos pesquisadores, dentre outras coisas, ao próprio ensino de Ciências (DELIZOICOV *et al.*, 2002; FOUREZ,2003).

No caso particular do ensino de Física, as críticas apontadas pelas pesquisas da área tanto em nível internacional, quanto nacional (BYBEE, 1997; DELIZOICOV *et al.*, 2002; BYBEE; FUCHS, 2006) têm recaído sobre as metodologias tradicionais e ultrapassadas que os professores utilizam em suas aulas para ensinar os conteúdos científicos. Essas metodologias tornam as aulas de Física

descontextualizadas em relação ao cotidiano dos estudantes e as implicações que os conhecimentos ensinados possuem em diferentes vertentes. Por conseguinte, a falta de interesse e o mau desempenho dos estudantes, para com esta área da Ciência, são as principais consequências imediatas que podemos observar ao longo dos últimos anos (BYBEE; FUCHS, 2006).

Na maioria das vezes, as aulas de Física têm se resumido às resoluções de problemas matemáticos que, por si só, não permitem aos estudantes estabelecerem relações entre os conceitos e os fenômenos envolvidos na produção do conhecimento, nem desenvolver uma compreensão razoável desta Ciência como construção humana.

A desatualização do ensino de Física, por exemplo, além de contribuir para a disseminação de uma visão de Ciência ultrapassada, não ajuda a compreender a nova realidade, cujo cenário é permeado pelos aparatos tecnológicos avançados, novas compreensões sobre a natureza da matéria, por exemplo, o Bóson de Higgs, a própria forma de fazer ciências, teoria da relatividade, pelos experimentos do *Large Hadron Collider (LHC) em português, Grande colisor de Hádrons*, tornam-se frutos de conhecimentos científicos modernos e desafios cotidianos que não dialogam mais com modelos ultrapassados de ensino.

Segundo Brasil (1999, p.58), o objetivo mais amplo da educação escolar é formar os jovens, sobretudo, para que “*adquiram competências para lidar com as situações que vivenciam ou que venham a vivenciar no futuro, muitas delas novas e inéditas”*.

Por sua vez, essas situações podem ser entendidas como interpretação das situações-problemas envolvendo racionamento de energia, crise energética, debates sobre implantações de fontes renováveis e não renováveis de energia, desequilíbrios ecológicos, dentre outros.

Contudo, para a sociedade, de modo geral, a educação escolar básica não tem cumprido o seu papel em promover um ensino-aprendizagem de qualidade. Como exemplo, podemos citar os péssimos rendimentos dos estudantes nas

avaliações nacionais da Educação Básica (Exame nacional do Ensino Médio) nos últimos anos, como podemos observar na figura 1[1].

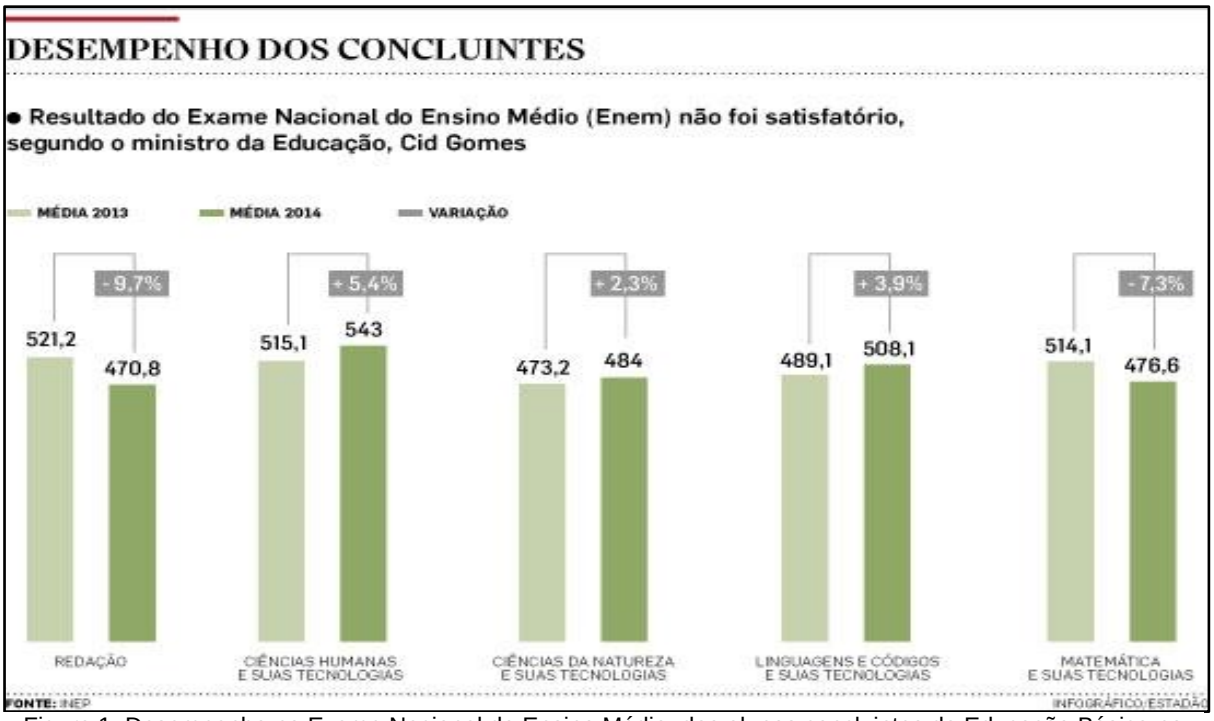


Figura 1. Desempenho no Exame Nacional do Ensino Médio dos alunos concluintes da Educação Básica no Brasil. Fonte: INEP, 2014.

Na figura 1 é possível perceber que o desempenho dos estudantes concluintes da Educação Básica (Ensino Médio) nas áreas das Ciências da Natureza e Suas Tecnologias não chegam a quinhentos (500) pontos de média geral, quando comparado com as outras áreas do conhecimento.

Além disso, quando olhamos para o desempenho, muito aquém do esperado, dos nossos estudantes nas avaliações internacionais e nacionais, tais como, *Programme for International Student Assessment* (*PISA*) em português, Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (ano de 2013), temos como reflexo da má qualidade da educação os seguintes dados: quase metade (49, 2 %) dos estudantes brasileiros não alcança o nível dois de desempenho na avaliação que tem nível seis como teto. Na área das Ciências, o Brasil ocupa o 59ª lugar do ranking com 65 países[2]. Como uma realidade pertencente não somente ao Brasil, no contexto internacional, esses dados se revelam como falta de interesse dos jovens para com

[1] Disponível em: http://educacao.estadao.com.br/noticias/geral,cai-rendimento-dos-alunos-do-enem-em-matematica-e-redacao,1619341. Acessado em 01 de julho de 2015.
[2] Disponível em: http://educacao.uol.com.br/noticias/2013/12/03/pisa-desempenho-do-brasil-piora-em-leitura-e-empaca-em-ciencias.htm. Acessado em 30 de julho de 2015.

as carreiras científicas (FOUREZ, 2003), bem como no baixo desempenho dos estudantes, em alguns casos, nos países considerados desenvolvidos, tais como Estados Unidos, dentre outros países da Europa e da Ásia (BYBEE; FUCHS, 2006).

Nessa perspectiva, fomentar as investigações sobre processo de ensino-aprendizagem, em ambientes reais de sala de aula, torna-se uma forma de problematizar o ensino de Ciências (Física), no intuito de tentar apontar os caminhos que favoreçam um maior aprendizado dos estudantes na formação escolar básica. A elaboração e implementação de propostas inovadoras para a atualização dos currículos de Física, bem como a superação das metodologias tradicionais, pode tornar-se um caminho muito promissor para a melhoria do ensino na Educação Básica.

Para tanto, levantamos os seguintes questionamentos: *Como desenvolver e implementar propostas inovadoras apoiadas em referenciais teórico-metodológicos reconhecidos pela literatura? Quais os resultados práticos que esse tipo de investigação nos permite alcançar para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais salas de aula*? Essas questões nos inquietam, pois refletem um pouco das nossas angústias sobre o cenário atual do ensino de Física no Brasil.

Todavia, surgem como desdobramentos motivadores que alimentam o nosso desejo de empreender uma investigação sistemática para compreender algumas questões a respeito do processo de ensino-aprendizagem e um pouco da atualização curricular de Física no Brasil e, mais especificamente, na região do Sul da Bahia.

Segundo Siqueira (2006), a atualização do currículo de Ciências, tanto aguardada por muitos educadores, vem sendo tema de discussão desde o final da década de 1980. Tais discussões indicaram algumas tendências e possibilidades de se obter esta atualização por meio de alguns caminhos possíveis, "*o ensino cognitivista, História e Filosofia da Ciência, inserção da Física Moderna e Contemporânea, Interdisciplinaridade e a abordagem do cotidiano dos alunos"* (SIQUEIRA, 2006, p.2) que emergiram como saídas viáveis para alcançá-la.

Destacaremos a atualização curricular por meio da inserção da Física Moderna e Contemporânea por acreditar nas potencialidades deste caminho para

inserir os jovens na “tão sonhada” “cultura científica e tecnológica” do mundo contemporânea (LIJSEN; KLAASSEN, 2004; MÉHEUT; PSILLOS, 2004; BROCKINGTON, 2005; SIQUEIRA, 2006; TIBERGHIEN *et al*., 2009; SOUSA, 2009; PIETROCOLA, 2010).

Levando em consideração os objetivos contidos nos documentos oficiais da educação brasileira, por exemplo, nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) no que dizem respeito a:

> Quando se toma como referência o “para que” ensinar Física, supõem-se que se esteja preparando o jovem para ser capaz de lidar com situações reais, crises de energia, problemas ambientais, manuais de aparelhos, concepções de universo, exames médicos, notícias de jornal, e assim por diante. Finalidades para o conhecimento a ser apreendido em Física que não se reduzem apenas a uma dimensão pragmática, de um saber fazer imediato, mas que devem ser concebidas dentro de uma concepção humanista abrangente, tão abrangente quanto o perfil do cidadão que se quer ajudar a construir. Esse objetivo mais amplo requer, sobretudo, que os jovens adquiram competências para lidar com as situações que vivenciam ou que venham a vivenciar no futuro, muitas delas novas e inéditas. (BRASIL, 1999, p. 58)

Ao analisarmos as condições e situações sociais, descritas no trecho extraído do PCNEM, como referências do “para que” ensinar Física, passamos a dimensionar a importância da atualização curricular por meio da inserção da Física Moderna e Contemporânea e o significado que o desenvolvimento de subsídios teórico-metodológicos adquire quanto promotores de um ensino-aprendizagem de Física que atenda, satisfatoriamente, essas demandas sociais. Mais especificamente, essas demandas sociais recaem, principalmente, sobre cenário da atualização curricular no Brasil e a falta de investigações do processo de ensino-aprendizagem em sala de aula (OSTERMAN; MOREIRA, 2000; PEREIRA; OSTERMAN, 2009).

Segundo a teoria de Chevallard (1991), *Ecologia Epistemológica do Conhecimento*, essas condições sociais tornam-se responsáveis pela existência e significado do saber de referência (saber da Física) a ensinar na sala de aula, pois só existirá se for estudado ou usado por grupos específicos, por exemplo, pesquisadores, professores e estudantes da Educação Básica interessados nas suas finalidades.

Objetivo geral.

Dentro do contexto das nossas questões de pesquisa, nosso objetivo geral vai na direção de desenvolver subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência dos tópicos de Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula.

Objetivos específicos.

De uma maneira específica, nossos objetivos são: (i) *buscar na literatura, justificativas que nos levam a escolha do tópico de Física Moderna e Contemporânea;* (ii) *avaliar por meio da teoria da Transposição Didática as potencialidade de sobrevivências do tópico escolhido, em ambientes reais de sala de aula;* (iii) *desenvolver uma sequência de ensino-aprendizagem utilizando uma teoria específica presente na literatura do ensino de Ciências, conhecida como Design-Based Research (DBR)- Pesquisa Baseada em Desenho.* O intuito é fornecer os subsídios teórico-metodológicos à comunidade do ensino de Física, como resultados práticos alcançados para tornar possível a atualização curricular do ensino de Física por meio dos tópicos de Física Moderna e Contemporânea.

Justificativa da Pesquisa.

Nossa pesquisa está fundamentada na teoria da Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991), na Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 1963; MOREIRA, 2011), na *Design-Based Research* (COLLECTIVE, 2003), e na Pesquisa de Desenvolvimento (LIJSEN; KLAASSEN, 2004), pois segundo Tiberghien *et al.* (2009) as duas primeiras teorias podem ser entendida como grandes teorias. Elas são responsáveis por guiar os pesquisadores do ensino de Ciências durante a incursão empreendida para transformar teorias filosóficas gerais (Sociológicas, Filosóficas, Antropológicas, Etnológicas, Psicológicas, dentre outras) em teorias específicas (*Design-Based Research;* Pesquisa de Desenvolvimento), cuja função é realizar o trabalho real (prático) de sala de aula, por meio do projeto da *Teaching-Learning Sequence* (TIBERGHIEN *et al*., 2009).

Nessa perspectiva, as teorias específicas emergem como saídas possíveis para tal empreendimento, umas vez que as grandes teorias não dão conta de fazer o trabalho prático em sala de aula (TIBERGHIEN *et al*., 2009).

Durante essa incursão, os pesquisadores, também chamados de *designers* da *Design-Based Research* (TIBERGHIEN *et al*., 2009), no intento de materializar a transformação das grandes teorias em teorias específicas, irão projetar as*Teaching-Learning Sequences*, os recursos pedagógicos ou recursos de ensino, tomando uma variedade de decisões relacionadas ao conteúdo específico ensinado, aos contextos sociais para a escolha do conteúdo, bem como seus principais aspectos estruturais, a ordem em que eles são apresentados e as estratégias instrucionais (LOPES *et al*., 2008).

Particularmente, essas decisões estão associadas ao tipo de atividade em classe, aos papéis de professores e estudantes, aos recursos pedagógicos, às várias possibilidades de organização da sala, à duração aproximada das atividades que, como componentes teóricas (TIBERGHIEN *etal*., 2009), passam a fundamentar a materialização do trabalho real em sala de aula e permitir um amplo debate científico acerca do status teórico da *Design-Based Research* como teoria específica para o projeto da *Teaching-Learning Sequence* (COLLECTIVE, 2003; MÈHEUT; PSILLOS, 2004).

CAPÍTULO 1- A ATUALIZAÇÃO CURRICULAR NO ENSINO DE FÍSICA COMO UMA NECESSIDADE PULSANTE.

1.1-Introdução.

Iniciamos nossas investigações sobre a atualização curricular olhando para a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) de 1996 que vinculou o Ensino Médio a Educação Básica no Brasil e, como consequência, por lei determinou que a Física Moderna devesse ser contemplada pelo currículo escolar neste nível de ensino (ARAUJO; DICKMAN, 2013). Como ganhos dessa obrigatoriedade, foram elaborados pelos órgãos competentes, as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio de 1998 (DCNEM), os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM, 2002) e as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN+) (BRASIL, 1999; BRASIL, 2002; BRASIL, 2006).

Segundo Cavalcante (2013):

> A partir de 1996, com a nova Lei, os níveis de ensino passam a ter uma nova estrutura, composta pela educação básica e pela educação superior. A educação básica é formada pela Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio. Cada nível de ensino tem uma finalidade própria e cada etapa do processo educativo contribui para a formação do homem de forma geral. (CAVALCANTE, 2013, p.20)

No que diz respeito ao ensino de Física, podemos acompanhar nos últimos anos uma conquista importante, ou seja, a produção e distribuição de livros didáticos gratuitos para o Ensino Médio, em todo o país, pelo antigo Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio de 2008 (PNLEM) (BATISTA; SIQUEIRA, 2011), como também pelo atual PNLD 2015.

No entanto, segundo Brockington:

> Com a liberação da estrutura curricular promovida pela LDB de 1996 foi possível assistir, nos últimos anos, a uma gradativa redução do número de aulas de Física. Hoje, com pouco mais de duas aulas semanais, nem mesmo a Física Clássica, que tem povoado os livros didáticos nos últimos 50 anos, pode ser mais amplamente ensinada no Ensino Médio. Assim, enquanto a pesquisa em Física avança vertiginosamente, a Física escolar retrocede ano após ano de modo que, às vezes, o curso do 1º ano restringe-se à cinemática e à dinâmica newtoniana. (BROCKINGTON, 2005, p.14)

Com as afirmações de Brockington (2005), percebemos que a atualização curricular torna-se, a cada dia, uma necessidade pulsante para Ensino Médio de Física, seja quando refletimos sobre a real situação da diminuição da carga horária de aulas e dos conteúdos ensinados, ou pelos desafios que as implicações de natureza sociais, políticas, econômicas, científicas, tecnológicas e ambientais impõem ao ensino de Ciências.

1.2- A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma breve revisão.

Os argumentos a favor da inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio ficaram, por um bom tempo, no plano das justificativas teóricas, ou seja, as "razões" e "finalidades" para atualização do currículo escolar objetivando tornar o ensino mais condizente com a realidade atual dos jovens e da sociedade em que vivem (TERRAZZAN, 1992).

Para as justificativas que vão em direção às "razões", encontramos muitos argumentos na literatura acerca da importância da atualização curricular. Nesse sentido, Terrazzan (1992. p. 211), com base nas discussões da literatura, reafirmou que *"não podíamos era esperar a entrada do século XXI para iniciarmos a discussão nas escolas da Física do século XX"*. Percebe-se, nesta afirmação, uma grande preocupação que nos aponta para uma realidade que, atualmente, ainda é sentida com muita veemência. O século XXI já iniciou, mas ainda continuamos ensinando Física do século XVI e XIX nas escolas.

Para Carvalho e Vannuchi (1997), o que deveria promover e influenciar a atualização dos currículos de Física no Ensino Médio deveria está relacionado com os grandes avanços conquistados por esta Ciência nas últimas décadas. Essas influências seriam, talvez, a porta de entrada para desfazer a contradição latente, entre a vivência em um mundo cercado de aparatos tecnológicos de últimas gerações e um ensino de Física praticada por Galileu Galilei (1564 - 1642), Isaac Newton (1643 -1727), Georg Simon Ohm (1789 - 1854), dentre outros.

Entre outras justificativas, para as "razões", encontram-se as que se preocupam com o reconhecimento da Física como construção humana (BROCKINGTON, 2005). Essas justificativas se baseiam na desmistificação da ideia de que a produção do conhecimento científico está restrita aos gênios e, não a

pessoas normais que, em processos colaborativos com outras, buscam responder os questionamentos que intrigam a humanidade.

Outros argumentos perpassam pelo interesse de promover uma aproximação dos jovens com as carreiras científicas (STANNARD, 1990; WILSON, 1992), enquanto, outras justificativas se preocupam com a difusão de uma imagem de Ciência, cuja ideia transmita o seu caráter modelador das visões de mundo da humanidade (FREIRE JR, 1997).

Para as justificativas que apontam na direção das “finalidades”, encontramos argumentos em Gil *et al*. (1987); Kalmus (1992); Swinbank (1992), Terrazzan (1992, 1994); Fagundes (1997); Pinto e Zanetic (1999), cujo destaque principal está atrelado à necessidade sentida pelos jovens para compreender suas situações cotidianas, cercadas por um apanhado de aparatos modernos e por exigências sociais do seu exercício pleno de cidadania.

Para Ostermann e Moreira (2000), a importância da atualização curricular do ensino de Física nos últimos 20 anos, tem se materializado na grande quantidade de trabalhos propostos em defesa da introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

Por sua vez, essa demanda crescente, surge como necessidade de promover um ensino de Física que contemple despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano, conhecer a Física além de 1900 e visualizar as articulações do conhecimento científico e seu cotidiano utilizando os conhecimentos de Física Moderna.

Segundo Machado e Nardi (2007), a atualização dos currículos de Física nas escolas torna-se necessária, pois deve atender uma exigência de formar cidadãos capazes de compreender as bases de inúmeras tecnologias presentes no dia-a-dia das pessoas, como também outros aspectos relacionados à compreensão da natureza em relação à ampliação do seu entendimento, desde o nível microscópico até a origem e evolução do universo.

Seguindo nesta linha de intencionalidade, compreendemos que a busca destes caminhos estão diretamente relacionadas ao desenvolvimento de novas propostas metodológicas para o ensino de Física. As preocupações com a atualização curricular por meio da inserção da Física Moderna e Contemporânea

passam a ser planificadas em questões acerca do “como”, e não mais, no “por que” ou “para que” inseri-la nos currículos de Física (BROKINGTON, 2005).

Pensando nas metodologias inovadoras sob a óptica do “como”, estamos nos apoiando em referenciais de educação que valorizam nas aulas de Física a mobilização dos estudantes para participar da construção do conhecimento (FREIRE, 1987); a não exaustão de aulas expositivas pelo professor, carregadas de expressões matemáticas (PIETROCOLA, 2010); o entendimento do professor como o mediador do processo de ensino-aprendizagem (MÉHEUT; PSILLOS, 2004) e a compreensão dos estudantes como sujeitos que carregam uma bagagem social e histórica determinantes para suas interpretações de mundo (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

No entanto, quando olhamos para a literatura do ensino de Física, poucas são as propostas encontradas que se apoiam em referenciais para a sua construção e preocupam-se no “como ensinar” os conteúdos (PEREIRA; OSTERMANN, 2009). Esses argumentos estão em pleno acordo com alguns estudos que revelam uma enorme carência de aplicações das propostas em sala de aula (TIMM, 2012) e materializam um pouco das nossas inquietações.

1.3- Por que o tópico radioatividade?

Na perspectiva de inserção da Física Moderna e Contemporânea no currículo escolar de Física, alguns trabalhos foram realizados com o objetivo de apresentar os possíveis tópicos que poderiam ser levados para a sala de aula.

Em contextos internacionais, Stannard (1990) relata, a partir de um levantamento com estudantes ingressantes das Universidades do Reino Unido, que os tópicos como relatividade restrita, partículas elementares, teoria quântica e astrofísica, estavam entre os que mais influenciavam os estudantes nas escolhas de carreiras científicas.

Em outro trabalho muito parecido, Kalmus (1992) mostrou que os calouros de Física do Reino Unido listaram por meio de um questionário e por ordem de preferência, os tópicos relatividade, astronomia e partículas elementares, como os mais influentes entre os outros, para a escolha de suas carreiras.

No contexto da pesquisa no ensino de Física nacional, Ostermann e Moreira (2000) relatam por meio de uma extensa pesquisa (entrevista com 54 físicos, 22 pesquisadores do ensino de Física e 22 professores do Ensino Médio) uma lista consensual sobre quais tópicos de Física Moderna e Contemporânea deveriam ser abordados no currículo, com intuito de atualizá-lo.

Os tópicos listados por esses autores foram: o efeito fotoelétrico, o átomo de Bohr, leis da conservação, **radioatividade**, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios-X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, big bang, estrutura molecular e fibras ópticas.

Com essa lista, Oliveira *et al.* (2007) ressaltam que o resultado da pesquisa de Ostermann e Moreira (2000) delimitou um quadro favorável em termos de quantidade e diversidade de tópicos de Física Moderna e Contemporânea que podem ser utilizados no currículo de Física do Ensino Médio. Isso pode ser entendido como a tradução da vontade própria da comunidade científica e dos professores sobre a importância desses tópicos em detrimento de outros.

Dessa forma, escolhemos o tópico **radioatividade**, devido suas infinidades de aplicações e implicações na sociedade, fins bélicos, contaminação radioativa em acidentes como, por exemplo, Goiânia em 1987, em Chernobyl em 1986, e mais recentemente, em Fukushima em 2011[3]; produção do conhecimento; produção de energia em larga escala; aplicações nas indústrias, na medicina e na agricultura, dentre outras.

O contexto local também serviu de justificativa, devido a existência de algumas discussões nos jornais televisivos e virtuais (site) [4] e os resultados das assembleias públicas sobre a implantação do Complexo Logístico Intermodal Porto Sul na cidade de Ilhéus-BA, as quais tinham o objetivo de esclarecer a população sobre os impactos ambientais causados pelo empreendimento na região, assim como o ganho em desenvolvimento com o empreendimento.

---

[3] Disponível em: http://noticias.uol.com.br/internacional/listas/top-10-os-maiores-acidentes-nucleares.jhtm. Acessado em 09 de dezembro de 2013.

[4] Disponível em: http://www.portalsuldabahia.com.br/index.php/tag/porto-sul/. Acessado em 09 de janeiro de 2015.

Essas implicações estão diretamente relacionadas com o tópico radioatividade, uma vez que todo minério de ferro será extraído de uma das maiores jazidas de urânio do mundo, localizado em Caetité-BA. Além disso, o elemento químico **Urânio** representa uma das principais fontes de produção de energia elétrica em larga escala e seu processo de enriquecimento está diretamente relacionado com as aplicações nas diversas áreas (agricultura, indústria, medicina e fins bélicos), bem como as suas diversas implicações. Por sua vez, isso possibilita elevar o tópico **radioatividade** para uma categoria dos conteúdos imprescindíveis para a atualização do currículo escolar de Física e justificar as investigações de cunho teórico-metodológicas para a sua sobrevivência em ambiente real de sala de aula.

Para entender a importância do tópico radioatividade no contexto social, político, econômico e ambiental da região, em termos de sala de aula, procuramos olhar para os documentos oficias da educação brasileira e para a literatura do ensino de Física, buscando indicativos que pudessem nos subsidiar.

Nos documentos oficiais da educação (PCNEM; PCN+), encontramos as orientações que visam o desenvolvimento de habilidades e competências dos jovens por meio do ensino de Física. Os significados dos conhecimentos adquiridos por eles, em um processo contínuo de compreensão sobre a construção humana do conhecimento científico e as implicações envolvendo a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade, são entendidos como condições sociais para que alcancem uma melhor qualidade de vida.

Em relação ao que o documento oficial (PCN+) chama de “Temas Estruturadores”, seis foram escolhidos para nortear a organização do ensino de Física e, entre eles, está o tema “Matéria e Radiações”. Apresentando-se segundo este documento (PCN+), como um tema em potencial para:

> Identificar diferentes tipos de radiação presentes na vida cotidiana, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético (das ondas de rádio aos raios gama) e sua utilização através de tecnologias a elas associadas (radar, rádio, forno de microondas, tomografias etc.) [...] Compreender os processos de interação das radiações com os meios materiais para explicar os fenômenos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, radiografias. (BRASIL, 2002, p.78)

Esses indicativos nos permitiram justificar a importância da nossa escolha e abrangência do assunto, quando pensamos, por exemplo, na História, compreensão histórica da divulgação científica das descobertas dos raios-X por Röntgen, influenciando rapidamente aos diagnósticos na medicina; na Biologia, efeitos nocivos da exposição excessiva das células aos raios-X na época (causa da morte) de Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), Marie Curie (1867-1934) e de vários outros cientistas, bem como na atualidade, aos riscos e benefícios da exposição a outros tipos de radiação, por exemplo, alfa, beta e gama, em acidentes como o de Fukushima em 2011.

Em termos de estratégias para implementar este tópico radioatividade em sala de aula do Ensino Médio, encontramos os trabalhos de Samagaia e Peduzzi (2004) que utilizam um módulo didático para desenvolver um jogo de papéis (RPG) com os estudantes, no contexto do projeto Manhattan de 1940 a 1945. Vasconcelos e Leão (2012) exploram a incorporação de vídeos no estudo das aplicações da radioatividade. Medeiros e Lobato (2010) investigam a contextualização da radioatividade por meio de um módulo didático. Por fim, Sorpreso e Almeida (2008; 2010) exploraram o conteúdo da radioatividade com a resolução de problemas e da abordagem da História da Ciência.

Esses estudos fundamentaram nossa investigação e apoiaram teoricamente a escolha do tópico **radioatividade**, pois apresentam, de forma significativa, sua importância para os contextos já explicitados e a necessidade de criação de subsídios teórico-metodológicos para sua sobrevivência em sala de aula.

Outras investigações contribuíram também com as orientações teórico-metodológicas importantes para o desenvolvimento do tópico. Dentre elas, destacamos os estudos de YANG e ANDERSON (2003), LIJSEN e KLAASSEN (2004), BROKINGTON (2005), OLIVEIRA (2006), SIQUEIRA (2006), SIQUEIRA e PIETROCOLA (2006), MACHADO e NARDI (2007), WU e TSAI (2007), SOUSA (2009), SILVA *et al*. (2012), TIMM (2012). Especificamente, o estudo de Lijsen e Klaassen (2004), além de indicar os procedimentos teórico-metodológicos para a elaboração da **sequência de ensino-aprendizagem** sobre o tópico **radioatividade**, forneceu fundamentações importantes para implementar, avaliar, reestrutura, implementar e avaliar novamente, no intuito de torná-la instrumento de transposição

didática dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea e subsidiar sua sobrevivência nas aulas de Física do Ensino Médio.

1.4- Conclusão.

Neste primeiro capítulo, procuramos apresentar os desafios para o ensino de Ciências, em especial, o de Física no Ensino Médio. Nossa hipótese para vencê-los, se baseia na superação da desatualização do ensino de Física e das metodologias tradicionais, por meio da inserção da Física Moderna e Contemporânea e do desenvolvimento de subsídios teórico-metodológicos para a melhoria do processo deensino-aprendizagem na formação educacional dos jovens.

Como passo importante, alcançamos o primeiro objetivo – (i) *buscar na literatura, justificativas que nos levam a escolha do tópico de Física Moderna e Contemporânea* - ao delimitar o tópico radioatividade, entre outros existentes da Física Moderna e Contemporânea, a partir dos trabalhos de Ostermann e Moreira (2000) e do contexto social, local, regional e global que as implicações de cunho científico e tecnológico exercem sobre o tópico em questão.

Juntamente com essas implicações, foram encontrados alguns estudos na literatura do ensino de Física que, além de fundamentar a escolha do tópico, serviram para iniciar as investigações do desenvolvimento dos subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência desse tópico em ambientes reais de sala de aula.

2- A TEORIA DA TRANSPOSIÇÃODIDÁTICA.

2.1- Introdução.

Yves Chevallard é um didata francês do campo do ensino da Matemática. Sua publicação mais difundida no Brasil é a tradução para o espanhol e o original em francês do livro *La Transposition Didactique,* uma versão ampliada da primeira edição de 1985 (LEITE, 2004).

Segundo Leite (2004), a primeira edição reunia notas para um curso de verão ministrado em 1980, as quais aparecem na edição de 1991 nos capítulos 1 a 8, bem como em um texto chamado *Por que a transposição didática?*

Originalmente, esse texto foi uma comunicação apresentada no Seminário de Didática e Pedagogia das Matemáticas na Universidade Científica e Médica de Grenoble para responder às críticas suscitadas pelas formulações apresentadas no curso de verão e difundidas, também, em encontros acadêmicos e publicações diversas (LEITE, 2004).

Na edição de 1991, Chevallard atualiza esse texto e acrescenta um estudo de caso, desenvolvido em parceria com Marie-Alberte Joshua, intitulado, *Um exemplo de análise de transposição didática*, cuja trajetória da noção matemática de distância é investigada desde sua proposição pelo matemático Maurice Fréchert em 1906 até sua incorporação em 1971 ao sistema de ensino fundamental francês (BROKINGTON, 2005).

2.2- O Conceito de Transposição Didática.

Segundo Chevallard (1991), o conceito de Transposição Didática (TD) abordado no seu livro "*La transposición didáctica: del saber sábio al saber enseñado*" tem origem a partir de diversos trabalhos apresentados em seminários, bem como outros tantos publicados (CHEVALLARD, 1991).

No entanto, o autor ressalta que o tema transposição didática antes de tornar-se um conceito, constituía-se em sua época, um campo muito novo da área da didática das Matemáticas. Portanto, despertava interesse de investigação entre os didatas, devido às suas múltiplas ambivalências.

O autor, na obra traduzida para o espanhol, relata que, como um fato notável, as discussões sobre o destino epistemológico do conceito, apesar de ter sua origem em análises didáticas precisas no campo do ensino das matemáticas (muito difundido e conhecido) ultrapassou suas barreiras e alcançou também a comunidade do ensino de Física. Esse alcance se tornou evidente, a partir da circulação da noção do conceito de Transposição Didática, principalmente, nos Institutos de Investigação do Ensino das Matemáticas (IREM).

Continuando com o destino epistemológico do conceito de Transposição Didática, Chevallard, antes de tratar efetivamente das suas implicações e críticas por parte da comunidade dos didatas, procurou chamar à atenção para a existência de uma Ciência que chamou de didática das matemáticas.

> […] convém partir de bem longe; a possibilidade mesma da existência de uma Ciência que chamamos *a didática das matemáticas*. Toda Ciência deve assumir, como primeira condição, pretender-se Ciência de um objeto, um objeto real, cuja existência é independente do objetivo que a transformará em um objeto do conhecimento, é uma posição materialista mínima. Nesse mesmo movimento, é preciso supor nesse objeto um determinismo próprio, "uma necessidade que a Ciência queira descobrir". Mas isso, que vale tanto para a psicanálise, por exemplo, como para a Física - não é óbvio quando encontramos com esse "objeto" que pretendemos de modo particular, como o sistema didático ou, mais amplamente, o sistema de ensino. (CHEVALLARD, 1991 p.18, tradução nossa).

Ao chamar atenção para a existência da didática das Matemáticas como uma Ciência, Chevallard demonstra uma preocupação com o surgimento dos problemas inerentes ao ensino da Matemática, sua compreensão de sistema didático e, mais amplamente, sistema de ensino, como "objeto" de investigação que se tornará um "objeto do conhecimento" (CHEVALLARD, 1991, p.18) por meio das investigações sobre o sistema didático, materializadas nas relações estabelecidas entre professor-saber-estudante.

Chevallard também faz uma comparação com outras Ciências, como a psicanálise e a Física, ao se referir aos seus métodos e "objetos" de investigação. Contudo, chama à atenção para a complexidade do encontro com esse "objeto" ao investigá-lo.

Para poder institucionalizar o sistema de ensino, como um objeto de investigação da didática das Matemáticas, Chevallard propõe a definição de sistema

didático como sendo uma relação ternária entre o professor o estudante e o saber matemático a ensinar:

> Mas, na verdade, o que é esse objeto? A didática da matemática se interessa no jogo que se realiza - tal como pode se observar, e depois reconstruir, em nossas aulas concretas – entre o professor, os estudantes e o saber matemático. Três lugares, então, é o sistema didático. Um relacionamento ternário: é a relação didática. Esta é a base do mecanismo pela qual a didática das matemáticas pode empreender, por tanto, a tarefa de pensar seu objeto. (CHEVALLARD, 1991 p.12, tradução nossa).

Ao expor a questão sobre a realidade do objeto de estudo e evidenciar a existência de uma relação ternária entre o professor (P), o estudante (E) e o saber matemático (S), Chevallard institui o caminho que a didática das Matemáticas poderia tomar para iniciar suas investigações. A materialização desse sistema didático é ilustrada na Figura 2.

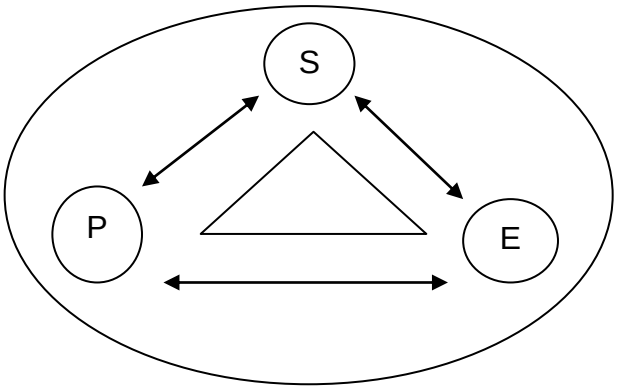


Figura 2. Ilustração nossa do sistema didático (CHEVALLARD, 1991 p.23).

Com o modelo teórico do sistema didático (Figura 2), Chevallard (1991) amplia suas discussões e esclarece as questões sobre o seu objeto de estudo para a sociedade que, segundo ele, era tradicionalmente marcada pela valorização da esfera de produções dos saberes e pelas proximidades entre os saberes ensinados e o saber de referência, o qual chamou de Saber Sábio.

Para Leite (2004), essa proximidade entre os saberes ensinados e o saber de referência era entendida por Chevallard como uma "ficção de identidade" - do saber ensinado com o saber sábio, também referido como "mito da conformidade" e, que por isso, era abalada pela teoria da Transposição Didática, de uma forma tal, que

“acabava comprometendo a própria identidade dos sujeitos dentro do sistema didático” (LEITE, 2004, p.51-52).

Essa distância apontada por Chevallard entre o saber sábio e o saber a ensinar não tinha o intuito de tecer qualquer tipo de juízo de valor, apenas demonstrava a existência do processo de Transposição Didática e seu papel estruturante na prática educativa. Não com a intenção de julgar se era positiva ou negativa, mas como necessária para entender essa distância, de uma forma não depreciativa do saber escolar, mas de reconhecer suas especificidades epistemológicas (CHEVALLARD, 1991).

Chevallard, com o objetivo de entender essas especificidades, utilizou o conceito epistemológico de “problemática” e o definiu como sendo um conjunto de questões que um determinado saber busca responder a partir de contextos e demandas igualmente diferenciadas e das diferenças entre os contextos de produção dos saberes e os das relações didáticas.

Para isso, postulou que, dentro dessas especificidades epistemológicas, a Transposição Didática pode ser definida como um processo em que um conteúdo de saber que tenha sido definido como **saber a ensinar** sofre um conjunto de transformações adaptativas que irão torná-lo apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino. “*O trabalho que faz de um objeto de saber a ensinar, um objeto de ensino é chamado de Transposição Didática”* (CHEVALLARD, 1991, p.39).

Todavia, essas adaptações não devem ser interpretadas como meras simplificações, pois o saber ao se transformar em **saber ensinado,** no contexto de sala de aula, ganha outra dimensão epistemológica com características do sistema didático que o aceita como "verdadeiro" e, por isso, não deve ser menos valorizado (ALVES-FILHO, 2000; BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005).

A Transposição Didática é desenvolvida a partir de uma problemática da didática das Matemáticas, no sentido de estabelecer uma compreensão dos mecanismos eventuais de constituição dos saberes ensinados. Para tal entendimento, possui três patamares, nos quais pode ser compreendida: o **saber sábio,** o **saber a ensinar** e o **saber ensinado**. Esses níveis possuem suas próprias identidades, caracterizadas por suas comunidades autônomas e por seus representantes, membros ou grupos.

O **saber sábio**, diz respeito ao saber original, tomado com referência para a formação da disciplina escolar. É forjado no interior da comunidade científica onde também sofre várias transformações até tornar-se público. Possui uma linguagem impessoal e depurada que não retrata as características históricas e epistemológicas da sua construção, nem do autor da sua produção.

Desta forma, o conhecimento sofre um processo de *descontextualização* (perda do contexto original) e *despersonalização* (um requisito da publicidade do saber). Como exemplo desta "*despersonalização",* Chevallard relata o caso da publicação da mecânica clássica de Isaac Newton na obra os *Principia,* fruto originário das pressões exercidas por sua comunidade acadêmica (CHEVALLARD, 1991).

Já o **saber a ensinar**, corresponde a uma primeira transformação do **saber sábio**. Esse processo é denominado por Chevallard (1991) de *Transposição Didática Externa* e pode ser compreendida pela materialização das produções de livros didáticos, manuais de ensino para a formação universitária e de professores do ensino médio. É reestruturado em uma linguagem adequada ao ensino, de uma forma lógica e atemporal. Tem como membros influentes os autores de livros didáticos, especialistas, professores, pesquisadores e a opinião pública em geral.

O **saber ensinado** é a segunda transformação sofrida pelo saber. Processo denominado de "*Transposição Didática Interna"* que ocorre no interior do sistema didático e sofre adaptações ao tempo didático (ajustes para o sequenciamento das aulas).

O professor é o principal responsável por adequar o conhecimento dos livros didáticos (**saber a ensinar**) para o saber que vai efetivamente para os estudantes, **saber ensinado**. Apesar disso, ao trabalhar na Transposição Didáticado **saber a ensinar** para o **saber ensinado**, o professor sofre várias influências e interferências internas e externas do ambiente escolar. Isso implica que outros interesses além dos seus sejam levados em consideração no processo.

Permeando esses três patamares há uma esfera de ação chamada de Noosfera, cujos protagonistas são formados por pessoas ou instituições sociais, econômicas e políticas que influenciam no sistema educacional e, consequentemente, nas transformações sofridas pelo saber (Figura3).

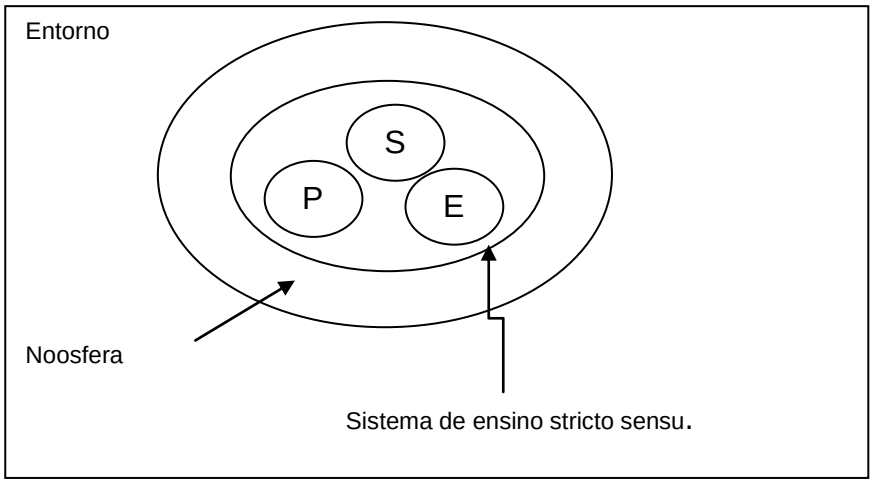


Figura 3. Sistema de Ensino Stricto Sensu. (CHEVALLARD, 1991, p.33)

Na figura 3, Chevallard (1991) afirma que a Noosfera é o centro operacional da Transposição Didática, pois é nela onde:

> Tenta-se delimitar as competências, as responsabilidades e os poderes de cada indivíduo que se encontram envolvidos nesse processo. É nela que se tenta definir os currículos face às necessidades, aos anseios da sociedade, fazendo o recorte do que se deve manter/levar do saber original e como operar a transformação dele para a sala de aula. A Noosfera é, dessa forma, o fio condutor da Transposição Didática. (CHEVALLARD, 1991, p.33)

A notoriedade da Noosfera é percebida a partir da **prática social de referência**, quando Martinand (2003) discute o problema da educação científica e tecnológica ocorrida nos países desenvolvidos, tal como a França, nos anos 70, em um contexto, cuja década tornou-se o palco da concepção, aplicação e avaliação de grandes projetos de inovação em educação científica e, mais tarde, em educação tecnológica.

Para Martinand (2003), a década de 1970, na França, foi marcada por novas propostas de renovação da educação científica a partir de atividades que sensibilizavam tanto as escolas equivalentes às séries iniciais e ensino fundamental aqui no Brasil, quanto às escolas do Ensino Médio, em relação ao ensino de ciências (Física).

Dessa forma, as práticas sociais de referências para a introduçãodo ensino de Ciências e da tecnologia sematerializavam, segundo Martinand (1981, p.144), em "*diferentes tipos de produções industriais ou artesanais, em pesquisas científicas, práticas domésticas, ideológicas e políticas"*.

Segundo Schivani (2014), Martinand idealizador do termo **prática social de referência**, considera que as atividades diversas, formais ou não, contando que sejam reconhecidas como tendo um papel ou uma função na sociedade, atividades acadêmicas, culturais (música, dança, dentre outras), limpeza, artesanais, construção civil, etc., servem de referências para a atividade científica e escolar que as examina e questiona seus métodos, problemas e saberes correspondentes.

Com isso, Martinand (2003, p.128) leva em consideração as práticas sociais de referência em todos os aspectos, incluindo seus componentes de saberes discursivos ou outros, *"explícitos ou implícitos, individuais ou coletivos, o significado e a estrutura dos saberes, inclusive os conceitos centrais da prática, mesmo que os objetos pareçam os mesmos".*

Com efeito, a **prática de social de referência** pode ser compreendida a partir do tópico radioatividade quando colocamos em evidência suas aplicações pela sociedade em diversos setores, tais como, produção de energia elétrica por meio das usinas nucleares, enriquecimento do urânio para fins farmacêuticos, industriais, bélicos e agrícolas. Portanto, o seu significado para o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio das escolas brasileiras, em especial, as do Sul da Bahia, ganham dimensões muito amplas, no que tange a importância deste tópico como saber de referência a ser ensinado em sala de aula.

Não obstante, Martinand lembra que no período de 1970, na França, surgiu uma necessidade de educação tecnológica na escola elementar e média, levando a uma forte solicitação de elaboração teórica de propostas com dois motivos principais, a saber:

> - um trabalho de concepção - aplicação - avaliação de projetos de atividade escolares, nas quais o esforço de descrição e, sobretudo, de invenção obrigou a explicitação das escolhas para os participantes compreenderem e permitir uma negociação (administradores, pais, professores).
>
> - uma reflexão sobre as condições, que em linguagem comum se chama a autenticidade científica ou tecnológica das atividades escolares. No mesmo momento, a renovação da formação profissional escolar conduziu a pensar essa formação em "unidades capitalizáveis", construídas a partir de referenciais (referência de emprego, referenciais de formação e referenciais de certificação). Havia uma ideia forte e justa (referência), mas de aplicação perigosa caso a ação educativa fosse pensada como uma conformação aos perfis de saída. (MARTINAND, 2003, p.126)

Os dois motivos principais apontados por Martinand nos ajudam a compreender a dimensão da Noosfera quanto zona de conflitos inevitáveis às transformações dos saberes observado pela teoria da Transposição Didática. Nela, tornam-se constantes as negociações entre os atores dos diferentes grupos sociais, tais como, autores de livros didáticos, políticos, professores, pais, especialistas, instituições e pesquisadores que, muitas vezes, dão significados diferentes a existência desses conhecimentos (TIBERGHIEN *et al*., 2009).

Esses atores que agem na Noosfera negociam seus interesses e pontos de vistas sobre qual **saber sábio** deve tornar-se **saber a ensinar** e com quais intencionalidades. Para Chevallard (1991), existem certas condições sociais para que um saber exista e, consequentemente, são negociadas pelo sistema educacional, pela comunidade científica e pela sociedade. Como resultado, levam às políticas públicas que definem os objetivos da educação e do currículo oficial.

Para Brockington (2005, p.395), "*o principal objetivo da noosfera é a otimização do ensino, buscando uma forma eficiente de conduzir o processo de ensino-aprendizagem".* O autor ressalta que ao fazermos uso da Transposição Didática como instrumento de análise pode-se obter indícios e características relevantes para que um determinado saber esteja presente nos livros didáticos e, consequentemente, nas salas de aula.

Quando olhamos para o tópico radioatividade, como parte do saber da Física Moderna e Contemporânea (MACHADO; NARDI, 2007), percebemos que ele está passando por um processo de negociação dentro da zona de conflitos (Noosfera) para atender o critério da característica **terapêutica** de Chevallard (SOUSA, 2009), pois desde o antigo Plano Nacional do Livro do Ensino Médio (PNLEM), instituído em 2008, até o atual Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2012 (MAXIMINIANO *et al*., 2013) e 2015[5] , este saber começou a ganhar espaço nos capítulos dos livros didático de Física.

Nessa perspectiva, Brockington (2005) afirma que:

> Esta análise indica características que, combinadas, definiriam a sobrevivência de um Saber que visa se tornar objeto de ensino. Embora possa ser tentador tomá-las como uma lista de atributos necessários ao Saber a Ensinar, deve-se ter em mente que se trata, na verdade, de uma

[5] Disponível em: http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/guias-do-pnld/item/5940-guia-pnld-2015. Acessado em 15 de setembro de 2015.

> gama de características **julgadas em conjunto** nas várias etapas do processo de transposição pelos atores envolvidos. (BROCKINGTON, 2005, p.395)

Chevallard (1991), ao discorrer sobre as necessidades que o saber necessita para sobreviver em sala de aula, definiu algumas características relevantes que o mesmo deve apresentar para permanecer no sistema didático, tais como: o saber deve se transformar em um saber **consensual**, ou seja, existe um status de "verdade" no saber que deve ser mantido quando este chega à sala de aula, para que o professor esteja seguro quanto à verdade do **saber a ensinar**. Para isso, elimina-se aquele saber que para a Ciência não é tido como **consensual** e para que os educandos não tenham dúvidas sobre os saberes aprendidos.

Do ponto de vista epistemológico, para ser considerado “verdadeiro”, o saber deve passar pelos crivos dos paradigmas científicos (KUHN, 2003). Como exemplos destes paradigmas, podemos citar as discussões da comunidade científica no início do século XX sobre a estrutura do átomo defendida por J. J. Thomson (1856-1940) e Ernest Rutherford (1871-1937).

Observando a forma **consensual**, por meio das práticas sociais de referência, podemos entendê-la a partir do que foi exposto por Martinand (2003) para designar os referenciais de emprego, de formação e de certificação da autenticidade científica e tecnológica das atividades escolares.

O critério de **atualização**, cuja transposição do saber dever buscar, apresenta-se pela forma da **atualidade moral**, ligada ao currículo, revelando-se na importância reconhecida pelos membros da Noosfera, em uma condição tal, que estando os pais envolvidos neste reconhecimento, o saber não pode tornar-se obsoleto. Isso implica na materialização do saber que os pais podem, por si só, ensinar aos seus filhos. Assim, o **saber a ensinar** deve estar em uma distância média entre o saber dos cientistas e o saber dos pais.

A outra forma do critério de **atualização** é apresentada pela **atualidade biológica**, ligada diretamente à área do conhecimento. O saber transposto deve estar de acordo com a Ciência vigente e os conceitos que foram superados pelo tempo devem ser ensinados em uma perspectiva histórica.

De certa forma, espera-se que seja feito um resgate do contexto de validade da produção do conhecimento em determinado tempo histórico, com o objetivo de

mostrar que os saberes podem assumir *status* de verdade temporal, mas ao longo do desenvolvimento da Ciência, certos saberes, como a teoria do átomo de Bohr perde esse *status*, porém, não deixam de fazer parte do processo de construção humana.

Não obstante, a partir da característica da **atualidade moral**, percebemos que o processo de inovação curricular e renovação da educação científica podem ser entendidos tanto pela Transposição Didática, quanto pelas práticas sociais de referências. Estas duas teorias se unem para identificar o saber sábio que se tornará saber a ensinar nos currículos escolares. Uma analisa o processo de adaptações do **saber sábio** até se tornar um saber a ensinar (Transposição Didática). A outra, em um momento de crise dos modelos tradicionais do ensino de Ciências (Martinand 2003; Fourez, 2003), surge como necessidade sentida por uma sociedade moderna e contemporânea, marcada pelas implicações da Ciência e a Tecnologia, em um período histórico e social ainda em curso.

Outro critério indicado pela Transposição Didática é o **Operacional**, cujo saber deve ser capaz de gerar sequências com atividades, exercícios, tarefas que tenham como meta a sua conceituação. Essa importante característica está ligada à avaliação que, habitualmente, estamos acostumados no atual sistema de ensino (PIETROCOLA, 2008). Saberes que não são capazes de proporcionar atividades e avaliações da aprendizagem dos educandos estarão vulneráveis ao fracasso (ALVES-FILHO, 2000).

A característica **Terapêutica**, cujo saber deve se adaptar ao sistema didático, pois só permanece na escola o saber que teve seus limites de certezas verificadas, aqueles que não o são, fica de fora. Essa caracterísitica prediz que o saber sobrevive quando consegue superar as vicissitudes do sistema didático e negociar com os interesses da sociedade como um todo (PIETROCOLA, 2008).

Essas adaptações ao sistema didático e as negociações de interesses podem ser compreendidas pelo papel da Noosfera anteriormente citado, bem como pelo significado que o saber adquire em diferentes grupos sociais (pesquisadores, professores, estudantes, dentre outros) (TIBERGHIENG *et al*., 2009). Já às vicissitudes do didático aparece como um obstáculo bastante desafiador, uma vez que para sobreviver, o saber deve mostrar-se imprescindível e prioritário, dentre outros a serem ensinados (BROCKINGTON, 2005).

Além dessas características estabelecidas por Chevallard (1991), Astolfi (1997), ao analisar o processo da Transposição Didática, estipula algumas regras.

A regra I - Modernização do saber escolar, associada a uma necessidade de legitimar o programa das disciplinas e garantir um lugar desagentes da Noosfera que percebem a necessidade de colocar em dia os conteúdos de eses saberes no currículo escolar - é realizada por especialistas do ensino visando aproximá-los dos conhecimentos acadêmicos (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006).

A regra II – Atualização do saber**,** durante o processo de atualização deve existir uma renovação, pois naturalmente os saberes em determinados tempos históricos deixam de ser atuais e envelhecem perante as exigências do sistema didático e da sociedade. O saber perde sua atualidade e deixa de ser reconhecido pelo saber original (saber sábio). Ao se distanciar do saber original se aproxima dos saberes dos pais, tornando-se banalizado (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006).

A regra III - Articulação do saber novo com o antigo, apresentado aos estudantes, o saber novo deve estabelecer uma articulação com o saber antigo sem negá-lo ou refutá-lo. Deve-se evitar nos educandos, a visão de que o novo saber escolar torna-se, ao longo dos anos, instável e, por isso, passível de substituição por um novo que virá sempre em seguida (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006).

A regra IV - Transformação de um saber em exercícios e problemas, esta regra reflete no elevado grau de importância do processo de transformação do saber e dar origem a um elo com as avaliações. Revela-se através do desenvolvimento de habilidades e competências que os educandos adquirem para resolver problemas e exercícios, cujas avaliações se resumem em certas ou erradas, a partir da valoração numérica dos resultados (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006).

A regra V - Tornar um conceito mais compreensível, para o saber tornar-se um conceito mais compreensível é necessário a criação de objetos didáticos que permitam a inserção de elementos facilitadores do aprendizado, uma espécie de linguagem apropriada, para facilitar a compreensão dos que ainda estão sendo

iniciados ao tipo de saber que se deseja ensinar (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006).

As características e regras apontadas por Chevallard e Astolfi constituem as categorias da Transposição Didática que nos permite analisar a sobrevivência dos saberes de referência (conhecimento de Física) no sistema didático (Figura 3).

A análise é realizada tanto a partir das condições sociais existentes no entorno da Noosfera, quanto a partir dos interesses próprios de cada grupo ou membro da própria Noosfera. No entanto, ao realizá-la, a Transposição Didática, como grande teoria sociológica do conhecimento (TIBERGHIEN *et al.,* 2009), não procura tecer juízo de valor sobre o saber em si, dizendo se ele é bom ou ruim, apenas indica, por meio dessas categorias, se o saber poderá permanecer na sala de aula e tornar-se um saber a ensinar.

Segundo Tiberghien *et al.* (2009), esse papel está diretamente relacionado com odiálogo da Transposição Didática com outros campos disciplinares. Sob nossa óptica, ao indicar as possibilidades de sobrevivência dos saberes da Física Moderna e Contemporânea no sistema didático, a Transposição Didática passa a despertar necessidades na comunidade do ensino de Física (pesquisadores e professores) para transformar as demandas teóricas, originadas das análises, em intervenções significativas para o processo de ensino-aprendizagem, dentro do próprio sistema didático.

No próximo tópico (2.3) mostraremos como as grandes teorias levam às teorias específicas e ao projeto de ferramentas metodológicas de intervenção.

2.3- Como as grandes teorias levam às teorias específicas.

Segundo Tiberghien *et al.* (2009), podemos entender como as grandes teorias levam a teorias específicas por meio do triângulo didático (Figura 4). Nos vértices do triângulo estão alocados os polos do conhecimento, do ensino e da aprendizagem. Cada um dos polos compartilham tanto as grandes teorias, quanto as teorias específicas.

As grandes teorias são, por exemplo, Sociológicas (CHEVALLARD, 1991); Sócio-Construtivista (VIGOTSKI, 1934; 1937; FREIRE, 1987); Epistemológica (BACHELLARD, 1979) dentre outras. Já as teorias específicas dependem

diretamente das escolhas específicas que cada pesquisador fará ao pensar no projeto de sequências de ensino-aprendizagem.

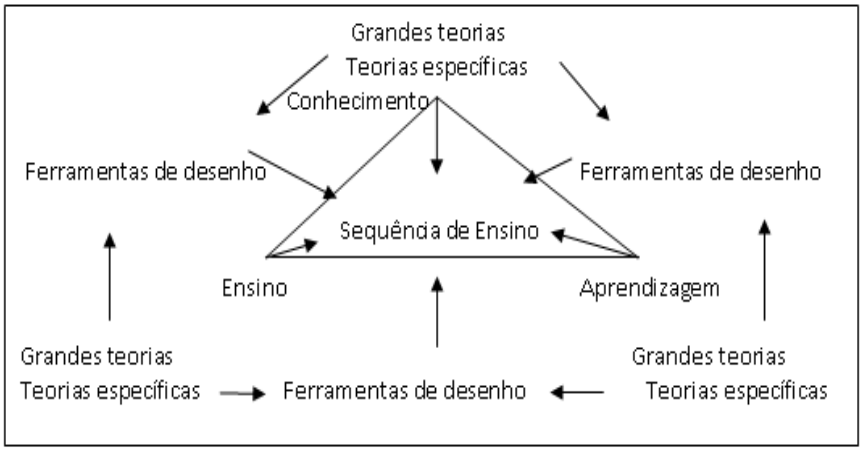


Figura 4. Estrutura geral da fundamentação teórica do caminho percorrido a partir das grandes teorias para as teorias específicas (TIBERGHIEN *et al*., 2009, p.2278) (tradução nossa).

Ao observarmos o triângulo didático (TIBERGHIEN *et al*., 2009) podemos fazer uma relação direta com o Sistema de Ensino (CHEVALLARD, 1991) mostrando que os vértices do **Ensino**, da **Aprendizagem** e do **Conhecimento** estão relacionados diretamente com o **Professor**, o **Estudante** e o **Saber**. Portanto, deixando claro uma coerência teórica muito importante para estabelecer as relações entre as grandes teorias e as teorias específicas para o projeto da *Teaching-Learning Sequence*.

Segundo Lopes *et al.* (2008), o trabalho para projetar sequências de ensino é diversificado, envolve uma variedade de decisões a serem tomadas relativas ao conteúdo específico de ensino, seus principais aspectos estruturais, a ordem na qual são introduzidos, as estratégias de ensino, dentre outros.

Essa diversificação para Tiberghien *et al.* (2009), diz respeito ao tipo de atividade em sala de aula, os respectivos papéis do professor e dos estudantes, os recursos de ensino, as várias possibilidades de organização da classe, a duração aproximada de cada atividade. Todos esses aspectos devem ser decididos levando em consideração o conteúdo específico a ser introduzido. Portanto, o quadro teórico (teorias específicas) que faz o trabalho real deve incluir uma variedade de componentes teóricas.

Tiberghien *et al.* (2009) ressaltam ainda que a maioria das grandes teorias envolvidas na concepção de recursos pedagógicos (sequências de ensino) enfatiza um dos três polos do triângulo, sem ignorar os outros existentes. Assim, ao percorrer o caminho das grandes teorias para as teorias específicas, caberá ao pesquisador realizar suas escolhas, produções explícitas e discutíveis, caso seja desejável. Podem construir os elementos teóricos e as ferramentas específicas para operar no trabalho prático de sala de aula (TIBERGHIEN *et al*., 2009). Para melhor ilustrar nossas escolhas apresentamos o nosso triângulo didático na (Figura 5).

Em nossa pesquisa a Transposição Didática, como grande teoria, ocupa dois polos do triângulo didático de Tiberghien *et al.* (2009). No polo do conhecimento tem a função de subsidiar a análise das condições existentes no currículo escolar de Física e nos documentos oficiais da educação brasileira para identificar suas influências sobre a sobrevivência do saber da Física Moderna e Contemporânea (FMC), mais especificamente, a radioatividade no Ensino Médio.

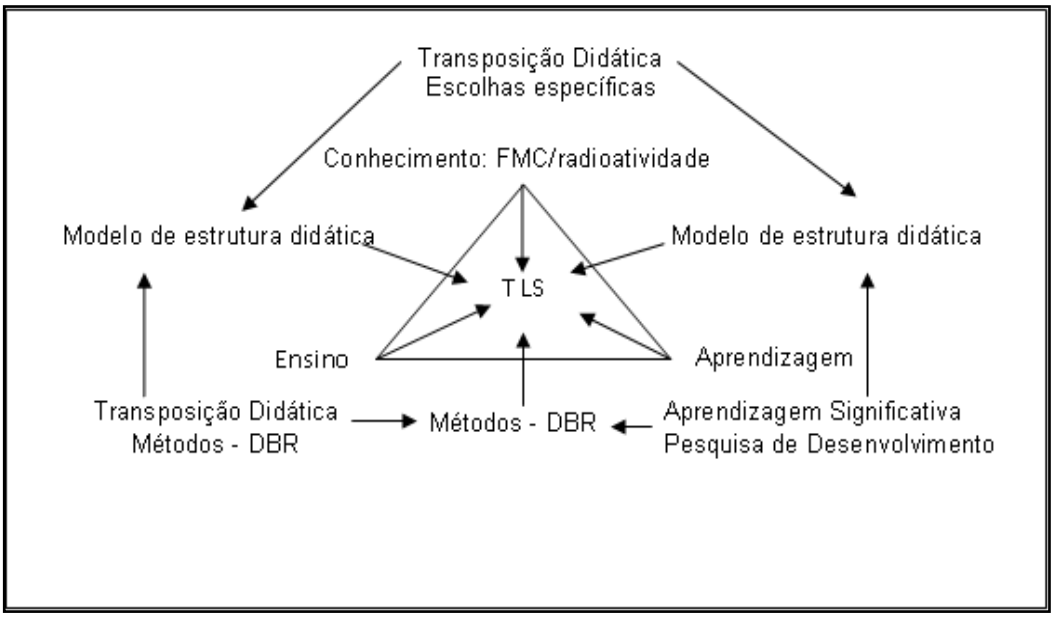


Figura 5. Nosso modelo teórico para o projeto da Sequência de ensino-aprendizagem sobre o tópico radioatividade. (produção nossa)

No polo do ensino, exerce uma ação conjunta com as escolhas específicas (Métodos-*DBR*), ou seja, pressupostos teórico-metodológicos da *Design-Based Research,* em português*,* Pesquisa Baseada em Desenho- adotados para o desenvolvimento e implementação da **sequência de ensino-aprendizagem** sobre o tópico **da radioatividade**. O conceito e o significado dos métodos-*DBR* serão aprofundados no capítulo 3.

Para o polo da aprendizagem, nossa grande teoria é a teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 1963; MOREIRA, 2011) e a teoria específica, o modelo teórico da “Pesquisa de Desenvolvimento” (LIJSEN; KLAASSEN, 2004) que serão aprofundados mais amplamente nos próximos capítulos.

As escolhas específicas associadas aos Métodos-*DBR* junto com a Transposição Didática (polo do ensino) apontam para as ferramentas de desenho (modelo de estrutura didática) (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

No polo da aprendizagem, a teoria da Aprendizagem Significativa junto com a Pesquisa de Desenvolvimento, além de apontarem para a mesma ferramenta de desenho (modelo da estrutura didática) auxilia-nos na avaliação dos dados obtidos durante o seu processo de avaliação.

Vale ressaltar que durante a avaliação da sequência de ensino-aprendizagem não faremos uso da teoria da Aprendizagem Significativa, no sentido de avaliar a aprendizagem dos estudantes, pois além de demandar um tempo maior (outro problema de pesquisa) estaria fora dos nossos objetivos. No entanto, o seu uso se faz necessário para caracterizar os fundamentos teóricos da sequência e seu estilo inovador quanto instrumento metodológico para o ensino dos tópicos da Física Moderna e Contemporânea presente no polo da aprendizagem do nosso triangulo didático.

Na próxima seção buscaremos contemplar o segundo objetivo da pesquisa, (*ii) avaliar por meio da teoria da Transposição Didática as potencialidades de sobrevivência do tópico escolhido, em ambientes reais de sala de aula,* para, no capítulo seguinte, aprofundar as escolhas e teorias específicas para o projeto da sequência.

2.4- Categorias Metodológicas de Análise: um olhar para o tópico radioatividade.

Utilizamos como categorias metodológicas de análise as características e regras da Transposição Didática explicitada na sessão 2.2 para analisar as condições de sobrevivência do tópico radioatividade no sistema didático e alcançar o segundo objetivo da nossa pesquisa.

Buscou-se avaliar na literatura do ensino Física, bem como nos documentos oficiais da educação brasileira, as condições teóricas que dão subsídios para que o tópico radioatividade venha a se tornar um saber a ensinar nas aulas de Física do Ensino Médio. À medida que esses subsídios teóricos foram sendo encontrados, procuramos enquadrá-los de maneira a atender às características e regras da teoria da Transposição Didática.

2.4.1- Análise por meio das características da Transposição Didática.

Ao analisarmos as justificativas teóricas encontradas na literatura do ensino de Física e nos documentos oficiais, sob a lente da característica **consensual,** podemos afirmar que, pelos crivos da comunidade científica, o tópico radioatividade tem seu status de "verdade momentânea" estabelecido, pois faz parte dos conhecimentos da Física nuclear, atualmente aceitos, para explicar uma variedade de fenômenos físicos envolvendo energias da ordem de 0 a 400 MeV (MeV = Mega elétrons-Volts) (CHUNG, 2001).

Segundo Sousa (2009) o tópico radioatividade é um saber que atende a característica consensual pelo seguinte motivo:

> Atualmente, a Física das radiações encontra-se bem estruturada e solidificada, utilizando-se dos conceitos da teoria do Eletromagnetismo de Maxwell (Modelo Ondulatório) e da Teoria dos Quanta de Planck e Einstein (Modelo Corpuscular). Essas teorias se complementam uma vez que justificam, por exemplo, o caráter de dualidade da luz, sendo considerado pela comunidade científica como modelos consolidados, um saber verdadeiro, o que caracteriza um saber consensual. (SOUSA, 2009, p.48)

Após muitos anos de negociação entre os membros da nossa Noosfera (governo, pesquisadores, autores de livros didáticos, professores, pais e outros) este saber, no âmbito dos currículos escolares brasileiros, vem sendo amplamente reconhecido (infindáveis contribuições das pesquisas do ensino de Física devido sua importância) e tem ganhado, gradativamente, espaço, principalmente, nos livros didáticos de Física do Ensino Médio, com a implantação do antigo Plano Nacional do Livro Ensino Médio de 2008 (PNLEM) e pelo vigente Plano Nacional do Livro Didático de 2012 (DOMINGUINI, 2010a; 2010b; 2011; 2012; MAXIMIANO *et al*., 2013) e 2015[6].

[6] Disponível em: http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/guias-do-pnld/item/5940-guia-pnld-2015. Acessado em 15 de setembro de 2015.

Na figura 6, a seguir, são apresentados como estão estruturados os conteúdos da Física Moderna e Contemporânea nos livros didáticos de Física aprovados pelo PNLD em 2012 (MAXIMIANO *et al*., 2013). Por sua vez, o tópico radioatividade aparece, principalmente, como tópicos da Física Moderna, ou como subtema do conteúdo Matéria e radiação, Radiação ou Átomos e Núcleos, como apresentados na coluna três (3) e oito (8) da esquerda para a direita (Figura 6).

Tabela 1: Estruturação dos conteúdos de física moderna nos Livros Didáticos do PNLD 2012

Livro	Nº de Volumes	Forma de Apresentação	Descrição do Tópico	Localização	Ano Escolar	Proposto Como	Tópicos Abordados
Pietrocola *et al* (2010)	03	Textos dispersos ao longo do livro e unidade específica	Radiação e Matéria	Última Unidade	3° Ano do Ensino Médio	Conteúdo	Teoria da Relatividade Mecânica Quântica Física Nuclear
Máximo e Alvarenga (2010)	03	Textos dispersos ao longo do livro e unidade específica	Física Contemporânea	Última Unidade	3° Ano do Ensino Médio	Conteúdo	Teoria da Relatividade Mecânica Quântica Física Nuclear
Gonçalves Filho e Toscano (2010)	03	Textos dispersos ao longo do livro e Capítulo específico	Tópicos de Física Moderna	Último Capítulo	3° Ano do Ensino Médio	Conteúdo	O autor relaciona tópicos de Física Moderna por meio de tecnologias atuais
Fuke e Yamamoto (2010)	03	Textos dispersos ao longo do livro e Unidade Específica	Física Moderna	Última Unidade	3° Ano do Ensino Médio	Conteúdo	Teoria da Relatividade Mecânica Quântica Física Nuclear
Torres, Ferraro e Soares (2010)	03	Textos dispersos ao longo do livro e Unidade Específica	Física Moderna e contemporânea	Última Unidade	3° Ano do Ensino Médio	Conteúdo	Teoria da Relatividade Mecânica Quântica Física Nuclear
Biscuola, Villas Bôas e Doca (2010)	03	Textos dispersos ao longo do livro e Unidade Específica	Física Moderna	Última Unidade	3° Ano do Ensino Médio	Conteúdo	Teoria da Relatividade Mecânica Quântica
Sant'Anna *et al* (2010)	03	Textos dispersos ao longo do livro e Unidade Específica	Questões da Física do Século XXI	Última Unidade	3° Ano do Ensino Médio	Conteúdo	Teoria da Relatividade Mecânica Quântica Física Nuclear
Gaspar (2010)	03	Textos dispersos ao longo do livro e Capítulos específicos	-	Últimos Capítulos	3° Ano do Ensino Médio	Conteúdo	Teoria da Relatividade Mecânica Quântica Física Nuclear
Kantor *et al* (2010)	03	Textos dispersos ao longo do livro e Unidade Específica	Radiações, Materiais, Átomos e Núcleos	Ao longo de todo o livro	3° Ano do Ensino Médio	Conteúdo	Teoria da Relatividade Mecânica Quântica Física Nuclear
Barreto Filho e Silva (2010)	03	Textos dispersos ao longo do livro e Capítulos específicos	Física Moderna	Última Unidade	3° Ano do Ensino Médio	Conteúdo	Teoria da Relatividade Mecânica Quântica Física Nuclear

Figura 6. Estruturação dos conteúdos da Física Moderna e Contemporânea nos livros didáticos de Física do Ensino Médio (MAXMINIANO *et al*., 2013, p.101-103).

Na perspectiva das contribuições das pesquisas do ensino de Física (SILVA, 2011; DOMINGUINI, 2010a; 2010b; 2011; 2012) têm focado suas investigações, acerca da estruturação dos conteúdos da Física Moderna e Contemporânea nos livros didáticos,enquanto outros autores (OLIVEIRA *et al*., 2007; LEVIN, 2007;

KARAM *et al*., 2006a; 2007b; PENA, 2006) têm focado, assim como nós, na própria inserção.

Ao fazer um contraponto entre os livros de Física aprovados pelo PNLEM 2008 e PNLD 2012, Maximiano *et al.* (2013) concluíram que os autores dos livros didáticos estão se empenhando bastante para contemplar a inserção da Física Moderna e Contemporânea nos currículos. Portanto, como a Física Nuclear é um dos saberes da Física Moderna e Contemporânea (MACHADO; NARDI, 2007) podemos aferir que há um consenso (**consensual**) em levá-la para a sala de aula. Portanto, por essa característica, o tópico radioatividade tem sua primeira indicação para se tornar um saber a ensinar nas aulas de Física do Ensino Médio e sobreviver no sistema didático**.**

Não obstante, a necessidade de legitimar e garantir um lugar deste saber no currículo escolar é materializado tanto pelas infindáveis contribuições das pesquisas do ensino de Física, quanto pelo programa de Estado (PNLD). Quando avaliamos a sobrevivência do tópico radioatividade por meio da característica da **atualização moral**, podemos afirmar que as mesmas fundamentações teóricas encontradas para contemplar a característica **consensual**, podem ser compartilhadas. Além disso, este saber, no momento, não se encontra obsoleto, para que possa ser ensinado pelos pais dos estudantes, mas pelo contrário, encontra-se, ainda, a uma distância muito mais próxima dos cientistas do que dos pais.

A **atualização moral** é percebida claramente no tópico radioatividade, devido sua importância para compreender um pouco mais sobre as radiações, sua interação com a matéria (efeito fotoelétrico), bem como o entendimento maior de aparelhos, células fotovoltaicas presentes nos elevadores e placas solares. Além disso, é nítida a necessidade de diversos grupos sociais, sejam eles ou não cientistas, em compreender a radiação, especialmente ao se olhar para suas aplicações na sociedade, indo desde o uso pelos meios de comunicação (celular), diagnósticos médicos, esterilização de alimentos, até a produção de energia elétrica em larga escala em usinas nucleares.

Hoje há uma infinidade de utilização da radiação nos diversos campos da sociedade, desde da indústria agrícola, mecânica, espacial, bélica, farmacêutica, aeronáutica até a indústria da informação que, por si só, justificam a necessidade deste saber estar presente na sala de aula, pois se mostra como um saber

necessário às práticas sociais de referências e importante a ser transmitido para as gerações futuras (DOMINGUINI, 2011) por meio do ensino de Física.

Buscando contemplar a característica da **atualidade biológica** - ligada a sua área de conhecimento, cujo saber transposto deve estar de acordo com a Ciência vigente e, os conceitos que foram superados pelo tempo, devem ser ensinados apenas em uma perspectiva histórica- vamos buscar evidências no que descreve Chung (2001) em seu livro Introdução a Física Nuclear:

> A física nuclear é uma importante área da Física contemporânea. Não só porque ela constitui um rico campo de aplicações das ideias quânticas, como principalmente porque oferece uma gama de fenômenos, cujo estudo e entendimento afetaram e continuam afetando crucialmente o dia a dia de todos nós (CHUNG, 2001, p.1).

Com base nas afirmações de Chung (2001), percebemos que não existe dúvida quanto a **atualidade biológica** deste saber, pois sua abrangência para diversos campos de aplicações, principalmente para o mundo microscópico do universo da Física Quântica, o elevam a uma categoria de conhecimento científico ainda em fases de estudos, portanto, sob a perspectiva desta característica, o tópico radioatividade se mostra apto a tornar-se uma saber a ensinar.

Completando os argumentos de Chung (2001), Sousa (2009) ressalta que o saber Física Nuclear traz uma atualização para a sala de aula ao proporcionar uma nova visão da natureza, teoria quântica da estrutura da matéria. Nessa atualização, encontra-se a atualidade biológica, pois os conceitos que foram superados (visão clássica da matéria) acabam sendo apenas retomados, muitas vezes, por uma questão histórica, ou seja, evolução dos modelos atômicos, justificando a inserção do novo modelo na visão moderna.

Por sua vez, a Ciência vigente utiliza os conhecimentos do tópico radioatividade para realizar suas pesquisas, buscando principalmente aplicações para tratamento médico, como no caso de diagnóstico utilizando elementos radioativos (marcadores em exames de contraste).

Ao analisar o tópico radioatividade tendo como referência a característica **operacional** - cujo saber deve ser capaz de gerar sequências com atividades, exercícios, tarefas que tenham como meta a sua conceituação, criando uma ligação direta com a avaliação - podemos dizer, com base nas atividades e exercícios

presentes nos livros didáticos aprovados pelo PNLD, que o tópico radioatividade é capaz de gerar sequências e atividades, tarefas e exercícios para a sua conceituação e, com isso, permitir dentro do sistema didático que sejam utilizadas como instrumentos de avaliação.

Apesar de não podermos afirmar que esses argumentos são suficientes para que o tópico venha a se tornar um saber a ensinar no sistema didático, podemos dizer que ele possui indícios significativos.

Para a característica da **criatividade didática** - criação de atividades de uso exclusivo da escola, objetos que não possuem similares no **saber sábio**, criações que tem existência garantida somente na sala de aula- observamos que o tópico radioatividade proporciona o uso de atividades didáticas importantes, relacionadas à *instabilidade nuclear*, aos *decaimentos radioativos, a datação por carbono e ao período de meia-vida* dos elementos químicos radioativos, que facilitam a compreensão dos estudantes acerca de alguns conceitos deste saber, tais como de radiação eletromagnética (radiação gama); transmutação nuclear (transformação de um elemento químico em outro, pelo processo de emissão de radiação, em forma de partículas alfa ou beta), bem como o caráter próprio da dualidade onda partícula (radiação alfa e beta e radiação gama) as primeiras como partícula e a segunda como onda eletromagnética.

Já para a característica **terapêutica**- o saber deve se adaptar ao sistema didático, pois só permanece na escola, o que teve seus limites de certezas verificadas, ou seja, aqueles que não o são ficam de fora- o tópico radioatividade, no momento, não apresenta condições de ser analisado pela característica terapêutica, pois, como saber que está, gradativamente, sendo contemplando pelo currículo escolar de Física, ainda terá seus limites de certeza verificados pelo sistema didático. Porém, podemos dizer que por estar sendo contemplado, isso pode ser visto como um grande passo rumo à contemplação dessa característica.

2.4.2- Análise por meio das regras da Transposição Didática.

Para analisar os subsídios teóricos existentes na literatura do ensino de Física e nos documentos oficiais da educação brasileira, por meio das regras apontadas por Astolfi (1997), utilizaremos os mesmos critérios abordados na análise realizada pelas características apontadas por Chevallard (1991).

Assim, olhando para a regra I, **modernização do saber escolar** - associada à necessidade de legitimar o programa das disciplinas e garantir um lugar desses saberes no currículo escolar- percebemos que o tópico radioatividade tem potencialidade para fazer parte dos saberes modernos, pois recebe um amparo nos vários indícios de sua importância, como **saber a ensinar**. Uma indicação pode ser vista nos documentos oficiais da educação de nosso país, LDB, DCNEM, PCNEM, PCN+. Em um desses documentos, o PCN+, identificamos o tema “Matéria e Radiação” e sua importância para:

> Identificar diferentes tipos de radiação presentes na vida cotidiana, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético (das ondas de rádio aos raios gama) e sua utilização através de tecnologias a elas associadas (radar, rádio, forno de microondas, tomografias etc.) [...] Compreender os processos de interação das radiações com os meios materiais para explicar os fenômenos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, radiografias. (BRASIL, 2002, p.78)

Olhando para o tópico radioatividade a partir daregra II- **atualização do saber** em que deve existir uma renovação, pois naturalmente os saberes em determinados tempos históricos deixam de ser atuais e envelhecem perante as exigências do sistema didático e a sociedade- buscamos evidências da atualização deste saber a partir de Chung (2001), quando relata sobre a natureza da força nuclear:

> Infelizmente, até hoje, não temos uma teoria simples que nos forneça uma expressão matemática para essa força nuclear. Em outras palavras, apesar de tudo que já se conhece dos núcleos (e não é pouco!), não sabemos ainda como descrever matematicamente a interação forte fundamental. (CHUNG, 2001, p.2)

Do exposto acima, percebemos que nosso tópico tem se constituído um campo de investigação muito produtivo, porém inacabado, do ponto de vista científico, portanto, é um saber que tem buscado em suas bases fundamentais a atualização requerida pela regra II.

Sob o ponto de vista das implicações sociais, políticas, econômicas e tecnológicas, apresenta sua atualidade (regra II), a partir das necessidades sentidas pela sociedade quanto conhecimento necessário para lidar com os impactos gerados, por exemplo, em acidentes como o de Fukushima, sobre as discussões governamentais dos destinos de resíduos nucleares (lixo atômico) provenientes da produção de energia elétrica e as preocupações sociais da humanidade em situações de guerras.

Sob a lente da regra III- **articulação do saber novo com o antigo**, em que o saber novo, quando apresentado aos estudantes, deve estabelecer uma articulação com antigo, de forma a não negá-lo ou refutá-lo, evitando nos educandos a visão de que o novo torna-se ao longo dos anos instáveis e, por isso, passível de substituição por outro que virá sempre em seguida. Podemos citar, por exemplo, as antigas teorias do modelo atômico de John Dalton (1766-1844) (meados do século XVIII), depois, início do século XX, modelo atômico de Ernest Rutherford (1871-1937) (PESSOA*et al*., 1978) e o mais atual, modelo de Bohr-Sommerfeld, para mostrar, em uma retrospectiva histórica de ideias, como os conhecimentos e conceitos científicos fazem parte da construção humana.

Mesmo não podendo afirmar que isso seria suficiente para que o tópico radioatividade venha a se tornar um saber a ensinar, há indícios que é possível, de forma satisfatória, passar pelos crivos das características e regras da Transposição Didática.

Sob a lente da regra IV- **transformação de um saber em exercícios e problemas**, a qual reflete no elevado grau de importância do processo de transformação do saber, dando origem a um elo com as avaliações e revelando-se por meio do desenvolvimento de habilidades e competências que os educandos adquirem para resolver problemas e exercícios - podemos usar os mesmos argumentos da característica **operacional**, para mostrar que o saber também contempla a regra IV e, por isso, está também amparado.

Analisando-o pela regra V - **tornar um conceito mais compreensível**, criações de objetos didáticos que permitam a inserção de elementos facilitadores do aprendizado- podemos buscar nos livros didáticos de Física aprovados pelo PNLD exemplos de atividades relacionadas aos decaimentos radioativos e da instabilidade nuclear que foram adaptadas e utilizadas na sequência de ensino-aprendizagem implementada, como elementos facilitadores do conceito de transmutação nuclear e decaimento radioativo.

2.5- Conclusão.

A análise do tópico radioatividade a partir das características apontadas por Chevallard (1991) e as regras de Astolfi (1997), como critérios necessários a serem contemplados pelo saber a ensinar, podemos perceber que, entre todas as

características e regras, apenas a característica **terapêutica** não pode ser correspondida no momento. Para essa característica, o saber evidenciou por meio da literatura que, à medida que vai sendo inserido no currículo escolar, poderá futuramente contemplá-la.

Esses resultados também nos permitiram: (i) olhar para a sobrevivência do tópico radioatividade a partir das condições sociais existentes na literatura; (ii) transformar suas demandas teóricas em intervenções práticas reais de sala de aula, com o projeto da sequência de ensino-aprendizagem sobre o tópico radioatividade e (iii) investigar a implementação da sequência de ensino-aprendizagem e sua validação quanto instrumento de Transposição Didática, no intuito de fornecer subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência dos saberes da Física Moderna e Contemporânea no sistema didático e, mais precisamente, nas aulas de Física do Ensino Médio.

3- MARCADORES TEÓRICOS PARA O PROJETO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM.

Vimos no capítulo 2 como a grande teoria da Transposição Didática, situada no polo do conhecimento e do ensino (triângulo didático) nos permitiu avaliar as condições existentes na literatura do ensino de Física e dos documentos oficiais da educação para a sobrevivência do tópico radioatividade no currículo escolar de Física.

Neste capítulo, vamos delinear as relações entre a grande teoria, Aprendizagem Significativa e as teorias específicas, Métodos-*DBR* e Pesquisa de Desenvolvimento, nos polos do ensino e da aprendizagem (triângulo didático) para mostrar como essas relações levaram às nossas ferramentas de desenho (modelo de estrutura didática) (LIJSEN; KLAASSEN, 2004) e permitiram o desenho da nossa sequência de ensino-aprendizagem.

Para isso, abordaremos os aspectos teóricos da Aprendizagem Significativa sobre os quais nossas ideias para o projeto se fundamentam. Em seguida, traçaremos as relações entre as escolhas específicas (Métodos-*DBR*) e a teoria específica (Pesquisa de Desenvolvimento) e suas ferramentas de desenho (modelo de estrutura didática), no intuito de alcançar o terceiro objetivo desta pesquisa - elaboração da sequência de ensino-aprendizagem.

Em linhas gerais, a Aprendizagem Significativa, como teoria educacional, foi proposta pelo professor, psicólogo e médico David Ausubel (1918-2008) em 1963 (AUSUBEL, 1963), cujo legado está associado aos trabalhos realizados durante sua vida acadêmica sobre o desenvolvimento de uma visão cognitiva à Psicologia Educacional (MOREIRA, 2011). Por sua vez, está descrita com base na obra mais recente de David Ausubel, *"The acquisition and retetion of knowledge: a cognitive view"* (Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva), publicada em 2003 e amplamente difundida pelos seus seguidores NOVAK e GOWIN, 1968; MOREIRA e MASINI, 2006; MISANI e MOREIRA, 2008; VALADARES e MOREIRA, 2009, dentre outros.

Basicamente, a Aprendizagem Significativa pode ser definida como:

> A aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé da letra e, não-arbitrária, significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende (MOREIRA, 2011, p.13).

Da definição percebemos duas premissas importantes que consideramos para o nosso projeto. A primeira (a), apoiada na interação simbólica de ideias sobre o conhecimento científico aceito, por um grupo ou comunidade, com as ideias prévias dos estudantes sobre esse mesmo conhecimento. A segunda (b), do ponto de vista substantivo, *não-literal* e *não-arbitrário*, as ideias prévias não podem ser quaisquer, mas sim um conhecimento especificamente relevante que se torne um caminho para uma nova aprendizagem.

David Ausubel, ao propor sua teoria, chamou esse conhecimento especificamente relevante de *subsunçores ou ideia-âncora* (MOREIRA, 2011 p.14), que pode ser expressa por meio de um símbolo, um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem, dentre outros recursos linguísticos (MOREIRA, 2011).

Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico que existe na estrutura de conhecimentos do indivíduo, permitindo-o dar significado a um novo conhecimento, quando este lhe é apresentado ou por ele descoberto (MOREIRA, 2011). Para nós será nossa principal fundamentação na análise das respostas dos estudantes aos questionários iniciais sobre os conhecimentos prévios relacionados ao tópico da radioatividade no início da implementação da sequência e durante todas as atividades desenvolvidas.

Como um bom exemplo de subsunçor, Moreira (2011) cita o caso da resolução de problemas de Física pelos estudantes que conhecem a lei da Conservação de Energia e a aplicam para resolver problemas em que há transformação de energia potencial em energia cinética. Isso só se dá segundo o autor, pois os estudantes têm um conhecimento prévio que é a lei da conservação da energia e, logo, por estar mais claro e estável na sua estrutura cognitiva, podem utilizá-lo para aprender novos conhecimentos.

Segundo Moreira (2011), por meio desse subsunçor, os estudantes podem dar significados ao acessá-lo para interpretar novos conhecimentos como a conservação de fenômenos térmicos (Primeira lei da Termodinâmica), da Quantidade de Movimento, do Momento angular, da carga elétrica, bem como de outras grandezas física (MOREIRA, 2011).

Outro exemplo exposto por Moreira (2011) se encaixa perfeitamente em nosso tema radioatividade, pois diz respeito ao conceito de força que o estudante tem desde criança, com significado associado a um puxão, um empurrão, um esforço físico, etc. Contudo, à medida que, na escola, nas aulas de Ciências (Física), aprende, a partir deste subsunçor, que existe na natureza outros tipos de força (gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca) o subsunçor força passa a adquirir novos significados, tornando-se mais rico e claro na estrutura cognitiva do estudante.

Esses exemplos não podem levar a ideia de que um subsunçor é um conceito, mas sim um conhecimento estabelecido na estrutura cognitiva do sujeito que aprende e que permite, por meio da interação, dar significado a novos conhecimentos (MOREIRA, 2011).

Dentro da teoria da Aprendizagem Significativa, são duas a condições para que o sujeito aprenda um novo conhecimento. A primeira, "*o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo"* (MOREIRA, 2011, p.24) e a segunda, "*o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender"* (MOREIRA, 2011, p.24). Essas condições implicam em aulas, livros, atividades, aplicativos potencialmente significativos e na existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes por parte dos estudantes com os quais esses materiais possam ser relacionados (MOREIRA, 2011).

Por sua vez, essas duas características serão nossas principais referências para avaliar as potencialidades das atividades presentes na sequência quanto meios facilitadores da interação simbólica entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os novos conhecimentos sobre a radioatividade.

Em conformidade com a premissa dos conhecimentos prévios especificamente relevantes, Lijsen e Klaassen (2004) afirmam que todo o projeto de sequência de ensino-aprendizagem deve iniciar levando em consideração os

conhecimentos prévios dos estudantes e seus interesses pela aprendizagem de novos conhecimentos.

A afirmação de Lijsen e Klaassen (2004) estabelece a íntima relação entre sua teoria específica (Pesquisa de Desenvolvimento) e a grande teoria Aprendizagem Significativa, no polo da aprendizagem do nosso triângulo didático.

Partindo das concepções espontâneas dos estudantes, esses autores passam a entendê-las como motivos globais que devem ser problematizados. Para isso, buscam estreitá-los com os conhecimentos científicos aceitos pela comunidade científica, porém, não de forma tradicionalmente abordada, mas de maneira que os próprios estudantes criam necessidades próprias de estenderem seus conhecimentos prévios na direção científica que se pretende alcançar (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

Para fins de abrangência dessa teoria, existem outros aspectos teóricos além desses dois, tais como: o papel da estrutura cognitiva; os organizadores prévios; aprendizagem significativa x aprendizagem mecânica; aprendizagem receptiva x aprendizagem por descoberta; formas e tipos de aprendizagem significativa; esquecimento e reaprendizagem; facilitadores da aprendizagem significativa; a avaliação da aprendizagem significativa; mapas conceituais; diagramas em V (MOREIRA, 2011) que, por estarem diretamente associados a uma investigação profunda sobre a aprendizagem dos estudantes acerca de um determinado conhecimento, exigem períodos longos de pesquisas (10 anos ou mais).

3.1- A relação entre *Design-Based Research e a Teaching-Learning Sequence*.

Vimos que os caminhos teóricos para projetar as sequências de ensino-aprendizagem são diversos. Envolve uma variedade de decisões relativas ao conteúdo específico, aspectos estruturais, estratégias de ensino (LOPES *et al*., 2008), tipo de atividade em sala de aula, papéis do professor e dos estudantes, recursos de ensino, organização da classe e a duração de cada atividade, decididas de acordo com o conteúdo específico a ser introduzido (TIBERGHIEN *et al.,* 2009).

Dessa maneira, fomos buscar na literatura conhecer um pouco dos Métodos-*DBR* e sua relação com as teorias específicas (Pesquisa de Desenvolvimento) para o projeto da *Teaching-Learning Sequence*.

Segundo Pietrocola (2010), no início dos anos 2000, aparece na literatura do ensino de Ciências, através do grupo de pesquisa COLLECTIVE[7], formado por pesquisadores de diversas instituições do mundo, uma série de artigos tratando das atualizações curriculares por uma perspectiva em que os autores destes trabalhos consideram as atualizações de conteúdos como pressupostos importantes para o contexto dos currículos de Ciências.

Esses estudos tomaram como referencial a abordagem teórico-metodológica conhecida como *Design-Based Research*, definida como uma metodologia de pesquisa capaz de associar perspectiva teórica com aplicações educacionais práticas (PIETROCOLA, 2010).

Na perspectiva da *Design-Based Research,* segundo Collective (2003):

> Métodos da *Design-Based Research* podem compor uma metodologia coerente que liga pesquisas teóricas com a prática educacional. Vislumbrando ao mesmo tempo o design de uma intervenção e suas especificações como objetos de pesquisa, pode produzir explicações robustas de práticas inovadoras e prover princípios que podem ser usados por outros para aplicarem em novos conjuntos. Pesquisas *DBR*, fundamentando-se elas-mesmas em necessidades e em restrições da prática local, podem prover uma lente para o entendimento de como demandas teóricas sobre o ensino-aprendizagem podem ser transformadas em aprendizagem efetiva em conjuntos educacionais." (COLECTIVE, 2003 citado por PIETROCOLA, 2010, p.35).

Dentro desse contexto, Pietrocola (2010, p.35) afirma que "*a base teórica e metodológica da proposta repousa nas pesquisas do tipo intervenção-análise de resultados"*, muitas vezes entendidas como "avaliação formativa", mas com um diferencial que busca superar seus limites e confrontar alguns padrões pré-estabelecidos, no que dizem respeito às linhas tradicionais de programas instrucionais, materiais didáticos ou orientações pedagógicas.

A *Design-Based Research* trabalha em uma perspectiva, cuja finalidade é o uso misto de métodos que permitem analisar vários resultados de uma intervenção. Mas, diferente da "avaliação formativa", pressupõe que o sucesso de uma proposta inovadora como um produto da intervenção planejada e o do próprio contexto de

[7] Grupo de pesquisadores de diversas instituições do mundo. Disponível em: http://www.designbasedresearch.org/. Acessado em 15 de setembro de 2015.

intervenção vá além da simples concepção de aperfeiçoamento de um produto em particular (PIETROCOLA, 2010).

Para Collective (2003 citado por Pietrocola, 2010, p.36) a intenção da *Design-Based Research é "indagar mais amplamente a natureza da aprendizagem em sistemas complexos e refinar teorias de aprendizagem gerativas ou preditivas".*

Segundo Nicolau *et al.* (2013), a *American Educational Research* relata que as pesquisas baseadas em Métodos-*DBR* possuem cinco características importantes que guiam o desenvolvimento do desenho de intervenção, rumo aos dados e respostas de pesquisas mais confiáveis.

A primeira delas associa os objetivos centrais da sequência de ensino-aprendizagem às teorias, *protoprincípios de design e hipótese de design* e revelam uma atitude ativa do pesquisador ao tentar controlar os parâmetros observados no desenho da sequência. A segunda diz respeito aos procedimentos de validação dos conhecimentos a partir de um processo cíclico de desenho, aplicação, análise e redesenho. O intuito é garantir que as modificações ou inclusões de novos parâmetros sejam avaliadas ciclo a ciclo e produzam um conjunto de respostas transferíveis a outros contextos. A terceira qualifica os resultados obtidos ao compartilhar sua relevância aos demais professores e pesquisadores. A quarta refere-se ao contexto de aplicação para que sua singularidade possa render dados expressivos e compatíveis com as demandas do ensino, a Educação Básica. Por fim, a quinta recomenda o uso de metodologias que registrem e assegurem uma conexão entre os resultados e as aplicações das sequências de ensino-aprendizagem (NICOLAU *et al.*, 2013).

Collective (2003) argumenta que, ao combinar pesquisa educacional empírica com a teoria em ambientes de aprendizagem, a *Design-Based Research* torna-se um referencial teórico-metodológico importante para compreender como, quando e, porque, as inovações educacionais funcionam na prática.

Dentro desse contexto, surgem na literatura internacional do ensino de Ciências, um conjunto de pesquisas que tomou esta linha teórico-metodológica como referência para planejar, aplicar e avaliar sequências de ensino-aprendizagem sobre tópicos específicos de Ciências, principalmente, nas áreas da Física e da Química (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

Portanto, sua relação com a*Teaching-Learning Sequence* pode ser expressa da seguinte forma:

> A abordagem *DBR-TLS* é equilibrada no que diz respeito ao binômio teoria-prática. Ao mesmo tempo em que se fundamenta em sólido arcabouço teórico, analisa a pertinência e a aplicabilidade do modelo proposto no *lócus* real a que se destina. (RODRIGUES *et al*., 2012, p.5)

Para Méheut e Psillos(2004), embora vários termos tenham sido utilizados no passado, o termo *Teaching-Learning Sequence* introduzido na sequência de simpósios internacionais recentes, agora é amplamente utilizado e denota a estreita ligação entre o ensino proposto e a aprendizagem que os estudantes esperam alcançar.

A *Teaching-Learning Sequence* apresenta uma característica distinta de uma sequência orientada para uma pesquisa e é tanto uma atividade de pesquisa intervencionista, quanto um produto, como um pacote de unidade curricular tradicional, que inclui as atividades de ensino-aprendizagem pesquisadas empiricamente e adaptadas ao nível cognitivo dos estudantes.

Para Lijsen e Klaassen (2004), toda vez que se pretende ensinar conteúdos e conceitos de Ciências em níveis menores, "pacotes" do currículo, de forma a priorizar em pequenas escalas o ensino-aprendizagem, a *Teaching-Learning Sequence* mostra-se muito adequada.

3.2- Teorias específicas para o projeto da *Teaching-Learning Sequence*.

Como são diversificadas as escolhas e teorias específicas para o projeto da *Teaching-Learning Sequence,* os aspectos principais de algumas delas podem ser compreendidos por alguns modelos teóricos, tais como: a “Engenharia Didática” (ARTIGUE, 1988); a “Reconstrução Educacional” (KATTMANN *et al*., 1995); a “Demanda de Aprendizagem” (LEACH; SCOTT, 2002) e a “Pesquisa de Desenvolvimento” (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

3.2.1- A Reconstrução Educacional.

O quadro de “Reconstrução Educacional”, desenvolvido por Kattmann *et al.* (1995) fornece uma estrutura para projetar e validar as *Teaching-Learning Sequences* baseando-se em modelos de instrução e planejamento, desenvolvidos na tradição pedagógica alemã. Neste modelo, o objetivo é tentar combinar a tradição hermenêutica alemã, relativa ao conteúdo científico, com abordagens construtivistas de ensino-aprendizagem. Ela sustenta que a clarificação do assunto da Ciência é uma questão fundamental, quando a instrução em particular do conteúdo for desenvolvida em um processo chamado de “*elementarização*”, cujo objetivo é levar à construção do núcleo (“elementares”) de ideias do conteúdo a ser ensinado (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

Para Méheut e Psillos (2004), a característica importante da abordagem da Reconstrução Educacional é que a sua análise do conteúdo de Ciência leva em conta não apenas as dimensões epistemológicas (Gênesis, função e significado dos conceitos), mas também o contexto, aplicações e implicações éticas e sociais.

Segundo Kattmann *et al*. (1995), o modelo de “Reconstrução Educacional” associa as considerações sobre a estrutura do conceito para a Ciência, com análises do significado educativo do conteúdo em questão e com estudos empíricos sobre os processos de aprendizagem dos estudantes.

Nesse contexto, as concepções dos estudantes são levadas em conta numa perspectiva construtivista de reconstruir a estrutura do conteúdo da Ciência, fornecendo respostas a perguntas como:

> Quais são os elementos mais relevantes por parte dos estudantes no quadro conceitual que devem ser respeitados? Que oportunidades são abertas por certos elementos de concepções ou perspectivas dos estudantes? Quais as concepções dos estudantes correspondem com os conceitos científicos, de tal forma que eles podem ser usados para uma aprendizagem mais adequada?. (KATTMANN *et al*., 1995 *apud* MÉHEUT; PSILLOS, 2004, p.526)

Nessa perspectiva, essas perguntas permitem elaborar um modelo baseado em uma visão construtivista integrada que, por um lado, tem o processo de aquisição de conhecimento visto como um processo de construção do indivíduo ativo, dentro de um determinado contexto social e material, enquanto por outro lado,

o conhecimento da Ciência é visto como uma construção humana provisória (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

Os resultados da análise da estrutura do conteúdo (que associa a clarificação dos conceitos fundamentais e análise do significado educativo) e as ideias preliminares sobre a construção de instrução, também desempenham um papel muito importante no planejamento de estudos empíricos sobre ensino-aprendizagem. Além disso, os resultados dos estudos empíricos influenciam os processos de análise educacional, elementarização e, até mesmo, a definição de metas e objetivos.

Méheut e Psillos (2004) afirmam que este procedimento é bastante incomum para a pesquisa educacional, mas ele se encaixa à situação em que uma estrutura de conteúdo específico para o ensino tem de ser desenvolvida de acordo com o ponto de vista dos estudantes, e, especialmente, de acordo com suas concepções pré-instrucionais e os seus percursos de aprendizagem.

A estrutura do conteúdo da Ciência e as concepções dos estudantes, como quadros de interpretações, são vistos como parâmetros igualmente importantes no processo da Reconstrução Educacional. Assim, tornam-se necessários para a consecução dos objetivos do ensino de Ciências.

Os autores concluem suas discussões sobre o quadro teórico de Reconstrução Educacional deixando claro que, uma característica especial deste modelo é o conhecimento adquirido por um componente, por exemplo, através das concepções prévias dos estudantes, que influencia as atividades e a interpretação dos resultados dos outros componentes (intervenção, construção) em um processo dinâmico.

3.2.2- A Engenharia Didática.

O quadro teórico denominado por Artigue (1988) de “Engenharia Didática” foi desenvolvido para projetar a *Teaching-Learning Sequence* como instrumento de investigação na área da educação Matemática. Apesar disso, projetos para o desenvolvimento de *Teaching-Learning Sequence* (TIBERGHIEN, 1996) na área do ensino de Ciências também foram baseados nesse modelo (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

Nesse modelo, Artigue (1988) sugeriu três dimensões principais para a análise *a priori de uma Teaching-Learning Sequence:*

> Uma dimensão "epistemológica": analisando o conteúdo a ser ensinado, os problemas que respondem, sua gênese histórica; Uma dimensão “psico-cognitiva": análise das características cognitivas dos alunos; Uma dimensão 'didática': analisar o funcionamento da instituição de ensino (ARTIGUE, 1988 citado por MÉHEUT; PSILLOS, 2004, p.526).

Dentro dessas três dimensões, este quadro geral baseia-se em um modelo forte de aprendizagem por resoluções de problemas. Por sua vez, a elaboração dos problemas, como conteúdo da *Teaching-Learning Sequence é* de responsabilidade do pesquisador (MÉHEUT; PSILLOS, 2004) e está fortemente ligada a análise do conteúdo (gênese histórica).

Na dimensão psico-cognitiva, Artigue (1988) centra-se na análise das concepções espontâneas dos estudantes e em seus raciocínios para resolver esses problemas. Todavia, para a dimensão didática (restrições educacionais) Méheut e Psillos (2004) afirmam que pouco é dito sobre os aspectos psico-afetivos e sociais dos processos de ensino-aprendizagem.

Para os aspectos das restrições sociais, como resultado da análise do funcionamento das instituições de ensino, Tiberghien (1996) ressalta a necessidade dos pesquisadores tornarem público os fatores contextuais e as restrições particulares de ensino.

Nessa afirmação nós fundamentamos uma das categorias de análise da sequência de ensino-aprendizagem (**andamento das aulas**) tendo como referência os contextos de implementação.

De uma forma geral e a *priori,* as análises da *Teaching-Learning Sequence* são entrelaçadas, a fim de definir com precisão os “problemas” para serem geridos pelos estudantes e antecipar a elaboração do conhecimento produzido por eles, por meio desses mesmos “problemas”.

3.2.3- A Demanda de Aprendizagem.

O quadro teórico denominado por Leach e Scott (2002) de “Demanda de Aprendizagem” subsidia os primeiros passos para a construção de uma *Teaching-Learning Sequence*. A investigação consiste em um processo de identificação das

dificuldades encontradas na abordagem de determinados conteúdos e sua relação com contexto de natureza conceitual, epistemológica e ontológica.

Menezes *et al*. (2013) ressaltam que as investigações sobre a *Teaching-Learning Sequence* devem contemplar aspectos teóricos e serem consistentes para garantir a identificação das "*principais dificuldades encontradas na abordagem de determinado conteúdo. Todavia, devem identificar a sua relação com um contexto, de maneira a apresentar uma natureza conceitual, epistemológica e ontológica"* (MENEZES *et al*., 2013, p.3303).

Para esses autores, o aspecto conceitual a ser contemplado pela "Demanda de Aprendizagem" decorre da utilização de concepções espontâneas ao invés de conceitos científicos. O aspecto epistemológico parte da dificuldade da aplicação de conceitos científicos em diferentes contextos e o ontológico ocorre pela associação da propriedade do processo como a do próprio produto.

3.2.4- A Pesquisa de Desenvolvimento.

A *Teaching-Learning Sequence* foi introduzida pela primeira vez na literatura, através dos trabalhos de Lijnse (1994, 1995) que a enquadrou teoricamente como um produto, fruto da chamada "Pesquisa de Desenvolvimento" e a definiu como sendo:

> O entrelaçamento do desenho, desenvolvimento e aplicação de uma sequência de ensino sobre um tema específico, geralmente com duração de algumas semanas, em um processo evolutivo cíclico e iluminado por ricos dados de pesquisa (LIJSEN; KLAASSEN, 1994*apud* MÉHEUT; PSILLOS, 2004, p.512).

Para Millar e Osborne (1999), em geral, o design de uma sequência de ensino-aprendizagem deve começar fazendo esclarecimentos explícitos e justificando as hipóteses sobre o ensino-aprendizagem na Ciência e na educação científica. A razão é que, nem a Educação, nem a Ciência, são processos sem valor e, portanto, só podemos comunicar e discutir os resultados de pesquisa corretamente, se for colocados e julgados, a partir dos contextos carregados de valores em que são obtidos.

Para Méheut e Psillos (2004), essas considerações, de uma forma ou outra, parecem influenciar o desenvolvimento da *Teaching-Learning Sequence*, pois inclui investigações sobre as concepções dos estudantes, as características do domínio

científico específico, os pressupostos epistemológicos, as perspectivas de aprendizagem, as abordagens pedagógicas atuais e, por fim, as características do contexto educacional, que surgem implícita ou explicitamente como um primeiro ponto do *design* em relação às principais considerações em jogo, quando se pensa nela como projeto. A interpretação de Méheut e Psillos (2004) nos permite observar que todos os modelos teóricos apresentados para o projeto da *Teaching-Learning Sequence* podem ser vistos de forma global, pois suas perspectivas de ensino-aprendizagem estão apoiadas nas concepções espontâneas dos estudantes sobre os conteúdos científicos específicos.

Sob esse ponto de vista, Lijsen e Klaassen (2004) apresentam o projeto da *Teaching-Learning Sequence* a partir do conceito de "Estrutura Didática", cuja definição é o próprio produto, fruto de uma "Pesquisa de Desenvolvimento".

Dentro do conceito de Estrutura Didática, o projeto da *Teaching-Learning Sequence* começa com uma abordagem explícita chamada "problematizadora", cuja ênfase da pesquisa recai sobre a "qualidade didática" com que esta perspectiva em particular pode ser colocada na prática de sala de aula para o ensino-aprendizagem de um determinado tema.

Lijsen e Klaassen (2004) definem o termo "qualidade didática" na seguinte perspectiva:

> Embora a melhor maneira de ensinar um tópico pode ser de fato uma ilusão, nós pensamos que algumas formas são melhores do que outras. Então, seria importante buscar evidências sobre "como" e "por que" e então seria o caso de ser capaz de exprimir e discutir a qualidade didática destas sequências/situação de ensino. (LIJSEN; KLAASSEN, 2004, p.538)

Os autores concluem que, "*o conceito de "estrutura didática" deve promover uma futura etapa onde se aprofunda a discussão sobre as vantagens e desvantagens didáticas de um caminho particular para ensinar um tópico" (Ibid,* p. *538)*.

Já a ênfase dada para abordagem "problematizadora**"** é entendida no sentido de levar os estudantes de uma dada posição para outra, a fim de que eles possam chegar a um ponto de estenderem seus conhecimentos existentes, experiências e sistema de crenças, em uma determinada direção, proporcionada pela educação científica e tecnológica.

Esses dois pontos importantes a serem considerados para o projeto da *Teaching-Learning Sequence*, sob a óptica do conceito de Estrutura Didática são concebidos por Lijsen e Klaassen (2004) a partir de uma concepção de educação científica e tecnológica que possuem quatro orientações intencionais principais em que o conhecimento científico deve funcionar:

> Prática (aprender a lidar em todos os dias ao vivo); teórica (aprender a compreender a natureza); técnico / industrial (aprender a projetar artefatos técnicos ou produtos industriais); e social (aprender sobre ciência e sociedade). (LIJNSE; KLAASSEN, 2004, p.540)

Para esses autores, essas orientações intencionais (escolhas específicas) estão relacionadas a diferentes visões sobre as relações de Ciência, Tecnologia e Sociedade, e, portanto, não a sua eventual aprovação nos currículos de Ciências. Elas exigem uma visão explícita sobre a educação científica que tem que ser combinada com uma visão particular sobre o contexto social e pedagógico da própria função da educação.

Na concepção de Lijsen e Klaassen (2004), o projeto tem como parte importante o detalhamento das previsões teóricas, para aquilo que se espera alcançar em relação aos conceitos científicos, as justificativas teóricas que são pautadas na importância e pertinência que a pesquisa possui de tais conhecimentos, a fim de validá-los no processo de hipóteses de ensino-aprendizagem.

Nessa perspectiva, encontram-se os pressupostos didáticos e suas considerações para supor que um conhecimento novo é construído sobre as bases de um já existente (OGBORN, 1997). As concepções prévias ou pré-instrucionais dos estudantes são tomadas como pontos de partida para as justificativas teóricas e as hipóteses de ensino-aprendizagem.

Para isso, deve-se considerar também que a visão do ensino resulta em algo como compreensão real do que está se propondo a ensinar, para orientar cuidadosamente o seu processo de construção, de tal maneira, que resulte no objetivo que se quer alcançar. Objetiva-se permitir aos estudantes uma ampla liberdade de usar e realizar as suas contribuições por meio de interações sociais com o professor ou seus pares (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

Nesse contexto, um dos aspectos principais do projeto diz respeito ao desenvolvimento de materiais de ensino-aprendizagem para professores e

estudantes, tais como, apostilas didáticas sobre o conteúdo; acesso a vídeos, sites e recursos didáticos; atividades para os estudantes como jogos, debates, questionários, visitas técnicas, dentre outros.

Não obstante, Lijsen e Klaassen (2004) chamam à atenção para que, quando for desenvolvido este cenário de interações, deve-se tomar cuidado ao fazer a análise didática completa do conteúdo a ser ensinado e tentar interpretar as atividades de ensino aos olhos dos estudantes. Deve-se colocar ênfase na conexão entre as atividades de ensino e o papel do professor na tomada de decisão durante o desenvolvimento dessas atividades em sala de aula.

Para esses autores, o projeto final da *Teaching-Learning Sequence* pode ser materializado em uma sequência de no máximo doze (12) aulas de cinquenta (50) minutos cada. Devido ao seu caráter flexível, podem existir outras com número e duração das aulas diversificados (RODRIGUES *et al*., 2012), porém sua forma final terá as características do seu percurso teórico-metodológico.

Para projetar a *Teaching-Learning Sequence* dentro do conceito de Estrutura Didática, Lijsen e Klaassen (2004) postularam a existência de seis fases. Para o nosso projeto, essas fases serão a base da nossa **ferramenta de desenho**.

A **fase um (1)** é concebida a partir da importância dada ao motivo global que o conhecimento apresenta em relação ao nível de mundo de vida dos estudantes, ou seja, a relevância que as concepções prévias e, ou as instrucionais possuem, quando são tomadas como ponto de partida para iniciar qualquer investigação didática de ensino-aprendizagem (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

Na perspectiva desses autores, deve-se notar que o foco principal da estrutura está, principalmente, relacionado com o aspecto de transição do nível do mundo de vida para o nível qualitativo e quantitativo das generalizações empíricas do conhecimento científico, de modo a fazer com que os estudantes possam tornar essas transições problemas-práticos significativos que desejam resolver.

A **fase dois (2)** exerce a função de estreitar o motivo global do mundo de vida dos estudantes e o conhecimento científico, para que os mesmos desenvolvam uma necessidade de buscar um conteúdo específico, ou seja, buscar mais conhecimento (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

A **fase três (3)** tem o objetivo de ampliar o conhecimento existente dos estudantes, tendo em vista o motivo global e a necessidade de conhecimentos mais especificamente formulado (LIJSEN; KLAASSEN, 2004). Essa fase diz respeito à utilização de atividades potencialmente significativas para envolver os estudantes na dinâmica do processo de ensino-aprendizagem em sala de aula.

A **fase quatro (4)** é a etapa onde se aplica o conhecimento em outras situações. Essencialmente, essa fase diz respeito ao momento em que os estudantes, após construírem, juntamente com o professor, seus conhecimentos sobre o tópico específico, ao longo da implementação em sala de aula, adquirem recursos intelectuais importantes para se posicionarem diante das implicações cotidianas que o tópico em questão resulta (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

Um exemplo do aspecto ligado à construção do conhecimento pode ser entendido através do momento em que os estudantes são levados a aplicar seus conhecimentos existentes tanto por meio da resolução de problemas práticos do seu cotidiano, quanto do próprio contexto de sala de aula (exercícios e problemas propostos pelo professor).

A **fase cinco (5)** cria caminhos, por meio da reflexão sobre os conceitos estudados, que levam a necessidades de uma orientação teórica para a busca de conhecimentos (fase seis). Essa fase permite aos estudantes um momento, quando bem intermediado por recursos de ensino, gerenciados pelo professor, de refletir a respeito dos seus conhecimentos científicos (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

A fase cinco (5) deve ser pensada pelo professor como um estágio importante da construção do conhecimento dos estudantes a partir das potencialidades dos recursos de ensino utilizados no ambiente de sala de aula. Neste sentido, significa sondar a representatividade dos conhecimentos ensinados e atentar para a necessidade de buscar orientações teóricas para a sua compreensão.

A **fase seis (6)** estabelece que, no desenvolvimento dentro desta orientação, os estudantes busquem conhecimento mais teórico. Isso significa que, em um processo cíclico de ensino-aprendizagem, as dimensões epistemológicas e didáticas são fundamentais para entender em que medida o professor e os estudantes devem aprofundar-se no processo de construção do conhecimento (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

Para compreender de forma satisfatória as implicações que os conhecimentos científicos exercem quando aplicados nos diversos contextos, torna-se necessário que os estudantes sejam levados pelo professor a um estágio maior de reflexão sobre a necessária busca permanente de mais conhecimentos teóricos.

Para Lijsen e Klaassen (2004) as **fases dois** (2) e **cinco** (5) representam um dos principais pontos de uma abordagem problematizadora. No entanto, como apontado por Kortland (2001), tais fases parecem não estar presente nos ciclos de ensino publicados na literatura. Mesmo assim, relacionam-se com funções didáticas específicas que têm de ser cumpridas de tal maneira, que assegurem a necessária coerência nas atividades dos estudantes (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

Para ilustrar, de forma concreta, essas fases como guias teóricos para o projetoda *Teaching-Learning Sequence*, sob a óptica do conceito de “Estrutura Didática”, buscou-se na literatura alguns estudos.

Kortland (2001) abordou o problema para a "habilidade geral" da tomada de decisão, dentro de um currículo obrigatório para estudantes menores de quinze (15) anos. Ele estudou habilidade na tomada de decisão, em relação ao ensino sobre a questão dos resíduos do meio ambiente, com uma sequência de dez (10) aulas com cinquenta (50) minutos cada. Na sequência, foi criada uma orientação prática para lidar com a questão de como tratar o lixo doméstico, sob um ponto de vista ambiental, utilizando a perspectiva da abordagem problematizadora.

Como resultado, Kortland (2001) produziu uma estrutura didática contemplando as seis fases, mas principalmente as fases (2) e (5), possibilitando aos estudantes, depois de uma orientação pessoal sobre o lixo doméstico, a utilização do conhecimento de vida, como forma de conseguir perceber e reconhecer que eles primeiro precisavam saber mais sobre resíduos, pacotes domésticos, para depois tomarem suas decisões.

O autor notou que para esses estudantes, o conhecimento utilizado por eles não era tão significativo, aponto de poderem apresentar um ponto de vista "bem fundamentado". Sob essa perspectiva, para o autor, as fases cinco (5) e seis (6) podiam ser desenvolvidas.

Para Lijnse e Klaassen (2004) essas características da “Estrutura Didática” fazem dela uma construção didática diferenciada em relação às outras formas

tradicionais de ensino, pois envolvem justificativas teóricas para a escolha do conteúdo científico a ser ensinado e sua relevância em âmbito geral da educação.

Considerando as diversas características apontadas, a seguir, no quadro sintético um (1) sobre os modelos teóricos para o projeto de uma *Teaching-Learning Sequence*, nós, de acordo com nossas preferências pessoais e contextuais, optamos por fundamentar o projeto da nossa sequência de ensino-aprendizagem pelo modelo teórico da Pesquisa de Desenvolvimento.

Essa medida baseou-se nos desafios futuros apontados por Méheut e Psillos (2004), a respeito da necessidade de clarificação das hipóteses, ou mesmo das distinções dos quadros teóricos para o projeto da *Teaching-Learning Sequence*.

Quadro (1). Modelos teóricos para o projeto da *Teaching Learning Sequence*.

Autores	**Modelo teórico**	**Fundamentação teórica**
Artigue (1988)	Engenharia Didática	Resolução de problemas
Kattman *et al*. (1995)	Reconstrução Educacional	Gênesis, função e significado dos conceitos, do contexto, das aplicações e das implicações éticas e sociais do conteúdo.
Leach e Scott (2002)	Demanda de Aprendizagem	Conflitos Conceituais
Lijsen e Klaassen (2004)	Pesquisa de Desenvolvimento.	"Estrutura Didática"

3.3- A Estrutura teórica geral da *Teaching-Learning Sequence*.

As teorias e escolhas específicas abordadas nos subtópicos anteriores para o projeto da *Teaching-Learning Sequence* serviram para mostrar que suas discussões, na maioria das vezes, se concentram em questões como: a concepção de situações de ensino-aprendizagem; resolução de problemas, atividades didáticas; o papel desempenhado pelos professores e estudantes; a análise completa do conteúdo científico; estudos epistemológicos; concepções prévias dos estudantes e suas motivações para o aprendizado; as restrições educacionais e, por fim, as teorias pedagógicas.

Contudo, juntas, tornam-se uma massa difusa de teorias, porém com o mesmo objetivo, tratar a atualização curricular por meio de estudos que contemplam períodos curtos de tempo, em detrimento às pesquisas mais tradicionais que contemplam períodos de tempos mais longos (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

Visando tentar organizar essa massa difusa de considerações, Méheut e Psillos (2004) apresentam o que seria para eles a estrutura teórica geral da *Teaching-Learning Sequence* e a chamam de “Losango Didático” (Figura 1).

O “Losango Didático”, apresentado na figura 1, tem seus vértices representados por quatro polos. No eixo vertical estão os polos do conhecimento científico e do mundo vivencial. No eixo horizontal os polos do professor e dos estudantes (MÉHEUT; PSILLOS, 2004). A relação entre os polos do conhecimento e do mundo material no eixo vertical é construída pela “dimensão epistêmica”, ou seja, como o conhecimento científico trabalha em relação ao mundo vivencial dos estudantes (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

Da mesma forma, no eixo horizontal, a “dimensão pedagógica**"** vai estabelecer as escolhas sobre as respectivas funções a serem desempenhadas pelo professor em classe para ressignificar as relações entre os polos do conhecimento e do mundo material, sob o ponto de vista dos estudantes (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

Ao longo do eixo epistêmico, por exemplo, encontram-se as suposições sobre métodos científicos, os processos de elaboração e validação de conhecimentos que estão na base da criação da sequência (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

Ao longo do eixo pedagógico, encontram-se as escolhas sobre o papel do professor, os tipos de interação entre professor e estudantes (MÉHEUT; PSILLOS, 2004). Perto do vértice "estudante", as interações entre estudantes. Na borda, (“estudantes- Mundo Vivencial”) são colocadas as concepções de fenômenos físicos, como formas espontâneas mais gerais de raciocínio (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

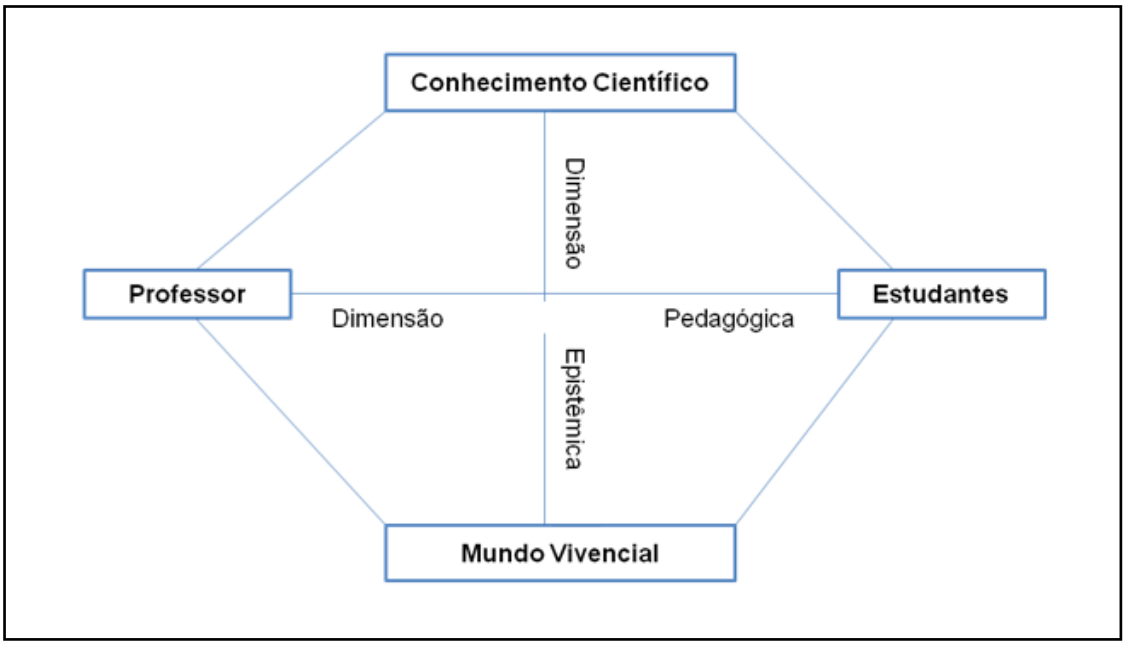


Figura 1. Estrutura teórica geral da *Teaching-Learning Sequence* (MÉHEUT; PSILLOS, 2004, p.517) (tradução nossa).

No **"**vértice dos estudantes", se encontram as atitudes em relação ao conhecimento científico que são colocados ao longo da borda "estudantes-Conhecimento Científico" (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

Para Méheut e Psillos (2004), esta representação pictórica possibilita a organização das diversas considerações colocadas em jogo durante o processo de concepção de uma *Teaching-Learning Sequence* e indica a relativa dependência da dimensão epistêmica e pedagógica dos polos do Losango Didático.

Dentro da estrutura teórica geral, a *Teaching-Learning Sequence* será projetada em um processo cíclico de desenho, implementação, avaliação, reestruturação. Nesse processo, as demandas teóricas (oriundas das grandes teorias) e as teorias específicas vão fornecer o primeiro desenho do projeto que, em seguida, é implementado em sala de aula, depois avaliado e reestruturado, a fim de ser novamente implementado e avaliado (LIJNSE; KLAASSEN, 2004). Todavia, a quantidade de vezes que o projeto será testado, neste ciclo, dependerá de fatores inerentes às escolhas e teorias específicas de cada pesquisador, bem como das restrições do ambiente educacional para o qual eles são pensados.

Na figura 2 apresentamos um esquema ilustrativo do processo cíclico do projeto da *Teaching-Learning Sequence*.

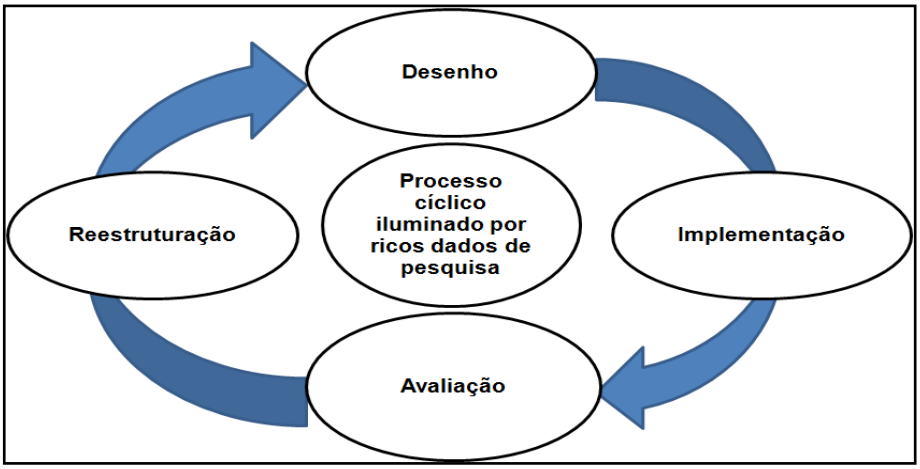


Figura 2. Ilustração nossa do processo cíclico do projeto da *Teaching-Learning Sequence* (LIJNSE; KLAASSEN, 2004).

Dentro deste processo cíclico, Méheut e Psillos (2004) afirmam que para a *Teaching-Learning Sequence* se constituir como uma ferramenta teórico-metodológica de ensino-aprendizagem, ela deverá também passar pelos crivos dos processos conhecidos como, avaliação "*interna"* e *"externa"* (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

3.3.1- Avaliação da *Teaching-Learning Sequence*: interna e externa.

Méheut e Psillos (2004) relatam que, para a utilização de sequências como ferramenta de ensino ou de pesquisa, vários tipos de validação irão aparecer. Algumas terão um caráter metodológico de avaliar a eficácia de uma sequência por meio da comparação cognitiva, em um processo de análise final e inicial do estado cognitivo dos estudantes (ARNOLD; MILLAR, 1996; DUIT, 1991). Outras irão apresentar objetivos que tentam iluminar as vias cognitivas dos estudantes durante todo o processo de ensino-aprendizagem (DUMAS-CARRÉ; WEIL-BARAIS, 1998; LEACH; SCOTT, 2002) utilizando uma abordagem, por exemplo, Vigotskiana.

Dentre essas abordagens metodológicas para a avaliação, adotadas frequentemente, a maioria tende a provar a eficácia de um pacote de ensino em relação aos objetivos de aprendizagem específicos, cuja análise é realizada em um processo de *pré-teste e pós-teste* e os dados são recolhidos sob a forma de testes realizados antes e após a implementação da sequência (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

O termo conhecido como “***avaliação interna****”* recai sobre a eficácia que tal abordagem proporciona quando são comparados os resultados obtidos com os mesmos estudantes antes e depois da aplicação da sequência (RORIGUES, *et al*., 2012). Os primeiros objetivos das “avaliações *internas”* são para testar a eficácia da sequência em relação aos objetivos iniciais (ANDERSSON; BACH, 1996; ASOKO, 1996; MORTIMER, 1993).

Para a “***avaliação externa***”, a comparação é feita com aqueles grupos de estudantes julgados a serem do mesmo nível cognitivo, mas que não participaram da aplicação da mesma sequência. Os objetivos da avaliação “*externa”* são os de permitir verificar se os trabalhos realizados com os estudantes, por meio de uma sequência, são mais eficazes do que outros tipos de ensino tomados como referência (KARIOTOGLOU *et al*., 1995; NIKOLOPOULOU, 1993; RAVANIS; PAPAMICHAEL, 1995).

Rodrigues *et al*. (2012) destaca que, atualmente, para realizar esses processos de avaliação, tanto “*interna”*, quanto “*externa”*, são utilizados muitos dos instrumentos típicos das pesquisas qualitativas em educação (LÜDKE; ANDRÉ, 1986), tais como, observações registradas por vídeo gravações, em diário de bordo, redação, entrevistas, dentre outros.

Exemplos das avaliações “*internas” e “externas”* foram realizados em estudos como os de TIBERGHIEN e BARBOUX (1983); CHAUVET (1994); VIENNOT e RAINSON (1999) e serviram para caracterizar a *Teaching-Learning Sequence* como uma ferramenta teórico-metodológica importante para compreender as dificuldades relativas à caracterização de um dado objetivo.

Tiberghien e Barboux (1983), por exemplo, concluíram com a *avaliação interna,* que a noção de equilíbrio térmico é difícil de ser adquirida pelos estudantes do ensino fundamental. Chauvet (1994), por meio da *avaliação externa,* observou a persistência da concepção de senso comum dos estudantes sobre cor e matéria, bem como a incipiente fragilidade da conceituação de luz colorida. Já Viennot e Rainson (1999) mostraram que os perfis conceituais dos estudantes podem ser considerados como instrumentos de avaliação de grandes potencialidades futuras.

No próximo tópico (3.4), deste capítulo, vamos mostrar como a Pesquisa de Desenvolvimento e o conceito de Estrutura Didática nos ajudou a projetar o primeiro

desenho da sequência de ensino-aprendizagem sobre o tópico radioatividade, apresentado um quadro sintético de sua estrutura.

Não obstante, em nossa pesquisa, utilizamos os mesmos recursos da pesquisa qualitativa para investigar o processo de "a*valiação interna"* da sequência de ensino-aprendizagem, pois as restrições educacionais relacionadas à escassez de professores de Física, unidades escolares receptivas ao projeto, bem como o tempo didático para a implementação da sequência, tornaram-se condições restritas para um trabalho cíclico mais prolongado, bem como o pouco tempo associado a esta pesquisa.

Nesse contexto, a *avaliação interna* tornou-se mais viável, pois a investigação foi feita com três turmas, em contextos diferentes de aplicação, enquanto que a avaliação externa demandaria não só um tempo mais prolongado, mas também uma quantidade de professores maior do que dispusemos em nossa região. Além disso, levamos em consideração a não aceitação da área para esse tipo de investigação.

3.4- A materialização da sequência de ensino-aprendizagem.

Antes de apresentar a estrutura da nossa sequência, vamos reapresentar nosso triângulo didático para que todos os delineamentos realizados nas seções anteriores deste capítulo possam ajudar no entendimento da mesma. A partir do nosso triângulo didático, contemplamos o terceiro objetivo da pesquisa e apresentamos a estrutura teórica da sequência de ensino-aprendizagem (Figura 3) com a ferramenta de desenho (modelo de estrutura didática), subsidiada pela teoria específica, Pesquisa de Desenvolvimento, pelas escolhas específicas (Métodos-*DBR*) e a grande teoria, a Aprendizagem Significativa.

Utilizando as seis fases do modelo de estrutura didática, pensamos na estrutura geral (Figura 4) (12 aulas divididas em seis encontros de noventa minutos), bem como nos conteúdos para cada encontro (terceira coluna - esquerda para a direita) e nos materiais didáticos necessários para o seu desenvolvimento (última coluna - lado direito). Toda a dinâmica e desenvolvimento das aulas encontram-se no apêndice.

Sob a luz da escolha específica (Métodos-DBR) e sob a lente da teoria específica (Pesquisa de Desenvolvimento) nosso desenho pode ser entendido como

os *protoprincípios de design e hipótese de design* da primeira característica dos Métodos-*DBR*. Seu início é marcado pelo levantamento das concepções prévias dos alunos (questionário 1) e seu desenvolvimento (encontros de 2 a 6) é delineado por atividades lúdicas (das bolinhas de isopor e do dominó), vídeos, exercícios e textos, visando contemplar todas as fases do modelo de estrutura didática.

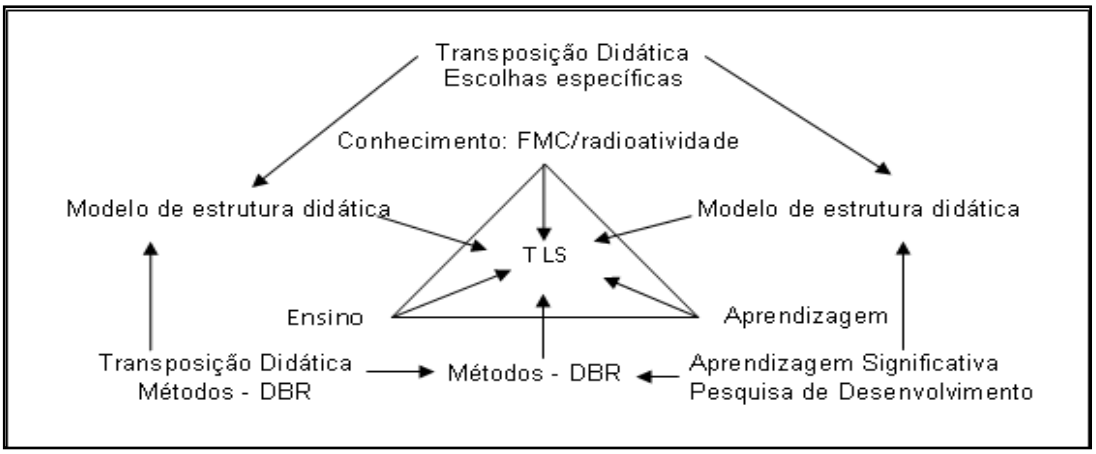


Figura 3. Triângulo didático para o projeto da sequência de ensino-aprendizagem sobre o tópico radioatividade. (Construção do Autor)

Seu caráter curto diz respeito à segunda característica dos Métodos-*DBR* (validação dos conhecimentos produzidos em cada ciclo) apoiado pelo próprio conceito de *estrutura didática* (entrelaçamento do desenho e a aplicação de um tópico específico em poucas semanas).

Assim, para as outras três características, as relações vão aparecer, no próximo capítulo, à medida que analisarmos os dados obtidos na primeira aplicação, e depois na segunda, em contextos genuínos para colher os frutos relevantes a serem compartilhados com os professores e demais pesquisadores do ensino de Física.

Vale ressaltar que a duração de cada encontro será justificada no capítulo 4 onde abordaremos o contexto da implementação, os sujeitos da pesquisa, bem como todos os aspectos metodológicos da coleta e análise dos dados.

Aulas	Tempo(min)	Conteúdo	Materiais didáticos
1 e 2	90	Implicações da radioatividade nos contextos sociais, políticos e econômicos.	Vídeos/questionário 1.
3 e 4	90	A descoberta da radioatividade	Vídeo / texto1.
5 e 6	90	Conceitos de força nuclear, transmutação nuclear e decaimentos radioativos alfa, beta e gama e medidas de proteção.	Atividade lúdica com bolinhas de isopor/ texto 2.
7 e 8	90	Força nuclear forte, decaimentos radioativos, número de prótons, número de massa, número de nêutrons, decaimentos alfa, beta e gama e meia vida.	Exercícios
9 e 10	90	Decaimentos radioativos alfa beta e transmutação nuclear.	Atividade lúdica do dominó.
11 e 12	90	Debate em sala de aula sobre os aspectos principais da radioatividade e suas implicações sociais, políticas e econômicas.	Texto escrito pelos alunos.

Figura 4. Quadro Sintético da sequência de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade (Construção do Autor).

3.5- Conclusão.

Concluímos este capítulo mostrando que, com a elaboração do *protoprincípio de design*- sequência de ensino-aprendizagem- foi possível contemplar suas relações com o triângulo didático e alcançar o terceiro objetivo desta pesquisa: (iii) *desenvolvimento de uma sequência de ensino-aprendizagem utilizando uma teoria metodológica específica presente na literatura do ensino de Ciências, conhecida como Design-Based Research (DBR)*.

Na perspectiva da teoria metodológica específica (*DBR*), vimos que para que nossa sequência de ensino-aprendizagem viesse a se tornar uma *Teaching-Learning Sequence,* seria preciso implementá-la em sala de aula, avaliar sua implementação para, em seguida, reestruturá-la, implementá-la novamente e realizar sua "*avaliação interna".*

Nós próximos capítulos (4, 5, 6 e 7), respectivamente, mostraremos um pouco dos aspectos metodológicos que circundaram essa pesquisa, a primeira avaliação da sequência de ensino-aprendizagem, sua reestruturação, a *avaliação interna* depois da segunda implementação e, por fim, as considerações finais.

4- PERCURSO METODOLÓGICO PARA A AVALIAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM.

No capítulo 3, procuramos apresentar os pressupostos teóricos presentes no nosso triângulo didático que guiaram o projeto da sequência de ensino-aprendizagem, bem como a materialização da mesma (Figura 4), cujo plano das aulas está anexo. Neste capítulo, abordamos um pouco da Pesquisa Qualitativa, no intuito de fundamentar nossa investigação e todos os outros aspectos metodológicos de coleta e análise dos dados obtidos com as implementações da sequência de ensino-aprendizagem.

4.1- As Características da Pesquisa Qualitativa.

A investigação qualitativa pode ser caracterizada por um conjunto de escolhas metodológicas, coleta e análise dos dados, realizadas, principalmente, por pesquisadores da área da educação (BOGDAN; BIKLEN, 1994; LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

Para o ensino de Ciências (Física), essas técnicas, muitas vezes, são utilizadas como recurso metodológico de obtenção de dados, pois em muitos casos, a área apresenta-se como nova no campo da pesquisa (OSTERMANN; MOREIRA, 2000) e não teve tempo suficiente, ainda, para validar suas próprias ferramentas.

Ao realizarem suas investigações, os pesquisadores procuram munir-se de blocos de notas, diários de bordo, apontamentos, equipamentos eletroeletrônicos, esquemas e diagramas, no intuito de registrar os dados inerentes ao objeto investigado (BOGDAN; BIKLEN, 1994; LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

Essas posturas e atitudes, apenas, não são capazes de definir a investigação como qualitativa, por isso um conjunto de cinco características importantes é estabelecido, no sentido de diferenciá-la das investigações que não as possuem (LÜDKE; ANDRÉ, 1986). Como um bom exemplo daquelas que possuem, pode-se indicar a investigação a partir da observação participantee a partir da entrevista (BOGDAN; BIKLEN, 1994).

Apresentamos com base em Bogdan e Biklen (1994) a interpretação das cinco características que definem o grau de relevância de uma boa pesquisa qualitativa.

I. Na investigação qualitativa, a fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal de coleta. Nesta primeira característica grandes quantidades de tempo são desprendidas pelos pesquisadores nas escolas, famílias, bairros e outros locais para elucidar questões educativas. (BOGDAN; BIKLEN, 1994)

II. A investigação qualitativa é descritiva, todo material que o investigador recolhe são em formatos de imagens, palavras, textos, vídeos e não números. Como resultados são interpretados para ilustrar e substanciar sua pesquisa. (BOGDAN; BIKLEN, 1994)

III. Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que, simplesmente, pelos resultados ou produtos. O investigador tenta entender, por meio dos dados coletados, as fontes que determinam comportamentos relacionados à negociação de significados, utilização de certos rótulos, noções de senso comum e origem natural dos comportamentos ou acontecimentos que pretende estudar. (BOGDAN; BIKLEN, 1994)

IV. Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma indutiva, com o objetivo de agrupar os dados recolhidos para poder construir abstrações e não confirmar ou infirmar hipóteses construídas previamente, como ocorre na investigação quantitativa. (BOGDAN; BIKLEN, 1994)

V. O significado é de importância vital na abordagem qualitativa, o interesse dos investigadores, neste tipo de abordagem é o de identificar os modos como diferentes pessoas dão sentido às suas vidas. Como também elas constroem significados e valores, a partir de suas interações nos espaços coletivos e individuais (familiares, escolares, sociais). (BOGDAN; BIKLEN, 1994)

Segundo Bogdan e Biklen (1994), os investigadores qualitativos em educação procuram continuamente, ao longo de suas investigações, se certificarem de que estão aprendendo as diferentes perspectivas adequadamente. Exercem o papel de questionador aos sujeitos investigados com o objetivo de perceber o que estes

quanto investigados experimentam e interpretam as suas experiências, e como as estruturam no mundo social em que vivem, dessa forma:

> Os investigadores qualitativos estabelecem estratégias e procedimentos que lhes permitam tomar em consideração as experiências do ponto de vista do informador. O processo de condução de investigação qualitativa reflete uma espécie de diálogo entre os investigadores e os respectivos sujeitos, dado estes não serem abordados por aqueles de uma forma neutra. (BOGDAN; BIKLEN, p.51, 1994).

Com base na breve descrição das características da pesquisa qualitativa vamos, a seguir, descrever o contexto, os sujeitos da pesquisa, os aspectos metodológicos da coleta e da análise dos dados da primeira e segunda implementação.

4.2- Os contextos de implementação da sequência de ensino-aprendizagem.

4.2.1- Contexto de implementação da primeira versão.

A primeira versão da sequência de ensino-aprendizagem foi implementada no Instituto Federal da Bahia - IFBA (Campus-Ilhéus) localizado na rodovia Jorge Amado BR-415 entre as cidades de Ilhéus e Itabuna no Sul da Bahia. A instituição atende principalmente os públicos dessas duas cidades. Faz parte de uma rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, ofertando ensino profissionalizante gratuitamente. Atualmente existem trinta e oito (38) institutos federais, dois Centros Federais de Educação e o Colégio Dom Pedro II (Rio de Janeiro). Nos últimos anos de 2011 e 2013, devido a vultosos investimentos, passou por significativa expansão, pulando de 140 escolas e 160 mil matrículas para 562 unidades de ensino e 1 milhão de matrículas e 60 mil servidores, com previsões de mais 210 unidades a serem implantadas até 2018[8].

No campus de Ilhéus, além de outros cursos profissionalizantes, o instituto oferece o curso técnico de Segurança do Trabalho, nível médio subsequente em dois turnos: integral e noturno com duração de dois anos. Possui uma estrutura

[8] Disponível em: http://www.ilheus.ifba.edu.br/index.php?option=com_content&view=article&id=596:rede-federal-completa-105-anos&catid=75:2014-01-17-18-37-35&Itemid=99. Acessado em 26 de setembro de 2014.

funcional bem organizada, que permite considerá-lo diferenciado em relação ao contexto das escolas públicas das redes estaduais e municipais de ensino da região (professores com dedicação exclusiva, poucas turmas, condições para a permanência dos estudantes na instituição, dentre outras coisas).

Como forma de gerenciar o tempo e a compreensão dos objetivos previstos em cada encontro, foi sugerida a participação do professor no planejamento das aulas. Logo após esse processo, o professor optou por aplicar a sequência de ensino-aprendizagem nas duas turmas de Física do curso técnico de Segurança do Trabalho do período noturno, no primeiro semestre de 2014. Para efeito de conhecimento do perfil do professor dessas duas turmas, o mesmo era formado em Licenciatura em Física e possuía mestrado em Física Nuclear.

Os estudantes da primeira turma assistiam às aulas (45 minutos cada) nos dois primeiros horários do noturno (18h50min às 20h20min horas), enquanto os estudantes da segunda turma as assistiam nos dois últimos horários (20h30min às 22h00min).

Por sua vez, o critério de trabalhar a sequência de ensino-aprendizagem nas duas turmas foi adotado pelo professor para evitar causar nos estudantes sentimentos de preferência ao deixar uma delas de fora.

No início da implementação, as duas turmas de Física contavam em média com oitenta (80) estudantes matriculados regularmente no primeiro semestre de 2014. No final da implementação esse número foi reduzido para vinte e sete (27) na turma **A** e vinte e cinco (25) na turma **B**, totalizando cinquenta e dois (52) estudantes. A evasão dos estudantes esteve relacionada a fatores que fogem do âmbito desta pesquisa.

Outro fator importante ocorrido no contexto da implementação que influenciou diretamente na estrutura do redesenho da Sequência de ensino-aprendizagem (quantidade de aulas) foi a não ocorrência das aulas, onze (11) e doze (12) do sexto encontro.

A figura 1 representa um recorte do cronograma geral da ementa da disciplina de Física Aplicada cedida pelo professor. A primeira coluna representa as datas, a segunda, as aulas e a terceira, o assunto geral.

08/05	02	Radiação de Proteção Radiológica - Proposta de Trabalho Interdisciplinar
15/05	02	Radiação de Proteção Radiológica - Proposta de Trabalho Interdisciplinar
22/05	02	Radiação de Proteção Radiológica - Proposta de Trabalho Interdisciplinar
29/05	02	Radiação de Proteção Radiológica - Proposta de Trabalho Interdisciplinar
05/06	02	Radiação de Proteção Radiológica - Proposta de Trabalho Interdisciplinar
12/06	-	Feriado – Jogo da Copa do Mundo
19/06	-	Feriado – Corpus Christi
24/07	02	Radiação de Proteção Radiológica - Proposta de Trabalho Interdisciplinar
31/07	**02**	**Seminários – Bloco A**
07/08	**02**	**Seminários – Bloco B**
10/08	-	Data Limite para divulgar resultados finais
14/08	02	Prova de Recuperação

Figura 1. Recorte do Cronograma geral da disciplina Física Aplicada para a implementação da primeira versão da Sequência de Ensino-Aprendizagem (Cedida pelo professor).

Como podemos observar na figura 1, o sexto encontro estava previsto para a data 24/07/2014. Todavia, durante a implementação da sequência de ensino-aprendizagem, os estudantes tiveram um recesso entre as datas (12/06 a 23/07/ 2014). Em seguida (31/07 a 14/08/ 2014) teriam que se organizar para apresentar os seminários relacionados aos conteúdos iniciais da disciplina, combinado inicialmente com o professor, bem como a maioria precisava de uma aula para tirar dúvidas do conteúdo da prova de recuperação. Devido à implementação da sequência de ensino-aprendizagem ter sido parte de uma pesquisa, não poderia ser utilizada como instrumento de avaliação da disciplina, por isso, todos esses fatores contribuíram para que o sexto encontro não viesse acontecer. Esses imprevistos restringiram nossa análise da primeira versão da sequência de ensino-aprendizagem do primeiro ao quinto encontro.

4.2.2- Contexto de implementação do redesenho.

O contexto de implementação do redesenho da sequência de ensino-aprendizagem esteve também relacionado a um instituto federal, porém em outra cidade, trinta e cinco (35) quilômetros de distância de Ilhéus e vinte e cinco (25) quilômetros de Itabuna.

O Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia ou IF-BAIANO (*Campus* - Uruçuca) está localizado na Rua Dr. João Nascimento - S/N - Centro, Uruçuca-BA. Faz parte de uma rede estadual de Educação Profissional e

Tecnológica, nível médio, subsidiada pelo governo Federal em conjunto com o governo do Estado da Bahia. Sua sede está localizada na capital Salvador-BA e os *campus*, em dez cidades do interior (Bom Jesus da Lapa; Catu; Governador Mangabeira; Guanambi; Itapetinga; Santa Inês; Senhor do Bonfim; Teixeira de Freitas; Uruçuca e Valença)[9].

O instituto do *campus* de Uruçuca[10] oferece, na modalidade integral (mesmo período do Ensino Médio) os cursos técnicos de Guia de Turismo e Informática, na modalidade subsequente (após Ensino Médio) os cursos técnicos de Agrimensura, Agroecologia e Alimentos. Além disso, a maioria dos estudantes da modalidade integral reside no instituto.

Essas peculiaridades do instituto estão relacionadas à instituição ter sido uma antiga Escola Média Agropecuária Regional (EMARC) subsidiada pelo governo federal por meio da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC). Seu público alvo abrange todas as cidades circunvizinhas da região cacaueira no sul da Bahia, incluindo Ilhéus e Itabuna.

Diferente do primeiro contexto, o redesenho da sequência de ensino-aprendizagem foi implementado em uma turma de Física geral do curso técnico de Informática que não tinham uma ementa explicita do conteúdo. Porém, o professor, com critério, podia escolher os assuntos que achava pertinente serem ensinados na disciplina.

Dessa maneira, o professor, também formado em Licenciatura em Física e finalizando o mestrado em Ensino de Ciências, ao ser consultado sobre a possibilidade de trabalhar com seus estudantes a sequência de ensino-aprendizagem, achou interessante e pertinente a proposta para trabalhar em sua única turma. Sua motivação partiu do motivo dos estudantes terem visto o conteúdo da radioatividade na disciplina de Química Geral. Em seu ponto de vista, seria interessante que eles também tivessem uma visão do conteúdo a partir da Física. Isso permitiu inseri-lo também no planejamento das aulas, no sentido de gerenciamento e compreensão dos objetivos da sequência.

[9]Disponível em: http://www.ifbaiano.edu.br/reitoria/. Acessado em 10/07/2015.
[10]Disponível em: http://www.ifbaiano.edu.br/unidades/urucuca. Acessado em 10/07/2015.

Essas motivações são fatores importantes para mostrar o caráter interdisciplinar do conteúdo da sequência de ensino-aprendizagem e sua pertinência para sobreviver nas salas de aula do Ensino Médio da Educação Básica.

A turma inicial contava com trinta e dois (32) estudantes entre quatorze (14) a dezenove (19) anos de idade, porém no final da implementação, devido alguns estudantes, sete (7) terem migrado para outro curso (Agrimensura), a turma passou a contar com vinte e cinco (25) estudantes.

Nesse contexto, o redesenho da sequência de ensino-aprendizagem foi implementado no primeiro semestre de 2015 (mês de abril). O professor contava com dois (2) encontros semanais com a turma, sempre no período matutino, todas as segundas e quintas-feiras entre as 10h10min e 11h50min.

Do ponto de vista metodológico, a participação dos dois professores no planejamento das aulas é apontada pela teoria específica (Pesquisa de Desenvolvimento) como imprescindível função que o professor precisa exercer para que os objetivos da sequência ensino-aprendizagem sejam compreendidos, por ele, e colocados como meta a serem alcançadas (LIJSEN; KLAASSEN, 2004).

4.3- Perfis das turmas de Física de Segurança do Trabalho e de Informática.

Enquanto as turmas de Segurança do Trabalho apresentavam dois perfis diferentes: turma **A**, Segurança do Trabalho (ST11), possuía estudantes com uma média de idade entre dezessete (17) a vinte e cinco (25) anos, que tinham terminado o Ensino Médio da Educação Básica há pouco tempo; turma **B**, Segurança do Trabalho (ST12), possuía estudantes com uma média de idade entre vinte (20) a quarenta (40) anos, que terminaram o Ensino Médio há mais tempo. A turma do curso Técnico de Informática (TI) possuía apenas um perfil, contava com estudantes com idade entre quatorze (14) a dezenove (19) anos, com maioria residindo no instituto.

O perfil exposto das turmas de Física buscou melhorar o entendimento dos sujeitos (estudantes) que participaram da implementação da sequência de ensino-aprendizagem (*protoprincípio do design*) e redesenho nos dois (2) contextos.

4.4- Metodologias de coleta e análise dos dados: *protoprincípio de design* da sequência de ensino-aprendizagem.

A materialização da sequência de ensino-aprendizagem, como subsídio teórico-metodológico para a sobrevivência do tópico radioatividade em ambientes reais de sala de aula (objetivo geral dessa pesquisa), perpassou pelo *processo cíclico de avaliação* (COLLECTIVE, 2003) da *Teaching-Learning Sequence* como apresentado na figura 2.

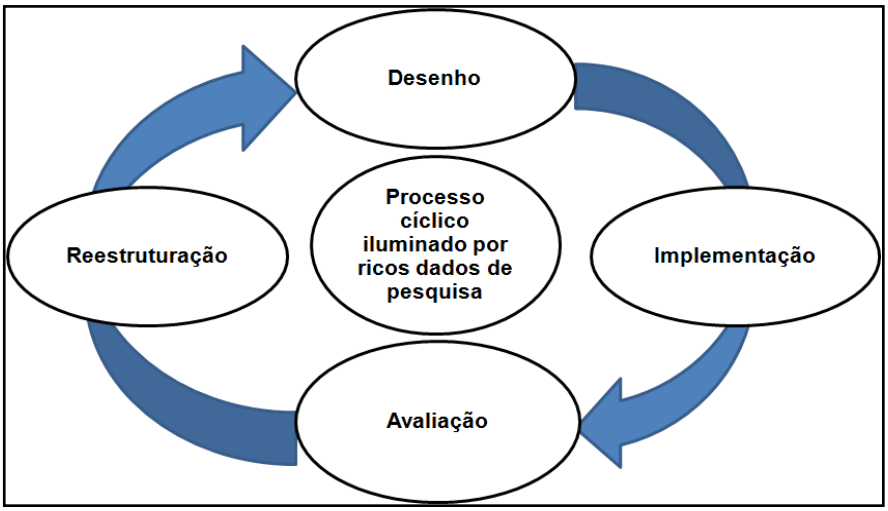


Figura 2. Processo cíclico de avaliação da *Teaching-Learning Sequence* (COLLECTIVE, 2003) (ilustração nossa).

Dessa maneira, como apresentamos nosso desenho no capítulo 3, vamos agora delinear os aspectos metodológicos de coleta e análise dos dados obtidos com primeira implementação da sequência de ensino-aprendizagem (*protoprincípio de design*) nas duas turmas de Física do curso técnico de Segurança do Trabalho.

4.4.1- Metodologia de coleta.

A metodologia de coleta de dados decorreu dos procedimentos apresentados na abordagem da Pesquisa Qualitativa descrita na seção 4.2 deste capítulo. Desse modo, utilizamos os registros das aulas (gravações em vídeo), questionário, textos produzidos pelos estudantes em formato de relatório, texto didáticos da própria sequência de ensino-aprendizagem e imagens fotográficas dos momentos da realização de algumas atividades.

4.4.2- Metodologia de análise.

O aspecto metodológico de análise perpassou pela avaliação dos objetivos gerais da sequência de ensino-aprendizagem distribuídos em cada encontro. Por sua vez, esses objetivos são: *fazer um levantamento das concepções espontâneas dos estudantes sobre o tópico radioatividade* (primeiro encontro) e buscar *estreitar essas concepções com os conceitos da radioatividade cientificamente aceitos* (segundo ao quinto encontro). Esses objetivos estão diretamente relacionados aos pressupostos teóricos do modelo de *Estrutura Didática* (LIJSEN; KLAASSEN, 2004), compreensão e função das seis fases para o nosso projeto.

Buscando observar se esses objetivos foram alcançados, analisamos a eficácia dos recursos de ensino (questionário, textos, atividades lúdicas, exercícios e vídeos) utilizados na sequência de ensino-aprendizagem para abordagem do conteúdo do primeiro ao quinto encontro.

Do segundo ao quarto encontros, analisamos a eficácia dos recursos de ensino (vídeos, textos e a atividade lúdica com as bolinhas de isopor) quanto facilitadores do estreitamento dessas concepções. Para isso, observamos **o andamento das aulas, o envolvimentodos estudantes nas atividades, o entendimento desses recursos como facilitadores da compreensão dos conceitos relacionados à radioatividade**, por exemplo, emissão e absorção de energia, partículas, ondas eletromagnéticas, transmutação nuclear, decaimentos radioativos alfa e beta. Esses aspectos metodológicos foram nossos guias no processo de redesenho da nova sequência de ensino-aprendizagem.

Para o último encontro (quinto), visto que o sexto não aconteceu, além de analisarmos a eficácia da atividade lúdica do dominó pelos mesmos aspectos metodológicos, procuramos observar nos relatórios produzidos pelos estudantes, indícios do estreitamento dessas concepções com os conceitos da radioatividade cientificamente aceitos.

Como forma de apresentarmos os dados obtidos utilizou-se os seguintes códigos: para as turmas de Física de Segurança do Trabalho (ST11) - turma **A** e Segurança do Trabalho (ST12) - turma **B.** Para os estudantes da turma **A** e **B,** respectivamente, utilizamos (**E_1-A, E_2-A... E_n-A**) e (**E_1-B, E_2-B... E_n-B**) e para o professor o código (**P)**.

Nossas atitudes e escolhas metodológicas de análise de dados estão fundamentas pelo nosso modelo teórico do **triângulo didático**, bem como pelos trabalhos realizados por GUTIÉRREZ *et al*. (2000); LOPES *et al.* (2008), BARRAGÁN *et al*. (2009) e TIBERGHIEN*et al*. (2009). Por isso, nós as utilizamos para avaliar (*avaliação interna)* o redesenho (segunda versão da sequência de ensino-aprendizagem) implementada em outro contexto.

Para isso, buscamos tomar como base os pressupostos teóricos apresentados por Méheut e Psillos (2004), relacionados aos questionários de *pré-teste e pós-teste* aplicados antes e depois da implementação da sequência de ensino-aprendizagem (apêndice).

Na *avaliação interna* esses questionários visavam encontrar indícios do estreitamento das concepções prévias dos estudantes com os conhecimentos da radioatividade, cientificamente aceitos, sob o ponto de vista da Física, já que eles tinham visto o conteúdo na disciplina de Química. A fase seis do modelo de "*Estrutura Didática*" nos auxiliou na avaliação dos recursos de ensino como mediadores desse processo.

No capítulo 5, mostramos como esses aspectos metodológicos nos guiaram no processo de redesenho da sequência de ensino-aprendizagem. No capitulo 6, apresentamos os resultados da *avaliação interna* e, no capítulo 7, as considerações finais desta pesquisa.

5- ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM NA PRIMEIRA IMPLEMENTAÇÃO.

Nossa análise da sequência de ensino-aprendizagem teve como referência os objetivos principais: (a) *fazer o levantamento das concepções espontâneas dos estudantes sobre o tópico radioatividade* (primeiro encontro) e (b)*buscar estreitar essas concepções com os conceitos da radioatividade cientificamente aceitos* (segundo ao quinto encontros). Vale lembrar que esses dois objetivos foram alcançados na primeira implementação com as duas turmas de Física do Curso Técnico de Segurança do Trabalho do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA).

5.1- Avaliação da sequência de ensino-aprendizagem por meio do primeiro objetivo.

Utilizamos as respostas dadas pelos estudantes às questões do questionário um (1), a saber: *o que é radiação? O que torna alguns elementos radioativos e outros não? A radiação é boa ou ruim? Como a radiação pode afetar os seres vivos e quais medidas de segurança devem ser* tomadas? Os resultados são apresentados nos quadros (1 a 4) para cada pergunta, respectivamente.

Quadro (1). Respostas dos estudantes das turmas A e B para a pergunta um (1) – O que é radiação?

Estudantes da Turma A (ST-11)	
E_1-A	***Seria uma energia*** *transmitida por elementos químicos.*
E_4-A	***É um tipo de energia*** *usada para vários fins e dependendo altamente tóxica para organismos vivos.*
E_5-A	***É uma forma de energia*** *extraída de elementos naturais e/ou manipulados que pode trazer tanto benefícios, quanto malefícios à humanidade, podendo ser dividida em três dimensões da menos nociva a mais nociva.*
E_6-A	***É um tipo de energia*** *que pode ser natural como advinda da energia através de raios solares, ou através do enriquecimento do urânio.*
E_7-A	***É uma forma de energia****, ou melhor, são elementos que transmitem energia, muitos deles usados para fins de pesquisa, na geração de eletricidade.*
E_9-A	***Radiação é uma forma energia*** *com efeitos positivos e negativos.*
E_{10}-A	***É a emissão de energia de várias frequências****. O organismo humano pode suportar níveis controlados de radiação, o que torna alguns elementos prejudiciais ao organismo é que alguns elementos emitem quantidades elevadas de radiação muito acima do suportado pelo organismo.*
E_{13}-A	***É uma forma de energia*** *dissipada por alguns elementos químicos e também naturais, por exemplo, energia solar.*
E_{14}-A	***Emissão de energia*** *por meio de ondas ao se desintegrarem seus núcleos.*

E_{17}- A	***É uma forma de energia**, emissão ou propagação dela.*
E_{19}-A	***São ondas e partículas carregadas com bastante energia**, essas ondas podem ser ionizantes, no caso de elementos radioativos; as ondas de telefonia celular, TV e rádio não são consideradas ionizadas. A radiação emitida pelos elementos químicos radioativos pode causar mudanças nos genes.*
E_{24}-A	***É uma forma energia** que pode ser usada na medicina, em clínicas radioterápicas, na produção de energia elétrica e na produção de bombas nucleares. A radiação pode ser utilizada para fins positivos e negativos, e não pode ter contato direto com o organismo humano.*
E_{25}-A	***É uma forma de energia** dispensada por alguns elementos ao promover elevados níveis de partículas não favoráveis à saúde humana.*
E_{27}-A	***É umaforma de energia** na qual trás ao homem benefícios e malefícios a sua vida, dependendo da quantidade e modo de como se utiliza essa energia.*
Estudantes da Turma B (ST12)	
E_{1}-B	***Ondas eletromagnéticas emitidas** em grande proporção podem trazer malefícios.*
E_{2}-B	***São ondas eletromagnéticas** que envolvem um alto grau de energia e poder de penetração. Podem apresentar efeitos benéficos e maléficos para diferentes aplicações na sociedade.*
E_{4}-B	***São ondas eletromagnéticas** que podem ser ionizantes ou não**.***
E_{5}-B	***São ondas eletromagnéticas** que são de bastante importância para o uso público, porém sua exposição pode acarretar prejuízos à saúde.*
E_{6}-B	***É uma forma de energia**, **são ondas eletromagnéticas*** capazes de penetrar no corpo humano e causar reações.
E_{7}-B	***É um tipo de energia** que pode ser ionizante e não-ionizante e ondas eletromagnéticas.*
E_{8}-B	***É uma forma de energia** que se propaga trazendo benefícios e malefícios muitas vezes irreversíveis.*
E_{9}-B	***Radiação é a emissão de energia** por raios eletromagnéticos que têm relação com elementos químicos como urânio e Césio.*
E_{11}-B	***São ondas eletromagnéticas** que atinge um corpo ou mão podendo contaminar e consequentemente desencadear numerosas doenças graves.*
E_{12}-B	***Ondas eletromagnéticas** emitidas em grande proporção podem trazer malefícios.*
E_{16}-B	***Forma de energia** produzida por elementos químicos e é utilizada para diversos fins.*
E_{25}-B	***O tipo de energia** que pode ser aplicada tanto para o benefício quanto para o malefício.*

Nas respostas dos estudantes (quadro 1), verificamos a existência de dois (2) **subsunçores** importantes relacionados aos seus conhecimentos prévios sobre radiação. O primeiro diz respeito à definição da radiação como **um tipo** ou **uma forma de energia**, dada por quinze (15) dos vinte e sete (27) estudantes da turma **A**. O segundo como **ondas eletromagnéticas**, definida por doze (12) dos vinte e cinco (25) estudantes da turma **B**.

Do ponto de vista do conhecimento científico, radiação é: "***uma forma de energia** emitida por uma fonte, que se propaga de um ponto a outro sob a forma de partículas com ou sem carga elétrica, ou ainda sob a forma de **ondas eletromagnéticas**"* (OKUNO, 1988, p.12). Por sua vez, essa definição está

diretamente ligada ao conceito de dualidade onda-partícula da Física Moderna (CHUNG, 2001).

Para alguns estudantes das turmas **A** e **B**, por exemplo, a radiação podia ser definida, como: "***uma contaminação*** *exposta por materiais radioativos" (****E_2-A****); "o nome que se dá aos* ***elementos com energia radioativa"*** (**E_8-A**)*; "****processo físico*** *o qual, determinados objetos ou pessoas, passam para obter um resultado específico"* (**E_{11}-A**)*; "****exposição de ondas*** *que com uma intensidade elevada pode vir causar danos a saúde"*(**E_3-B**)*; "****um processo*** *no qual determinado agente químico consegue emitir raios contaminantes em grande intensidade"* (**E_{17}-B**)*; "****agentes com características próprias*** *que podem trazer benefícios ou malefícios a depender de seu uso"* (**E_{23}-B**)*; "****processo que contamina as pessoas*** *ou não, se entrarem em contato podem ser substâncias como o urânio, Cálcio e outros que transmitem para o corpo"* (**E_{24}-B**)*.*

Esses resultados serviram para buscarmos na literatura de ensino de Ciências (Física) algumas pesquisas voltadas para o estudo das concepções dos estudantes (MARTINS, 1990; GUTIÉRREZ *et al*., 2000; BARRAGÁN *et al*., 2009; SANTOS; PÉREZ-ESTEBAN, 2012) e, a partir delas, fundamentarmos nosso questionário dois (2) da segunda versão da sequência de ensino-aprendizagem.

Para a segunda questão, *o que torna alguns elementos radioativos e outros não*, os resultados são apresentados no quadro dois (2)*.*

Quadro (2). Respostas dos estudantes das turmas**A** e **B** para a pergunta dois (2) – *O que torna alguns elementos radioativos e outros não.*

Estudantes da Turma A (ST11)	
E_1-A	*O* ***enriquecimento do elemento****. A energia do material.*
E_2-A	*É o* ***índice de tóxico*** *que ele possui, eu acho que para um elemento ser radioativo depende da quantidade do seu enriquecimento do urânio e a forma de exposição ao ser humano.*
E_3-A	*O* ***processo e manipulação*** *química designada para um fim.*
E_4-A	*A* ***quantidade de carga radioativa****.*
E_5-A	*A* ***forma com que os elementos*** *químicos são manipulados.*
E_6-A	*A* ***exposição à matéria radioativa****.*
E_7-A	***O fato de eles transmitirem energia****, a radiação.*
E_8- A	***Grau de energia radioativa*** *diferenciada, outros mais e outros menos.*
E_9-A	*A* ***presença de algumas substâncias*** *com um alto grau de periculosidade.*

E_{10}-A	*A **quantidade de energia que ele emite**. A radiação está presente em todo lugar, em uma cadeira, lápis, até o próprio organismo, estes emitem pouca radiação. Agora outros elementos emitem quantidades elevadas, esses são prejudiciais ao organismo, como o mercúrio, o plutônio, o urânio, etc.*
E_{11}-A	*Eu acredito que depende muito das substâncias de cada elemento e do tipo de elemento.*
E_{12}-A	***A forma como são usados**.*
E_{13}-A	*Acho que **a quantidade de energia que ele dissipa** quando ele entra em contato com a natureza, uns reagem e outros não.*
E_{14}-A	*A **concentração de energia** que transmite e o tipo.*
E_{15}-A	*Quando a **desintegração de seu núcleo**, não dos elementos são espontânea, sem a emissão de radiação.*
E_{16}-A	***O poder energético de cada elemento**, alguns são muito altos e outros nem tanto.*
E_{17}-A	*A transformação, o modo utilizado, o tratamento.*
E_{18}-A	*A forma como é extraído, inserido ou talvez manuseado de forma incorreta aos detalhes do produto (grau de radioatividade).*
E_{19}-A	***A emissão de ondas energéticas espontaneamente.***
E_{20}-A	*Não respondeu.*
E_{21}-A	*O contato com determinadas substâncias químicas.*
E_{22}-A	*O processo que é usado para usá-lo em determinado fim*
E_{23}-A	*A quantidade significativa do valor energético que alguns elementos possuem, pois quanto maior o valor energético, maior será o nível de penetração destes elementos no organismo, tornando-o radioativo.*
E_{24}-A	***Suas composições químicas** se contem elementos radioativos como urânio, dentre outros.*
E_{25}-A	*A capacidade de emitir alguns danos (quando muito exposto) ao que vimos sua capacidade invisível.*
E_{26}-A	*O que torna alguns elementos radioativos é a **capacidade de radioatividade neles presente**, com exemplo, temos o urânio.*
E_{27}-A	*Otipo e a quantidade de alguns elementos químicos*
Turma B (ST12)	
E_{1}-B	*A presença do material tóxico que pode trazer malefício a saúde do ser humano.*
E_{2}-B	*Seu **grau de radioatividade** que podem ser prejudicial à saúde.*
E_{3}-B	*Os seus compostos e características químicas podem fazer dele substância radioativa.*
E_{4}-B	*Radioativos seriam aqueles que podem ao entrar em contato com o ser vivo trazendo danos à saúde causando mortes.*
E_{5}-B	*Depende da quantidade que este é enriquecido.*
E_{6}-B	*Tempo de exposição ao elemento contaminante usado inadequadamente e sem proteção forma de transformação indivisível.*
E_{7}-B	***A composição física e química de alguns elementos** que os tornam radioativos (características).*
E_{8}- B	***A capacidade de energia**.*
E_{9}-B	*É a forma em que cada um é enriquecido, ou sua concentração de elementos contaminantes.*
E_{10}-B	*O **enriquecimento com determinados elementos**.*

E_{11}-B	***Pela composição de alguns elementos químicos.***
E_{12}-B	*A forma como eles são usados quando usados em alguma coisa que serve como nas indústrias nos hospitais.*
E_{13}-B	***Sua composição**, o seu processo de surgimento, a quantidade de energia que ele emite.*
E_{14}-B	***A quantidade de energia que ele emite**.*
E_{15}-B	*Depende das misturas presentes na substância.*
E_{16}-B	*O processo de produção*
E_{17}-B	***A quantidade de energia que ele libera**.*
E_{18}-B	*Não respondeu.*
E_{19}-B	*Pode ser o tipo de **composto químico**.*
E_{20}-B	*A sua **capacidade de emissão dessa energia***
E_{21}-B	*São os compostos que envolvem esse elemento.*
E_{22}-B	***Sua composição Física e Química**.*
E_{23}-B	***Sua composição**, sua finalidade a ser liberada.*
E_{24}-B	*Capacidade de produção de energia das ondas.*
E_{25}-B	*Não sei, mas acredito que a presença ou não de íons.*

Sob o ponto de vista do conhecimento cientificamente aceito- *o que torna alguns elementos químicos radioativos e outros não*- está relacionado ao entendimento físico, ao nível de conhecimento dos estudantes do Ensino Médio, da diferença significativa entre o número de prótons e o número de nêutrons no núcleo[11] dos elementos químicos. Por exemplo, para alguns elementos químicos radioativos (atividade dos nuclídeos que emitem radiações) [12] encontrados na natureza, tais como, ***Rádio, Tório, Polônio*** *e* ***Urânio***, existe uma diferença muito significativa entre o número de nêutrons e prótons desses elementos. Como consequência, isso leva a uma maior instabilidade do núcleo, devido ao aumento da repulsão eletromagnética em relação à atração forte (força forte) para algumas partículas do núcleo, por exemplo, as partículas alfa. Isso por sua vez os torna, naturalmente, radioativos pelo processo de desintegração espontânea do seu núcleo e emissão de radiação em forma de partícula alfa, partícula beta e/ou ondas eletromagnéticas, conhecidas como raios gama.

[11] Núcleo são sistemas ligados com A nucleons, divididos em Z prótons e N= A-Z nêutrons. Os números A, Z e N, denotam, respectivamente, o número de massa, o número atômico e o número de nêutrons (CHUNG, 1998, p.20).

[12] Nuclídeos são espécies nucleares com números arbitrariamente grandes de núcleos (CHUNG, 1998, p.20).

Analisando as respostas dos estudantes percebemos que poucos apresentaram uma ideia prévia que se aproximava de uma explicação científica. Todavia, isso pode ser explicado por essa questão estar situada em um nível de conhecimento científico que foge do senso comum. Segundo Martins (1990), saber *o que tornava um elemento radioativo e outro não,* estava no centro das discussões científicas formado por Ernest Rutherford, Antoine Henri Becquerel (1852-1908), Marie Curie, Frederick Soddy (1877-1956), dentre outros, no período das descobertas da radioatividade.

Dessa forma, a questão dois (2) foi mantida no questionário dois (2), bem como o tema da aula três (3) na nova sequência de ensino-aprendizagem. Para isso, levou-se em consideração a abordagem discutida no estudo de Santos e Pérez-Esteban (2012), cuja proposta pedagógica era tratar o tema radioatividade por meio de notícias de jornais (situações verídicas) como no caso do envenenamento do ex-agente russo em 2006 pelo elemento químico radioativo **polônio-210.** Para poder complementar a aula com mais recursos, buscamos abordar também, por meio das notícias de jornais, os casos do acidente de Fukushima em 2011 e uma reportagem sobre os vinte e cinco (25) anos do acidente de Goiânia. Todos esses recursos encontram-se anexo no plano geral das aulas da nova sequência de ensino-aprendizagem.

Para a questão três (3)- *A radiação é boa ou ruim?* - apresentamos as respostas dos estudantes no quadro três (3).

Quadro (3). Respostas dos estudantes das turmas **A** e **B** para a questão três (3)- *A radiação é boa ou ruim?*

Estudantes da Turma A (ST11)	
E_1-A	*Depende da maneira que será utilizada, por exemplo: radiação boa:* ***radioterapia, raios-X, datação de fósseis por carbono -14****. Radiação ruim:* ***Bomba atômica****.*
E_2-A	*A radiação é boa em parte, em muitos países as usinas que dependem do enriquecimento do urânio para a* ***transformação de energia. É considerada uma energia limpa****, pois tem um índice menor de contaminação, mas ela se torna ruim quando ocorrem* ***acidentes com radiação, pois devasta a população e seus efeitos causam morte e outros malefícios****.*
E_3-A	*É boa desde que esteja sob controle.*
E_4-A	*Depende da forma que é usada o* ***enriquecimento do urânio, por exemplo, até 20% é utilizado para energia e fins medicinais****, já a partir* ***de 90% serve para fins bélicos****.*
E_5-A	*A depender de como e em que quantidade ela for usada, ela pode ser boa e/ou ruim. Ela pode ser utilizada para* ***tratamentos cancerígenos, criação de energia elétrica*** *etc., e até para a* ***criação de armas e bombas nucleares****.*
E_6-A	*Dependendo da quantidade sim, for moderada ela é muito eficiente principalmente na medicina, como* ***tratamento do câncer****.*
E_7-A	*Os dois. Depende da forma que é utilizada.*
E_8-A	*A radiação é boa quando controlada e ruim quando por um erro causa acidentes graves.*

E_9-A	*A radiação é boa, mas também pode ter efeitos negativos se usada de forma inadequada.*
E_{10}-A	*Dependendo do ponto de vista. Ela pode ser boa ou ruim, depende do controle. É boa, pois pode ser aplicado em diversas áreas, como fonte de energia, tratamento do câncer, mas também pode ser ruim,* ***fabricação de armas nucleares*** *e também sua manipulação sem nenhuma preparação ao conhecimento, pois pode ocasionar desastres.*
E_{11}-A	*Ela tem seus benefícios e também malefícios, na medicina ela é usada para* ***tratamento de câncer, fonte de energia de combustível****.*
E_{12}-A	*Depende de como e no que ela foi usada*
E_{13}-A	*A radiação é boa quando usada em benefícios dos seres humanos ex:* ***tratamento de doenças****; é ruim quando manipulada por mãos erradas provoca destruição em massa.*
E_{14}-A	*Quando a radiação é feita de maneira segura e correta na medida em que não cause dano à sociedade é boa, mas quando traz dano às pessoas e ao meio ambiente é ruim.*
E_{15}-A	*Não são ruins, o que falta são cuidados adequadas do homem para com o meio ambiente.*
E_{16}-A	*Depende, se seu grau for muito alto ela é ruim e traz prejuízos à saúde.*
E_{17}-A	*Assim, como tudo usado de maneira errada pode prejudicar, a radiação é boa pra quem usa para o "bem" e ruim quando usada para fins prejudiciais.*
E_{18}-A	*A depender no manuseio se torna boa ou ruim.*
E_{19}-A	*A radiação não é boa nem ruim. Bom ou ruim é o seu uso que pode ser para o tratamento de câncer quanto para causar o câncer e matar as pessoas instantaneamente por meio de* ***bombas nucleares****.*
E_{20}-A	*Pode ser benéfica (ao* ***produzir energia elétrica e ajudar as pessoas no tratamento de câncer****). E pode ser maléfica quando ocorre* ***vazamento de elementos radioativos****, que na maioria das vezes são nocivos à saúde, como no* ***caso de Hiroshima e Fukushima****.*
E_{21}-A	*Quando ela é usada no* ***tratamento do câncer, na produção de energia****, podemos sim afirmar que a radiação é boa, no entanto, quando o homem a utiliza para construir* ***bombas*** *ela vem acompanhada de tristeza, perdas de vidas e degradação ambiental.*
E_{22}-A	*Depende do seu uso, pode ajudar no processo do progresso,* ***produzindo energia, tratamento de doenças****, como também em* ***armas nucleares****.*
E_{23}-A	*Existe o lado bom e o lado ruim, vai depender da maneira que a radiação é manuseada, pois assim como pode ser utilizada para o* ***tratamento de algumas doenças, geração de energia****, dentre outros, também pode através da radiação* ***produzir armas nucleares*** *e acidentes extremamente danosos à saúde.*
E_{24}-A	*Depende da sua utilização, a radiação pode trazer vários benefícios para o ser humano, tanto na* ***medicina como na produção de energia****. Porém deve ser armazenada de forma correta.*
E_{25}-A	*A maior parte da radiação oriunda de fontes diversas faz mal à saúde dos seres vivos. Mas existem algumas radiações que, na medida certa, pode ajudar a* ***combater algumas doenças****. O sol, a radioterapia, em níveis equilibrados, pode ajudar.*
E_{26}-A	*Depende do ponto de vista a ser abordado. Se for pelo lado de* ***geração de energia*** *é positivo, porém pelo lado* ***bélico*** *é negativo.*
E_{27}-A	*Depende da quantidade e forma de utilização*
Estudantes da Turma B (ST12)	
E_1-B	*A depender de sua aplicação, pode ser usada para* ***tratamento radioterápico*** *ou pode ser usada para criação de* ***armas bélicas****.*
E_2-B	*A depender da área que ele será utilizado a exemplo bom, para* ***fins medicinais****, ruim para a construção de* ***bombas nucleares****.*
E_3-B	*Pode ser usada para fins como* ***tratamento de doenças, energia com alto potencial****, e pode ser ruim na sua* ***aplicação em armas nucleares*** *e esse agente exposto diretamente com o ser humano sem proteção pode trazer riscos.*
E_4-A	*Em relação a ser bom ou ruim, ambas tem uma finalidade, sendo utilizada de forma correta e benéfica, trás sempre benefícios, após serem descartadas ou manuseadas incorretamente aquele ambiente e localidade será inapta para sobreviver em um ambiente insalubre.*
E_5-B	*Para que esta seja boa ou ruim, depende do uso que este vai ser destinado.*
	A radiação tem o lado positivo como ***tratamento para o câncer, raios-X,*** *etc. Radiação*

E_6-B	*negativa como os contaminantes como o chumbo, urânio, césio, etc.*
E_7-A	*Ao mesmo tempo em que é benéfica pode também ser maléfica. A depender da utilização e da forma como se protege, pode ser benéfica. Se utilizada de forma irresponsável prejudica.*
E_8-B	*Há pontos positivos como **potencial energético**, o **tratamento de doenças**. Já o negativo expõe o cuidado que se tem que ter com a exposição a estas substâncias.*
E_9-B	*Depende em que grau e forma utilizada. Ex: confecção de máquinas hospitalares (boa). Ex: **confecções de bombas** (ruim).*
E_{10}-B	*Ambas as coisas. Boa – **produção de energia nuclear, tratamentos radioterápicos**. Ruim – riscos eminentes de **acidente, contaminação** generalizada.*
E_{11}-B	*É relativa, se bem usada muito boa, se mal utilizada pode trazer sérios prejuízos.*
E_{12}-B	*Boa quando usada em lugar adequado, ruim quando o uso não serve de nada.*
E_{13}-B	*Boa, quando utilizada para **fins médico** e ruim, quando utilizada para **fins nucleares**.*
E_{14}-B	*A radiação pode ser boa ou ruim, depende de como e a intensidade que é utilizada.*
E_{15}-B	*Depende, existem radiações que são boas, como, por exemplo, **raios-X** e, radiações ruins são aquelas que vão prejudicar algo ou alguém um exemplo, são as **armas nucleares**.*
E_{16}-B	*Pode ser utilizado de forma benéfica na **produção de energia**, **tratamento de câncer**, mas podem ser utilizadas de maneira maléfica na **produção de armas nucleares, bombas nucleares** e por **acidente**, imperícia, imprudência, contaminar a população.*
E_{17}-B	*A radiação pode ser boa, quando bem controlada, como é o caso da utilizada para **fins médicos**, em **tratamento radioterápico e exames de diagnóstico**. Também pode ser ruim, quando usada em maiores doses, como a utilizada em **bombas atômicas**.*
E_{18}-B	*Temos os dois lados, positivamente **usada a favor da medicina**, e possui o lado negativo que é **a contaminação**.*
E_{19}-B	*Boa quando é utilizado para fins na área da saúde como **tratamento do câncer**. Ruim quando os homens querem possuir essas energias para bancar a vaidade ou quando há irresponsabilidade no descarte.*
E_{20}-B	*Depende do modo que é utilizada, de como os materiais radioativos são manuseados e descartados e da intenção do uso.*
E_{21}-B	*A radiação tem **uso na medicina**, principalmente no **tratamento do câncer**, na **indústria** e em outros segmentos que hoje são indispensáveis. Porém a sua exposição pode acarretar danos irreversíveis à saúde.*
E_{22}-B	*Depende do seu uso. A radiação pode ser usada na **saúde, agricultura, indústria**, etc. Na verdade, o **mau uso é que torna a radiação perigosa**.*
E_{23}-B	*Os dois, **para a medicina**, por exemplo, é boa.*
E_{24}-B	*A radiação pode apresentar várias aplicações benéficas como, por exemplo, na utilização de aparelhos de cunho **diagnóstico para doenças e outras muitas aplicações na indústria**. Porém também podem apresentar situações de risco como, por exemplo, **bombas atômicas**.*
E_{25}-B	*É muito complexo. Dependendo da quantidade absorvida pela pessoa e se absorvida de acordo com o enriquecimento da matéria.*

Observando as respostas dos estudantes, percebemos que, unanimemente, eles têm uma posição crítica muito pertinente sobre o assunto. Pelo lado bom, para os estudantes das turmas **A** e **B**, a radiação é boa quando, aplicada no **tratamento do câncer** (radioterapia), nos **diagnósticos médicos** (Raios-X), na **datação de fósseis por carbono-14**, na **produção de energia elétrica**, na **indústria** e na **agricultura.** Pelo lado ruim, quando utilizada para fabricação de **bombas atômicas,** caso **Hiroshima (E_{20}-A)** e quando ocasionam **acidentes nucleares**, caso **Fukushima (E_{20}-A)**, bem como outros riscos inerentes aos **descartes de aparelhos**

hospitalares (**E_{20}-B; E_{19}-B**) e o armazenamento dos **resíduos nucleares provenientes das usinas** de produção de energia elétrica (**E_{24}-A**).

Outro aspecto importante observado é a existência de conhecimentos adquiridos pelos estudantes em espaços não formais (SANTOS; PÉREZ-ESTEBAN, 2012) sobre as implicações do uso da radiação pelo homem.

Para a questão quatro (4) - *Como a radiação pode afetar os seres vivos*?- apresentamos as respostas dos estudantes no quadro quatro (4).

Quadro (4). Respostas dos estudantes das turmas **A** e **B** para a questão quatro (4) - *Como a radiação pode afetar os seres vivos*?

Estudantes da Turma A (ST11)	
E_1-A	***Mutação genética e câncer***
E_2-A	*Quando ocorrem acidentes em que o ser humano é exposto a radiação, afeta o ser humano pela desinformação de algumas pessoas tanto pelo descarte correto, quanto por não conhecer os símbolos que mostram se aquele material ou alimento contém materiais tóxicos radioativos.*
E_3-A	*Na forma boa, nos proporcionando elementos para a melhoria devida. Na forma ruim,* ***doenças, sequelas e morte.***
E_4-A	*Depende da forma de contato da radiação no homem, por exemplo, um paciente que tira raios-X o efeito é mínimo, já para o técnico em radiologia que tem um contato maior pode ser altamente nocivo.*
E_5-A	***Ela nos afeta constantemente desde a radiação solar, tratamento, a energia elétrica.***
E_6-A	*Se estivermos vivos é graças a diversos fatores naturais que ajudam a permanecer a vida aqui na terra, com a radiação solar, necessária para os seres vivos.*
E_7-A	*Quando alguém é infectado por algum elemento radioativo, ela acaba sofrendo* ***mutações das células, danos físicos****.*
E_8-A	*Afeta de forma ruim é através de elementos químicos em contato com o indivíduo, sendo uma pessoa contaminada passa para outra que não se encontra contaminada.*
E_9-A	*Pode afetar de maneira positiva por ser uma energia útil em várias situações do dia-a-dia, mas também pode levar o indivíduo a óbito.*
E_{10}-A	*Pode afetar na sua maneira de viver e até na sua vida. Pode* ***melhorar sua qualidade de vida, no tratamento de doenças*** *que podem vir acontecer e, na sua vida, o seu despreparo pode interferir da vida da pessoa.*
E_{11}-A	*As pessoas que fazem* ***tratamento ou radioterapia****, e até os profissionais que trabalham por muito tempo exposto a radiação pode ser* ***contaminada pela radiação****.*
E_{12}-A	*Através de elementos manuseados de forma incorreta* ***causando danos a saúde****, inclusive levando a morte. Ou se usada de forma correta trazendo benefícios. Ex:* ***geração de energia****. O que traz* ***benefício sócio e econômico para o homem****.*
E_{13}-A	*Quando em contato com o meio ambiente, e sem a devida orientação e exposição prolongada dependendo do elemento radioativo pode* ***provocar a morte****.*
E_{14}-A	*Quando é exposta individualmente, em contato com a natureza de forma insegura emitindo substâncias que traz danos a vida.*
E_{15}-A	*Falta de um cuidado especial com os resíduos seja pelo lixo atômico não pode ser descartado em qualquer lugar.*
E_{16}-A	*Se for usada com segurança ela pode trazer alguns* ***benefícios para a população****. Do contrário ela pode ocasionar a* ***morte das pessoas*** *e o isolamento de toda área afetada.*
E_{17}-A	***Na produção de bombas atômicas***
E_{18}-A	*Quando inserido ou aplicado em alta quantidade.*
E_{19}-A	*Pode afetar com a* ***modificação dos genes e a mutação, o desenvolvimento do câncer.***
E_{20}-A	*Pode levá-los* ***a morte ou incapacidade*** *por um período ou até mesmo para toda a vida.*
	A radiação pode nos afetar ***proporcionando doenças****, perda de ambientes que*

E_{21}-A	*passaram por algum contato radioativo, pode trazer progresso econômico,* ***para quem está com câncer no tratamento da doença****.*
E_{22}-A	*Em vários aspectos,* ***econômicos, produtivos, sociais na medicina****.*
E_{23}-A	*Irá depender da forma como a radiação terá o contato com os seres vivos pode ser uma forma boa como a produção de energia ou de uma forma ruim como acidentes radioativos que causam* ***sérios problemas na saúde dos seres****.*
E_{24}-A	*Através de um contato direto*
E_{25}-A	*Afeta os seres vivos de diversas maneiras, como levar a* ***doenças ou danos*** *irreversíveis para os seres vivos quando muito exposto.*
E_{26}-A	***Modificando a formação celular, prejudicando o funcionamento do organismo*** *que fica impossibilitado de atuar de forma correta.*
E_{27}-A	*Na contaminação em acidentes* ***causando doenças como câncer e até a morte****.*
Estudantes da Turma B (ST12)	
E_{1}-B	*Através das vias cutâneas, respiratórias, etc. Podendo afetar todo sistema do corpo. E claro o uso incorreto pode ocasionar vazamento e ter efeitos catastróficos. Ex: Chernobyl.*
E_{2}-B	*Pode causa alguns* ***problemas à saúde do ser vivo e levar ate a morte*** *em alguns casos.*
E_{3}-B	*Pode afetar na saúde das pessoas contaminadas e nas outras pessoas se houver riscos de contagiar os demais.*
E_{4}-B	*Podem afetar de várias formas, em contato ou não se protegendo do ambiente.*
E_{5}-B	*Através do contato irregular em esta substância, a pessoa/ser pode* ***adoecer e até mesmo morrer****, o lado bom é que esta substância é geradora de energia.*
E_{6}-B	*Com acidente como vazamento de urânio que pode contaminar água e* ***causar sérios problemas de saúde para os seres vivos****. Também o chumbo e pode causa até a* ***morte de pessoas****.*
E_{7}-A	*De forma direta ou indireta. À medida que se tem contato com a radiação,* ***as células do corpo de alguma forma muda ou se altera****. Mas ajuda também no* ***diagnóstico de doenças e no auxílio do tratamento.***
E_{8}-B	*Como eu já ouvir anteriormente,* ***a saúde pode ser comprometida****.*
E_{9}-B	*Quando ela é exposta na forma de contaminante trazendo ou promovendo a morte do mesmo.*
E_{10}-B	*Solar – raio ultravioleta. Com o enriquecimento de elementos e o descarte de materiais de forma irresponsável pode prejudicar todo um ambiente.*
E_{11}-B	*Quando vem a* ***contaminar as pessoas, a natureza, o ambiente em geral****, onde está sendo manipulada.*
E_{12}-B	*Quando são descartadas inadequadamente ou seu uso é inadequado.*
E_{13}-B	*De maneira direta pela, ou seja, cutânea, por inalação ou por ingestão, pode* ***causar várias doenças ou causar a morte da pessoa afetada****. Altera a composição do ar causando danos ainda mais desastrosos.*
E_{14}-B	*Ela pode* ***causar aos seres doenças*** *de maneira direta ou pela inalação.*
E_{15}-B	*Através do contato com as substâncias as mesmas podem* ***desencadear doenças****.*
E_{16}-B	*Através do contato, pelo ar ou diretamente de forma cutânea.*
E_{17}-B	*Pode afetar de forma positiva, gerando energia elétrica e também de forma negativa, quando ocorrem vazamentos e acidentes que oferecem* ***riscos à saúde da população****, podendo gerar até mesmo mutações e morte.*
E_{18}-B	*De várias maneiras, através de um* ***acidente nuclear****,* ***poluição, contaminação pó vias respiratórias e/ou cutâneas*** *e etc.*
E_{19}-B	*Vou usar como exemplo o sol (se não houver uma proteção adequada como se expuser ao sol ele pode* ***causar câncer de pele*** *por causa da radiação emitida).*
E_{20}-B	*A radiação pode afetar os seres vivos* ***mudando o comportamento de suas células****.*
E_{21}-B	*Ela pode afetar de maneira positiva ou negativa. Na importância que tem no mercado e também nos aspectos de exposição.*
E_{22}-B	*A radiação pode afetar de diversas maneiras. Já houve casos em que ela afetou a* ***saúde de uma população causando contaminação****. Há também casos em que ela ajuda a saúde no seu uso em radiologia por exemplo. Tudo depende do seu uso.*

E_{23}-B	***Contaminando as áreas de habitação dos seres vivos**.*
E_{24}-B	*O efeito nos seres vivos também pode ser benéfico, por exemplo, **matar células cancerígenas**, mas também causar problemas.*
E_{25}-B	*Ocasionando a morte em casos mais sérios, quando usado, manejado incorretamente.*

As concepções prévias dos estudantes das turmas **A** e **B** estiveram voltadas para a ideia de que a radiação afeta os seres vivos por dois motivos: o bom, **produção de energia elétrica**, **benefícios socioeconômicos**, **tratamento de doenças**; o ruim, **acidentes nucleares**, **construção de bombas atômicas**, **contaminação do habitat, acometimento de câncer pelas pessoas**, **mutação genética**, **morte dos seres vivos**.

Do ponto de vista científico, a radiação afeta os seres vivos, por todos esses dois motivos apresentados pelos estudantes, mas também, principalmente, pelo fator da mutação genética ocorrida a nível celular.

Segundo Okuno (1988), a radiação afeta os seres vivos, principalmente, pelo aspecto biológico, devido sua ação ser a nível microscópico. Para a autora, em casos de exposição a altas doses, por contato, inalação, ingestão, os efeitos são imediatos, queimaduras, queda de cabelos, falência múltiplas dos órgãos, perda da visão e morte. Em caso de doses baixas, os efeitos podem aparecer anos depois como forma de câncer, má formação do feto (caso de mulheres grávidas que foram expostas a radiação), mutações diversas de espécies animais e vegetais.

Assim, percebemos que os conhecimentos prévios dos estudantes são especificamente relevantes. Perante seus entendimentos, existem nas mais variadas vertentes de consequências (boas e ruins) implicações decorrentes da aplicação da radiação pelo homem. Para o uso pacífico na produção de energia, na medicina, na indústria, na agricultura ou para fins bélicos (produção de bombas atômicas) e/ou acidentes nucleares.

Para tanto, Barragán *et a*l. (2009) alertam que as interpretações dos estudantes estão, muitas vezes, relacionadas ao fato dos assuntos voltados para o tema radiação e suas tecnologias serem de cunho polêmico para a população de um modo geral.

Segundo Kelecom e Gouvea (2002) isso ocorre, pois tanto a ansiedade quanto a insegurança do público estão, consequentemente, ligadas à imagem negativa, relacionado ao conceito de radiação. Por outro lado, as respostas dos

estudantes nos mostraram que, de uma forma significativa, suas **ideias informais** (BARRAGÁN *et al*., 2009) sobre o tópico radioatividade reforça o que as pesquisas já vinham revelando anteriormente.

Não obstante, as respostas dos estudantes das turmas **A** e **B** para as questões do questionário um (1), revelaram que, de uma forma geral, eles possuem conhecimentos especificamente relevantes que podem ser, aos olhos da Aprendizagem Significativa, considerados como **subsunçores**.

Por outro lado, tendo o questionário se resumido a apenas quatro (4) questões, e muito diretivas e apoiadas nos estudos da literatura (MARTINS, 1990; GUTIÉRREZ *et al*. 2000; BARRAGÁN *et al*., 2009; SANTOS; PÉREZ-ESTEBAN, 2012), estendemos o mesmo para sete (7) questões, a fim de ampliar um pouco mais nosso campo de visão sobre os conhecimentos prévios dos estudantes, a respeito do tópico radioatividade, no próximo contexto de implementação, bem como comunicar esses conhecimentos prévios por meio da publicação de trabalhos originário dessa pesquisa.

Esses resultados, também fizeram com que mantivéssemos as quatro (4) questões do questionário um (1). Conseguintemente, tendo como referência o estudo de Barragán *et al*. (2009), o segundo questionário ficou com as seguintes questões: *Questão um (1)- Quais são os temas/assuntos que você relaciona à radiação – Questão dois (2) - Com base na sua resposta à questão anterior responda: a) a radiação é boa ou ruim? Explicite por gentileza; (b) Como a radiação pode afetar os seres vivos? Explicite por gentileza; Questão três (3)- Como você define a radiação? – Questão quatro (4)- Em sua opinião existe alguma relação entre as palavras radiação e radioatividade? Explicite por gentileza; Questão cinco (5)- Quais temas ou assuntos que você relaciona à radioatividade? Questão seis (6)- Como você define a radioatividade? Questão sete (7)- Por que alguns elementos químicos são radioativos e outros não?*

Para nossa sequência de ensino-aprendizagem esse foi o primeiro passo da reestruturação em busca de sua validação. A validade dessas questões se apoiou nos resultados da primeira implementação e nos trabalhos já citados.

5.2- Avaliação da sequência de ensino-aprendizagem por meio do segundo objetivo.

Para estreitar as concepções dos estudantes com os conceitos da radioatividade cientificamente aceitos, avaliamos a sequência de ensino-aprendizagem por meio de três categorias, a saber: **andamento das aulas; participação dos estudantes nas atividades; avaliação dos recursos de ensino** (textos, vídeos, atividades lúdicas) como facilitadores da compreensão dos conceitos relacionados à radioatividade**.**

Vale ressaltar que essas categorias foram fundamentadas tanto nas premissas teóricas da Aprendizagem significativa, conhecimentos prévios especificamente relevantes (*subsunçore*s) (MOREIRA, 2011), quanto nos pressupostos teóricos (LOPES *et al.,* 2008; TIBERGHIEN *et al*., 2009) para o projeto de sequências de ensino-aprendizagem.

5.2.1- Andamento das aulas.

De uma forma geral, o **andamento das aulas,** como já explicitado, teve seu primeiro problema associado ao recesso dos estudantes no período da implementação da sequência de ensino-aprendizagem (suprimida de seis para cinco encontros). Além disso, os cinco encontros que aconteceram foram comprometido pelo tempo de chegada e saída dos estudantes à sala de aula.

Como explicitado no **contexto da implementação**, as aulas durante os encontros (primeiro ao quinto) na turma **A** estavam previstas para as 18h50min, porém sempre começavam as 19h00min. Na turma **B**, as aulas previstas para terminar as 22h00min, terminavam sempre dez (10) minutos antes. Em cada encontro o professor não conseguia fazer o fechamento da aula, por isso era forçado a deixar para o próximo.

No primeiro encontro, por exemplo, apesar de o professor ter conseguido exibir os três vídeos curtos, previstos, e passado o questionário um (1) para os estudantes, ele não conseguiu finalizar a aula com a discussão coletiva das questões do questionário um (1), ficando para o próximo encontro.

No segundo encontro, em ambas as turmas, por iniciar a aula retomando a discussão do encontro anterior, a exibição do vídeo ocorreu bem, mas a leitura e

resolução das questões do texto um (1)- *A descoberta da radioatividade*, cujo conteúdo era o vídeo transcrito foi comprometida.

No terceiro encontro, o objetivo era realizar a atividade lúdica das bolinhas de isopor e por meio da leitura do texto dois (2) - *Entra em cena uma nova figura, Ernest Rutherford* - sistematizar os conceitosde **força nuclear**, **transmutação nuclear**, **decaimentos radioativos alfa** e **beta**. Todavia, os estudantes das turmas **A** e **B**, mais uma vez, conseguiram dificilmente montar a atividade. Por isso, a leitura do texto dois (2) e discussão dos conceitos ficaram para o quarto encontro.

No quarto encontro, tendo em vista o acontecido no encontro anterior, o professor foi forçado a mesclar aleitura do texto dois (2), resolver suas questões, a saber: um (*1a) Qual foi a principal contribuição de Rutherford deu para a radioatividade? Um (1b) Como ele fez isso? Dois (2) Quais as principais diferenças entre radiações alfa e beta? Três (3) Por que a radiação gama não sofre desvios ao passar por uma região de campo eletromagnético?* Retomar alguns aspectos da atividade lúdica das bolinhas de isopor para sistematizar os conceitos de **força nuclear**, **transmutação nuclear**, **decaimentos radioativos alfa** e **beta** fazendo referência a ela e colocando alguns exercícios mentais para exemplificá-los.

No quinto e último encontro, o andamento das aulas transcorreu como esperado pelo planejamento. Os estudantes das duas turmas **A** e **B** não só conseguiram realizar a atividade lúdica do dominó, como também produziram um relatório sobre atividade utilizando os conhecimentos científicos de transmutação nuclear, decaimentos radioativos alfa e beta, visto no quarto encontro.

Avaliando o **andamento das aulas**, foi percebido que a sequência de ensino-aprendizagem como um todo precisava ser reestruturada. Como observado, todos os outros encontros foram comprometidos pelo início e término das aulas nas duas turmas **A** e **B**, acarretando nas dificuldades do professor para cumprir com o cronograma da sequência e seus objetivos.

Esses acontecimentos, juntamente com os aspectos cronológicos do novo contexto de implementação (turma do curso técnico de Informática do IF-BAIANO), nos levaram areestruturar a sequência de ensino-aprendizagem para oito (8) aulas de cinquenta (50) minutos (anexo) e não mais doze (12).

5.2.2- Participação dos estudantes nas atividades.

Para a categoria, **participação dos estudantes nas atividades**, sua avaliação foi feita pelos próprios estudantes das turmas **A** e **B** a partir da questão-*como você avalia sua participação nas aulas e atividades desenvolvidas por meio da sequência de ensino-aprendizagem?* Essa avaliação é vista como a segunda condição necessária para que ocorra uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 2011).

Para Moreira (2011, p.24) as condições para a aprendizagem significativa são essencialmente duas: "*um* (1), *o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e dois (2), o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender"*. Logo os resultados dessa categoria só teriam significados se fossem avaliadas pelos olhos dos estudantes e, quando cabível, ponderados por nós.

As respostas dos estudantes das turmas **A** e **B** foram transcritas e apresentadas a seguir.

Estudantes (**E_4-A**). *"A forma didática com que as aulas e atividades foram desenvolvidas tornou minha participação mais proveitosa, aprendi mais sobre o assunto".*

Estudantes (**E_{11}-A**). "*Minha participação foi bastante proveitosa, porém achei que o tempo foi curto e isso dificultou um pouco a minha aprendizagem, mesmo porque eu tenho bastante dificuldade em conceitos de física, mais achei muito relevante a forma com que as atividades foram desenvolvidas*".

Estudantes (**E_{15}-A**). "*Acho que minha participação foi mais ativa nas atividades práticas do dominó e das bolinhas de isopor, o aprendizado ficou mais facilitado*".

Estudantes (**E_{10}-B**). *"A dinâmica feita em sala de aula foi uma experiência produtiva, no sentido de, além de você saber teoria, podíamos participar das aulas e vivenciar a prática"*.

Estudantes (**E_{15}-B**). "*Como aulas foram bastante didática gostei muito da proposta e achei minha participação muito proveitosa, visto que eu não participava muito das aulas, por achar chata e difícil de compreender os assuntos*".

Estudantes (**E_{19}-B**) "*A dinâmica das aulas nos forçou a participar mais, pois toda hora o professor fazia perguntas e sem dar respostas ele fazia com que a gente participasse mais das aulas, mesmo assim acho que participei mais das atividades do dominó e das bolinhas de isopor*".

Com esses exemplos, foi possível perceber que a forma diferenciada da sequência de ensino-aprendizagem torna a participação dos estudantes muito mais ativa e, mesmo existindo uma dificuldade no andamento das aulas durante os encontros, eles não deixaram de cumprir seus papeis na construção dos conhecimentos sobre a radioatividade.

5.2.3- Avaliação dos recursos de ensino.

Os resultados da avaliação da sequência de ensino-aprendizagem, por meio da categoria **recursos de ensino**, estão fundamentados nos pressupostos teóricos para o desenvolvimento do projeto da *Teaching-Learning Sequence* (KARTTMANN *et al*., 1995; ARTIGUE, 1988; LEACH; SCOTT, 2002; LIJSEN; KLAASSEN, 2004; MÉHEUT; PSILLO, 2004; LOPES *et al.,* 2008; TIBERGHIEN, *et al*., 2009).

Sob o olhar desses pressupostos teóricos, os de recursos de ensino, tais como, os vídeos, os textos, atividades lúdicas e experimentais são imprescindíveis para o desenvolvimento das aulas na sequência de ensino-aprendizagem (LIJSEN; KLAASSEN, 2004). São por meio deles que professores e estudantes sistematizam os conhecimentos científicos e criam uma sequência lógica do conteúdo no processo de ensino-aprendizagem (LOPES *at al*., 2008; TIBERGHIEN *et al*., 2009).

Assim sendo, o **vídeo e o texto um (1)** - *A descoberta da radioatividade*, cujos conteúdos eram os mesmo, abordavam aspectos históricos e conceituais da descoberta da radioatividade. O professor, ao exibir o filme e fazer a leitura coletiva do texto com os estudantes era permitido, de forma didática, apresentar o contexto histórico, os personagens (cientistas) responsáveis pelos estudos, dentre eles, o casal Marie Curie (1867- 1934) e Pierre Curie (1859-1906), Ernest Rutherford (1871- 1937), Röentgen (1845 - 1923), Henri Becquerel (1852-1908).

Estes recursos para a sequência de ensino-aprendizagem proporcionavam aos estudantes tanto conhecer o lado humano da produção do conhecimento

científico, quanto à participação coletiva de vários pesquisadores que, ao mesmo tempo, se debruçavam sobre as mesmas questões de pesquisa.

Para os aspectos conceituais, o uso do vídeo e do texto um (1) - *A descoberta da Radioatividade* - proporcionava ao professor sistematizar os conceitos físicos presentes no estudo da radioatividade, tais como, fosforescência, fluorescência, emissão, absorção, poder de penetração, bem como os elementos químicos descobertos, urânio, tório, polônio, rádio.

A **atividade das bolinhas de isopor**, juntamente com o **texto dois(2)**- *Entra em cena uma nova figura, Ernest Rutherford* – representaram mais um elemento essencial da sequência de ensino-aprendizagem. O professor, por meios deles, desenvolveu os conceitos científicos de transmutação nuclear (transformação de um elemento químico em outro pelo processo de decaimentos radioativos alfa e beta), força nuclear forte, força nuclear fraca, força eletromagnética, dimensões do núcleo atômico, decaimentos radioativos alfa, beta e gama.

Conceitualmente, os decaimentos alfa são núcleos do átomo de hélio, o decaimento beta é a emissão de elétrons, partícula beta menos (β^-), ou pósitrons, partículas beta mais (β^+) com mesma massa do elétron, mas com carga elétrica positiva. Já, a força nuclear forte é a força responsável pelos fenômenos que ocorrem a curta distância (10^{-15}m) no interior do núcleo atômico. Ela é responsável pela estabilidade nuclear, pois dentro desse alcance sua intensidade supera a ação repulsiva da força eletromagnética e, com isso, mantém o núcleo unido, evitando que os prótons que os constituem, por possuírem a mesma carga elétrica, simplesmente sofram uma intensa repulsão e destruam o próprio átomo. Em outras palavras, é a força responsável pela manutenção da matéria na forma que a conhecemos.

A força nuclear fraca é uma força que age em uma dimensão ainda menor (10^{-18}m) no interior do núcleo atômico, do que a força forte. Fisicamente, nessa dimensão, o próton formado por partículas elementares chamadas Quarks [2 **up** e 1 **down, próton** (**u, u, d**)] (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2011; PIRES; CARVALHO, 2014), ao ser convertido em um nêutron [1 **up**, 2 **down, nêutron** (u, d, d)], por decaimento beta nuclear, tem um Quark “up” transformado em um Quark “**down**”. É nesse processo que, justamente, a força nuclear fraca atua no sentindo de explicar os processos de decaimento radiativo beta (emissão de elétrons de altas energias).

Por fim, a força eletromagnética é a força que está presente nos fenômenos elétricos e magnéticos (como interações indissociáveis) e explica por que os elétrons com carga negativa orbitam o núcleo dos átomos.

Para efeito ilustrativo, apresentamos uma imagem dos estudantes da turma **B**, montado a atividade das bolinhas de isopor (Imagem 1).

Essa atividade era composta pelo roteiro um (1) com questões, tais como: *o que poderá acontecer durante a colagem às bolinhas? Elas ficaram, realmente, presas com essas fitas adesivas? Caso elas não fiquem presas, e, comecem a cair, vocês saberiam justificar o motivo da queda? O que essas bolinhas representam para vocês quanto analogia ao núcleo atômico? Quais forças poderiam imaginar que estão atuando nessas bolinhas para que as bolinhas que estão mais próximas no centro do arranjo (quantidade total das bolinhas coladas) permaneçam presas e as mais distantes caiam? Que fenômeno da Física Nuclear está por trás dessa atividade lúdica?*

Sob a lente do modelo teórico “Demanda de Aprendizagem” (LEACH; SCOTT, 2002) a atividade lúdica das bolinhas de isopor juntamente com o texto dois (2), por proporcionar o ensino dessa gama de conceitos, pode fornecer caminhos importantes para investigar como os estudantes constroem seus conhecimentos sob o ponto de vista epistemológico.

Imagem 1. Estudantes realizando a atividade das bolinhas de isopor.
(Arquivo do Autor)

No entanto, vale ressaltar que, devido sua realização não ter gerado dados suficientes, buscamos reestruturá-la tornando sua abordagem puramente lúdica, em um primeiro momento (questões sem cunho conceitual), para, em um momento

seguinte, o professor fazer as relações entre os conceitos e as questões do novo roteiro.

O novo roteiro ficou como apresentado no quadro cinco (5) a seguir e descreve sucintamente todo o andamento da atividade, bem como os materiais presentes para a realização da mesma.

A **atividade lúdica do dominó**, também sob o ponto de vista da Demanda de Aprendizagem (LEACH; SCOTT, 2002), por proporcionar um momento dos estudantes aplicarem os conceitos aprendidos, tornou-se um recurso importante para avaliar as falhas e lacunas do processo de ensino-aprendizagem durante a implementação da sequência. Esses resultados são apresentados a seguir, no quadro cinco (5).

Para a realização da atividade lúdica do dominó, os estudantes das turmas **A** e **B** utilizaram uma tabela periódica, um roteiro dois (2), materiais didáticos (cartolina, pincel atômico, lápis, borracha e régua).

Quadro 5. Novo roteiro da atividade das bolinhas de isopor.

Roteiro (1). Atividade lúdica das bolinhas de isopor.

Objetivo: colar, aproximadamente, 100 unidades de bolinhas de isopor a partir de um esquema apresentado pelo professor (uma única bolinha presa com um barbante e suspensa por um suporte).

Materiais:100 unidades de bolinhas de isopor; cola branca, cola bastão, cola de silicone, fita adesiva.

Grupos: máximo de cinco (5)estudantes por grupo.

Regras: para a colagem das bolinhas, os grupos deverão:

- Primeiro: escolher um dos elementos químicos presentes no texto1 sobre a descoberta da radioatividade, a saber: o Urânio, o Tório, o Polônio ou o Rádio.
- Segundo: escolher o tipo de cola que irão utilizar para colar as bolinhas (a cola bastão, a cola de silicone, a cola branca ou a fita adesiva).
- Terceiro: proceder à colagem das bolinhas sem tocar nas bolinhas já coladas a partir do esquema apresentado pelo professor.
- Quarto: responder as questões presentes a seguir.
    1. *O que mantem as suas bolinhas presas?*
    2. *Quantas bolinhas vocês conseguiram colar antes da primeira cair?*
    3. *Por que as bolinhas estão caindo?*
    4. *O elemento que vocês escolheram para nomear o conjunto das bolinhas continua o mesmo?*

Comentário*: vocês escolheram um tipo de cola para grudar as bolinhas, mas no átomo, mais precisamente, no núcleo do átomo, não existe cola! Pergunta-se: o que poderia realizar este mesmo papel no núcleo do átomo?*

No roteiro dois (2) encontravam-se as seguintes orientações: *nesta folha, façam um relatório da atividade, abordando cada etapa realizada. Para o relatório ficar completo, não deixe de falar sobre os conceitos que vocês utilizaram para justificar as respostas.*

Com base no roteiro dois (2), a atividade foi orientada em duas etapas, a primeira os estudantes resolveriam as seguintes questões: um (*1) - Com base no dominó* (Figura 1)*, identifique os tipos de partículas (indicadas pelas setas) emitidas por cada um dos elementos; dois (2) - Após essa identificação dos tipos de partículas emitidas, procure na tabela periódica os elementos químicos correspondentes a cada um dos elementos nos quadrinhos e três* (*3) - Construam o seu próprio dominó, usando este mesmo modelo, porém, em tamanho maior. Faça-o na cartolina que receberam, colocando, o nome da partícula, o elemento químico correspondente, a cada um dos decaimentos, até chegar ao último quadro*.

Na figura 1, estão representados por símbolos os elementos químicos que sofreram sucessivas transmutações nucleares (decaimentos radioativos de partículas, alfa e beta) a partir de um único elemento, até se tornarem mais estável. Além disso, cada elemento está separado por um retângulo que possui uma seta centralizada, representando a emissão de partículas alfa ou beta, as quais os estudantes também tinham que identificar.

Na segunda etapa, os estudantes precisavam responder mais duas questões, a saber: quatro (*4) - Agrupe em um quadro separado do dominó, porém ainda na cartolina, os elementos químicos isótopos;* cinco (*5) - Apresente aos seus colegas o seu dominó, justificando a realização de cada etapa, a partir do relatório que cada grupo confeccionou (uma imagem melhor encontra-se anexo).*

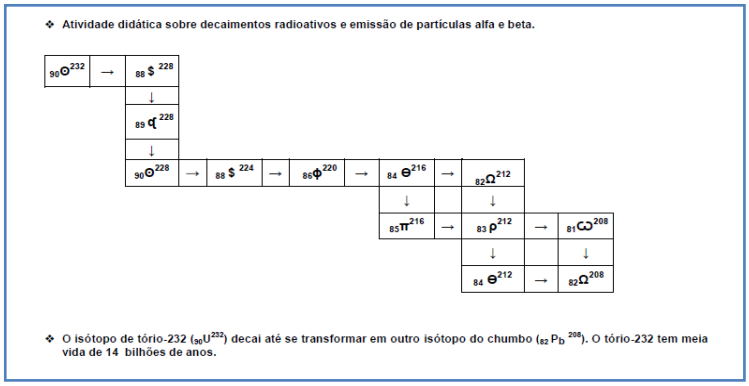


Figura 1. Modelo de um dos dominós ilustrando os decaimentos radioativos dos elementos químicos instáveis, adaptado (PIETROCOLA *et al*., 2010, p.437).

Assim, os resultados apresentados pelos estudantes das turmas **A** e **B**, foram divididos da seguinte forma: os grupos que não utilizaram os conceitos para explicar a atividade (quadro 6); os grupos que explicaram a atividade de forma conceitualmente errada (quadro 7) e os que explicaram a atividade de forma correta (quadros 8 e 9).

Ao observamos o quadro seis (6), percebemos de imediato que nenhum dos grupos fizeram menção aos conceitos de transmutação nuclear, decaimentos alfa ou beta. Logo, isso representou as primeiras falhas e lacunas do processo de ensino-aprendizagem (LEACH; SCOTT, 2002).

Quadro (6). Relatórios das turmas A e B sobre a atividade do dominó.

Turma A (ST11)- Grupo 1A.
Na primeira etapa foram identificados em ordem os elementos químicos, na tabela periódica, identificamos o número atômico dos respectivos elementos.
Ao mesmo tempo a folha que foi entregue estava reproduzida no cartaz (cartolina). *Logo em seguida começou-se a colocar os quadrados que ainda estavam em branco, identificando o número de massas, números atômicos e os símbolos especificando de acordo com cada substância, dizendo se o decaimento é por alfa ou beta. Após essas identificações, o grupo já tinha a base do trabalho quase completa, começamos a colocar os elementos, o azul identificava o seu símbolo e o marrom o número atômico e o número de massa, para lembrar, o decaimento foi pintado de azul para que dessa forma facilitasse a legenda.*
Concluindo a atividade identificamos em uma tabela, no cartaz, os elementos isótopos – mesmo número de prótons – urânio, tório, polônio, chumbo, bismuto e tálio.
Turma B (ST 12) - Grupo 3B.
Ao iniciar a atividade, primeiro identificamos os tipos de radioatividade e partículas e verificamos que só existiam partículas (alfa e beta). Depois procuramos na tabela os elementos químicos e fomos substituindo os símbolos no meio de cada dominó pelo nome correspondente a cada símbolo. Após concluirmos esta etapa, nós desenhamos o dominó com os símbolos substituídos pelos elementos químicos em uma cartolina.

Não obstante, além das falhas e lacunas do processo de ensino-aprendizagem, a não utilização dos conceitos pelos estudantes para explicar a atividade, podem estar associados às *"principais dificuldades encontradas na abordagem de determinado conteúdo"* (MENEZES *et al., 2013, p.3303)*. No entanto, esse aspecto foi peça fundamental para a reestruturação da sequência de ensino-aprendizagem, funcionando também como indicador para a reformulação da atividade lúdica do dominó, tanto no aspecto do roteiro, quanto na forma de execução (não mais como um dominó, mas um quebra-cabeça).

Para os grupos das turmas **A** e **B** que explicaram a atividade de forma conceitualmente errada, os resultados estão apresentados no quadro sete (7).

Quadro (7). Relatórios das turmas A e B sobre a atividade do dominó.

Turma A (ST11) - Grupo 4A.

*Foi observando na atividade que sempre que os elementos estão na **posição vertical são β (beta)**, e quando estão na **posição horizontal são α (alfa)**.O α tem o **poder de absorver 2 unidades no número atômico** e **4 unidades no número de massa** de um elemento, transformando-se em outro elemento, já o β conserva o número de massa.*

Turma A (ST11) - Grupo 5A.

*Os conceitos relevantes a cada tipo de decaimento ajudou-nos a identificar cada etapa. A respeito disso temos: decaimento alfa é um núcleo atômico de Hélio, muda-se a **estrutura celular (transmutação)**. Decaimento beta é a **emissão de partículas beta que acontece sempre pela falta ou excesso de nêutrons**. Decaimento gama, continua na etapa de decaimento, como o mesmo elemento, só que em partículas menos excitadas.*

Analisando os trechos dos relatórios dos estudantes da turma **A**, percebemos que para o **grupo 4A**, os decaimentos alfa e beta estavam associados à **posição vertical ou horizontal da seta** no roteiro da atividade (Figura 1 do dominó). Além disso, por não compreenderem o significado da partícula alfa como um decaimento radioativo, afirmaram que ela tem poder de **absorver duas (2) unidades do núcleo atômico e quatro (4) unidades do número de massa**.

Para os estudantes do **grupo 5A**, a transmutação nuclear ocorre devido à **mudança na estrutura celular** do átomo e os raios gama são compreendidos como **partículas energéticas menos excitadas**.

Do ponto de vista conceitual, o decaimento beta são elétrons ou pósitrons, sua emissão sempre ocorre por **conversão de um nêutron em um próton** com emissão de um elétron partícula (β^-) ou por **conversão de um próton em um nêutron** com emissão de uma partícula (β^+). Já o decaimento alfa é emissão de uma partícula carregada com dois (2) prótons e dois (2) nêutrons, logo quatro (4) unidades de massa atômica, conhecida como núcleos do átomo de hélio.

Em uma representação pictórica, a emissão das partículas alfa (no dominó) acontecia sempre que os elementos químicos radioativos, devido a sua desintegração nuclear, se transformavam em outro elemento. Este novo elemento passava a ter dois (2) números atômicos e quatro(4) unidades de massa a menos,

que o elemento anterior, como mostrado da figura 1 e, não devido à posição horizontal das setas (explicação dos estudantes).

No **grupo 5A**, apesar da célula ser constituída por milhões de átomos. Os átomos são constituídos por prótons, elétrons, nêutrons, sendo que os prótons e nêutrons são formados por várias outras partículas fundamentais [13]. Logo, na transmutação nuclear **não muda a estrutura celular** do átomo, pois este não possui. Os raios gama são **ondas eletromagnéticas** e, não partículas. Possuem bem mais energia do que as partículas alfa e beta, porém sem massa e sem carga.

Os erros conceituais dos estudantes reforçaram a necessidade de reformulação da atividade e indicaram, também, as mesmas falhas e lacunas do processo de ensino-aprendizagem dos conceitos sobre a radioatividade.

Quadro (8). Transcrição dos relatórios dos estudantes das turmas **A** e **B.**

(Turma A - Grupo 2A).“*Na primeira etapa, para identificar as partículas observando o número atômico e o número massa de cada elemento. Quando o elemento possui o mesmo número de massa o decaimento é beta e quando o elemento possui o número de massa diferente o decaimento é alfa.No decaimento alfa o elemento perde 2 prótons, o número de massa decai em 4 números (unidade de massa), transmutando-se assim em outro elemento.No decaimento beta o elemento ganha 1 próton, o número de massa permanece o mesmo e decai em outro elemento”.*

(Turma A - Grupo 3A).*“Quando o elemento decai em **alfa ele emite um núcleo de hélio (2 prótons e 2 nêutrons**) diminuindo em quatro os números de massa e em dois os números atômicos, transformando-se em outro elemento”*.

(**Turma B (ST 12) - Grupo 1B)**.“*Ao realizar o estudo sobre decaimento radioativo, observamos que através da transmutação nuclear o elemento “U” (Urânio) sofreu transformações no interior do núcleo. Isso ocorreu a partir da emissão de partículas radioativas α (alfa) e beta (β), gerando o decaimento gradual, formando um elemento diferente do original. Esse resultado foi obtido a partir do cálculo usado para identificar tais transformações onde**: - Na emissão de partículas β (beta), a massa permanece a mesma, enquanto que o número atômico aumenta em 1, no entanto, pode ser β^- (beta menos) elétron ou β^+ (beta mais) pósitron - Na emissão de partículas α (alfa), a massa decai em quatro, enquanto que o número atômico diminui em 2**. Dessa forma, o elemento que inicialmente era Urânio, através das transformações sofridas originou o Chumbo. Assim, finalizando o estudo”.*

(Turma B (ST 12) - Grupo 2B). “*Inicialmente o grupo analisou o dominó e comparou os números atômicos dados, com os números atômicos da tabela periódica. A informação da parte inferior também foi importante para ajudar a solucionar a atividade. Logo, o primeiro elemento é o Urânio que sofreu um decaimento alfa que diminuiu 4 números de massa e 2 números atômicos. Concluímos que o Urânio virou Tório, e este sofre um decaimento beta permanecendo com o mesmo número de massa (231), porém aumentou 1 o número atômico”.*

[13] Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf. Acessado em 28 de julho de 2015.

Não obstante, as potencialidades da atividade do dominó, mesmo mostrando falhas, proporcionaram à maioria dos estudantes, das turmas **A** e **B**, apresentarem suas compreensões significativas dos conceitos de decaimentos alfa, beta e de transmutação nuclear. Os resultados estão apresentados nos quadros oito (8) e nove (9). Eles representam os motivos da atividade ter sido utilizada também como um valioso recurso de ensino para a sequência de ensino-aprendizagem.

Quadro 9. Transcrição dos relatórios dos estudantes da turma **B.**

(Turma B (ST 12) - Grupo 4B).*"Ao construir nosso dominó radioativo identificamos o decaimento nos elementos apresentados se é alfa ou beta.Identificamos o decaimento alfa em alguns elementos onde tiveram uma diminuição de quatro (4) no número de massa e dois (2) no número atômico dentro do núcleo dos elementos.E houve o decaimento beta em alguns elementos, quando na transmutação de um elemento para outro, não teve mudança em seu número de massa.Em seguida, identificamos os elementos químicos na tabela periódica, através do número atômico e número de massa".*

Por esses resultados, percebemos que os estudantes começam a compreender a ideia dos fenômenos de transmutação nuclear. Como evidência, o **grupo 3A** (quadro 8) identificou a partícula alfa como sendo um núcleo do átomo de hélio, "***o elemento decai em alfa, ele emite um núcleo de hélio, dois (2) prótons e dois (2) nêutrons".*** Da mesma forma que **o grupo 1B** (quadro 8), quando explicou que ***"na emissão de partículas β (beta), a massa permanece a mesma, enquanto que o número atômico aumenta em um (1), no entanto, pode ser (β^-) beta menos elétron ou beta mais, pósitron (β^+)"*.**

Não obstante, por meio das categorias de análises, andamento das aulas, participação dos estudantes nas atividades e avaliação dos recursos de ensino, buscou-se controlar os parâmetros observados no desenho da sequência de ensino-aprendizagem para podermos reestruturá-la (NICOLAU *et al.,* 2013).

Ao sistematizar nossa análise por meio dessas categorias, iniciamos os procedimentos para a validação dos conhecimentos produzidos, atendendo para o processo cíclico de desenho, aplicação, análise e redesenho.

Para Nicolau *et al.* (2013), essas atitudes vão permitir que as modificações ou inclusões de novos parâmetros possam ser avaliadas ciclo a ciclo e produzam um conjunto de respostas transferíveis a outros contextos.

Com esses resultados, finalizamos a avaliação da primeira versão da sequência de ensino-aprendizagem (*protopríncipio de design*) apresentando, a seguir (Figura 2), uma nova estrutura depois de sua reestruturação.

Aulas	Tempo Estimado (min)	Conteúdo	Materiais didáticos
1	50	Implicações da radioatividade nos contextos sociais, políticos e econômicos.	Vídeos e questionário 1.
2	50	A descoberta da radioatividade	Vídeo e texto1.
3	50	Por que alguns elementos são radioativos e outros não?	Notícias de jornais Texto 2.
4	50	Força nuclear forte, decaimentos radioativos, número de prótons, número de massa, número de nêutrons, decaimentos alfa, beta e gama e meia vida.	Exercícios
5	50	Instabilidade e transmutação nuclear	Atividade lúdica com bolinhas de isopor.
6	50	Instabilidade e transmutação nuclear	Aula expositiva
7	50	Aplicação dos conceitos de decaimentos alfa e beta, transmutação nuclear, isótopos.	Quebra-cabeça radioativo.
8	50	Avaliação final da Sequência de Ensino-Apendizagem.	Questionário.

Figura 2. Estrutura geral da sequência de ensino-aprendizagem após a reestruturação. (Construção do Autor)

5.3- Conclusão.

Concluímos o capítulo 5, mostrando as associações necessárias entre os objetivos da sequência de ensino- aprendizagem e a teoria metodológica específica, a *DBR*, de uma forma ativa quanto pesquisadores. Portanto, os resultados obtidos, com a primeira implementação, serviram para compartilhar suas relevâncias tanto com o professor no segundo contexto, quanto aos demais pesquisadores a partir de dois (2) trabalhos apresentados em eventos da área, em nível nacional.

6- AVALIAÇÃO INTERNA DA SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM.

A *avaliação interna* da sequência de ensino-aprendizagem é realizada por um processo de *pré-teste e pós-teste* com os dados recolhidos sob a forma de testes realizados com os estudantes antes e depois dos conhecimentos científicos estudos (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

Dessa forma, neste capítulo, mostramos como a *avaliação interna* da sequência de ensino-aprendizagem foi realizada, após termos, na primeira implementação, atendido o processo ciclo de desenho, implementação, avaliação e redesenho (COLLECTIVE, 2003; NICOLAU *et al*., 2013), com objetivos de produzir conhecimentos que pudessem ser compartilhados com a comunidade do ensino de Física e transferidos para novos contextos de implementação.

Vale lembrar que tais resultados foram obtidos por meio da observação e classificação dos **subsunçores** existentes na estrutura cognitiva dos estudantes das turmas de Física do curso técnico de Segurança do Trabalho, bem como a sistematização das categorias de análise – um (1) **andamento das aulas**; dois (2) **participação dos estudantes nas atividades** e três (3) **avaliação dos recursos de ensino**, cujas funções da primeira (1), foram para tornar públicas as singularidades dos contextos educacionais de implementação (TIBERGHIEN, 1996; TIBERGHIEN *et al.*, 2009) e, das duas últimas dois e três (2 e 3), fornecer as condições necessárias para uma efetiva aprendizagem significativa dos conhecimentos científicos (AUSUBEL, 1963; MOREIRA, 2011).

A inclusão de novos parâmetros no processo de reestruturação dos recursos de ensino, tais como as mudanças nas abordagens das atividades lúdicas com as bolinhas de isopor e com o dominó radioativo, bem como a inclusão de textos sobre notícias de jornais, por meio do trabalho (SANTOS; PEREZ-ESTEBAN, 2012), pode ser considerada como a materialização dessas condições.

Não obstante, para podermos incluir o modelo de estrutura didática (LIJSEN; KLAASSEN, 2004) na *avaliação interna* da sequência de ensino-aprendizagem, buscamos compreender a fase um (1), como momento para o levantamento das concepções prévias dos estudantes da turma do curso Técnico de Informática (TI)

(que pode ser considerada, o *pré-teste*); as fases dois e três (2 e 3), a ampliação dessas concepções por intermédio dos recursos de ensino (textos, notícias de jornais, vídeos, atividade lúdica das bolinha de isopor); a fase quatro (4), aplicação dos conceitos estudados na atividade lúdica do "quebra-cabeças radioativo"; as fases cinco e seis (5 e 6), que apesar de serem destinadas à reflexão dos estudantes sobre as suas necessidades de orientação teórica, promoveu nossa reflexão quanto pesquisadores durante a avaliação do questionário do *pós-teste.*

Feitas essas considerações sobre as seis fases do modelo de estrutura de didática, gostaríamos de salientar que, como a fase quatro (4) representa o momento dos estudantes aplicarem os conceitos científicos estudados durante a sequência de ensino-aprendizagem, nós consideramos os dados produzidos pelos estudantes da turma de (TI), em forma de relatório da atividade lúdica do "quebra-cabeça radioativo" parte integrante da *avaliação interna* da sequência de ensino-aprendizagem. Os resultados obtidos com a análise desses dados corroboraram para mostrar os efeitos positivos da reestruturação da sequência de ensino-aprendizagem.

Não obstante, o questionário do *pós-teste* (apêndice) esteve fundamentado em Barragán *et al.* (2009), cujo estudos envolveram situações-problemas- "*estruturas narrativas com lacunas que impõem certas mobilizações cognitivas para o entrevistado"* (BARRAGÁN *et al*., 2009, p. 4) sobre o tema radiação e suas tecnologias, para avaliar as "*ideias informais ou senso comum"* - "*forma socialmente construída de descrever e explicar o mundo"* (*ibidem*, p.3) - de três turmas de estudantes do Ensino Fundamental em escolas públicas de Belo Horizonte. A partir desses estudos, selecionamos oito (8) questões relacionadas ao tópico radioatividade, para formar o questionário do *pós-teste* e aplicamos com a turma de (TI). Com isso, avaliarmos se os estudantes apresentaram indícios do estreitamento de seus conhecimentos prévios (*subsunçores*) ao utilizarem os conceitos da radioatividade para interpretar e se posicionarem diante das situações-problemas apresentadas (LIJSEN; KLAASSEN, 2004; BARRAGÁN *et al.,* 2009).

6.1- Análise do questionário do *pré-teste.*

Para os *subsunçores*, conhecimentos prévios especificamente relevantes presentes na estrutura cognitiva do aprendiz (MOREIRA, 2011), vimos que os

estudantes das turmas **A** e **B**, na primeira implementação, possuíam dois importantes subsunçores para a compreensão da radiação. Um, como **uma forma de energia**, e o outro como **ondas eletromagnéticas**.

Para a compreensão da desintegração espontânea dos núcleos dos elementos químicos radioativos (emissão de radiação em forma de partículas alfa ou beta), ou seja, *o que torna alguns elementos radioativos e outros não, vimos* que esses subsunçores apareceram como sendo a **composição química** ou **física** desses elementos.

Para questões mais gerais (*a radiação é boa ou ruim? Como a radiação pode afetar os seres vivos?*) esses subsunçores apareceram como sendo, respectivamente, **tratamento do câncer** (radioterapia), **diagnósticos médicos** (Raios-X), **datação de fósseis por Carbono-14**, **produção de energia elétrica**, uso na **indústria,** na **agricultura** (lado bom). Pelo lado ruim, **acidentes nucleares**, **bombas atômicas**, **contaminação do habitat humano**, **mutação genética**, **câncer e morte**.

Na segunda implementação esses subsunçores também apareceram. Para exemplificar, na imagem (1) estão os resultados apresentados com a aplicação do *pré-teste* (questionário inicial).

Na imagem (1) (lado superior esquerdo) encontram-se os subsunçores para as questões mais amplas, questão dois (2a) - *a radiação é boa ou ruim;* questão dois (2b)- *como a radiação pode afetar os seres vivos*. No centro da lousa, estão os subsunçores para as questões um e cinco (1 e 5), respectivamente (*quais temas e assuntos você relaciona a radiação/ radioatividade*). Para as questões de cunho conceituais mais diretivas, questão três (3)- *como você define a radiação;* questão seis (6)- *como você define a radioatividade* e questão sete (7)- *Por que alguns elementos químicos são radioativos e outros não*, as respostas foram observadas diretamente no questionário. Todavia, assim como observado na primeira implementação, poucos estudantes apresentaram subsunçores.

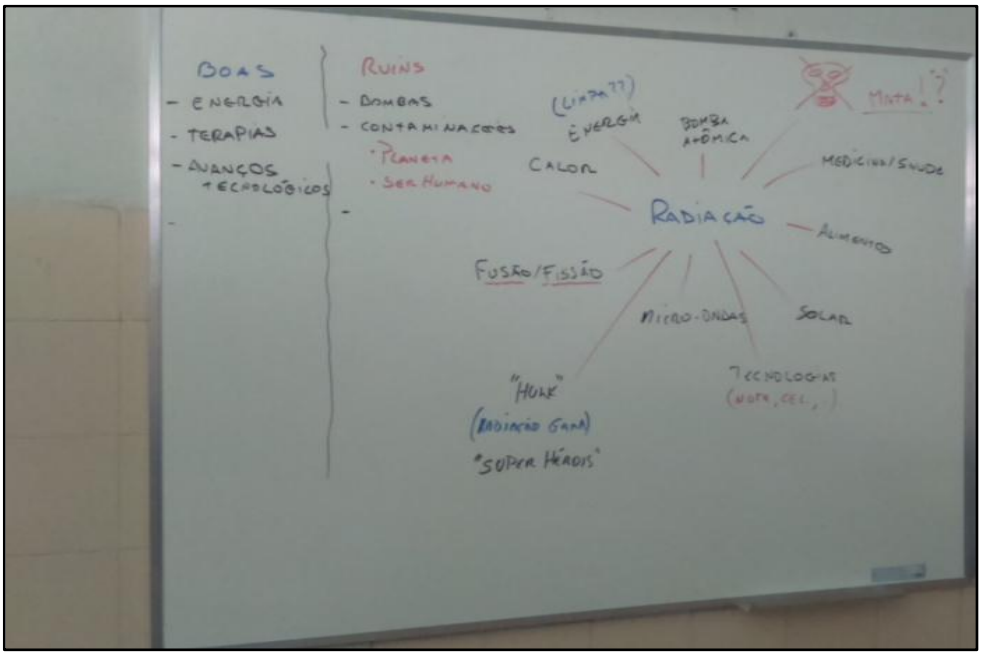


Imagem 1. Subsunçores apresentados pelos estudantes da turma do curso técnico de Informática. (ARQUIVO DO AUTOR)

Voltando para a imagem(1), no intuito de apresentar os resultados da análise de forma ordenada, observamos que nossa proposta de ampliar o campo de visão sobre os conhecimentos prévios dos estudantes, redirecionando todas as perguntas do questionário do *pré-teste*, funcionou. Percebemos que, além dos subsunçores apresentados pelos estudantes das turmas **A** e **B**, apareceram também na turma de informática outros, **radiação solar**, **calor**, **fissão nuclear**, **micro-ondas**, **radiação gama.**

No canto superior esquerdo da imagem (1), os estudantes da turma de informática expuseram também os mesmos subsunçores das turmas **A** e **B** do curso de segurança do Trabalho (questão dois (2a) – *radiação é boa ou ruim e dois (2b) – como a radiação pode afetar os seres vivos*), tais como: **energia**, **radioterapia**, **avanços tecnológicos** (lado bom), **bombas**, **contaminações radioativas** (lado ruim).

Para a questão três (3) - *como você defina a radiação* - apenas alguns estudantes definiram a radiação como sendo **ondas eletromagnéticas** ou **uma forma de energia**.

Estudante (E_3-TI) – *"Radiação nos dar a ideia de radio, que lembra **ondas**, infravermelho, **raios-x** e outros*". **Estudante (E_{14}-TI)** – "*Uma **forma de energia***

eficiente e necessária para a humanidade (não lembro a definição)". **Estudante (E_{20}-TI)**–*"Radiação é uma* ***forma de transferência de energia*** *de um elemento para outro"*. **Estudante (E_{22}-TI)** – *"São* ***ondas eletromagnéticas*** *que atravessam um ser ou um objeto"*.

Para a maioria dos estudantes, a radiação poderia ser definida como um **fenômeno da natureza** ou **raios** (numero expressivo de estudantes), **elemento químico**, **uma força** ou **estudo da radioatividade**.

Na questão seis (6)- *como você define a radioatividade* - oito (8) dos vinte e um (21) estudantes não responderam. Para quatorze (14) que responderam, um(1) definiu como sendo: *"medida do nível de radiação"* (**E_{15}-TI**) e os demais apresentaram respostas associadas ao estudo da radiação ou consequência dela.

Para a questão sete (7) - *Por que alguns elementos químicos são radioativos e outros não* - poucos estudantes, nove dos vinte e um (9 dos 21), responderam, porém, apresentaram os mesmo subsunçores encontrados na primeira implementação (transcrição a seguir).

Estudante (E_4-TI)- *"Acredito que depende da* ***composição****, reação, substância existente no elemento".* **Estudante (E_7-TI)** - *"Eu conheço o* ***urânio como radioativo****"*. **Estudante (E_9-TI)**- *"O único elemento natural que conheço que é* ***radioativo é o urânio****"*. **Estudante (E_{10}-TI)**- *"Por causa da* ***composição*** *de suas moléculas"*. **Estudante (E_4-TI)**- *"Porque depende da sua* ***composição****".*

Esses resultados (*pré-teste*), para a *avaliação interna* da sequência de ensino-aprendizagem, revelaram a existência de um **padrão de ideias** em relação ao estudo da radioatividade que, por sua vez, está em comum acordo com diversos estudos realizados em diferentes partes do mundo (BARRAGÁN *et al*., 2009).

Segundo Barragán *et al.* (2009), na década de 1970, por exemplo, a partir dos estudos de Viennot (1979) em diferentes partes do mundo, os resultados de pesquisas revelaram um mesmo padrão de ideias entre estudantes de vários níveis de escolaridade em relação a esses conceitos científicos investigados. Por conseguinte, nessa mesma década, Barragán *et al*. (2009, p.4) afirmam que "*iniciou-se um programa de pesquisa intitulado Alternative Concepts Movement (ACM)",* cuja contribuição foi dada para fortalecer uma visão construtivista de ensino-

aprendizagem predominante até início dos anos 1990 na área de Educação em Ciências e Matemática (MATTHEWS, 1992; BARRAGÁN *et al*., 2009).

Nas últimas décadas no cenário internacional, estudos mostraram que as concepções dos estudantes tornaram-se, novamente, o foco para o ensino de Ciências, dentro da mesma visão construtivista dos anos 1970 (MÉHEUT; PSILLOS, 2004; LIJSEN; KLAASSEN, 2004; LOPES *et al*., 2008; TIBERGHIEN *et al*., 2009). A partir desses estudos, essas concepções se tornaram a base fundamental para o projeto da *Teaching Learning Sequence* (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

6.2- Avaliação interna da sequência de ensino-aprendizagem por meio da atividade lúdica do quebra-cabeça radioativo.

A avaliação do recurso de ensino (quebra-cabeça radioativo) perpassou pela obtenção dos resultados obtidos a partir dos relatórios produzidos pelos estudantes (fase quatro) - aplicação dos conhecimentos estudados. Para fins de contextualização, apresentamos uma breve descrição após a reestruturação dos seus aspectos gerais.

A atividade pós-reestruturação passou a ser chamada de quebra-cabeça radioativo, devido sua montagem não ser mais por meio da construção de um diagrama em uma cartolina, mas pela junção das peças, como a de um quebra-cabeça tradicional. As peças são os elementos químicos e as partículas alfa e beta, cujos símbolos são representados por letras do alfabeto grego (Imagem 2).

A imagem (2) representa uma série de decaimentos radioativos do **Urânio-235**, cuja montagem necessitou de maestria dos estudantes, caso contrário, não conseguiriam chegar à série de decaimentos correta. Na imagem (2), além do quebra-cabeça montado, aparece também o relatório, cujos conteúdos serviram para avaliar o recurso de ensino.

Os conceitos necessários que os estudantes precisavam usar para realização da atividade foram os de transmutação nuclear, decaimentos alfa e beta, massa atômica, isótopos e isóbaros.

Os resultados das respostas dos estudantes foram apresentados de forma agrupada, visto que o relatório contou apenas com quatro (4) questões. Para cada uma colocamos as respostas nas tabelas (1, 2, 3 e 4), a seguir.

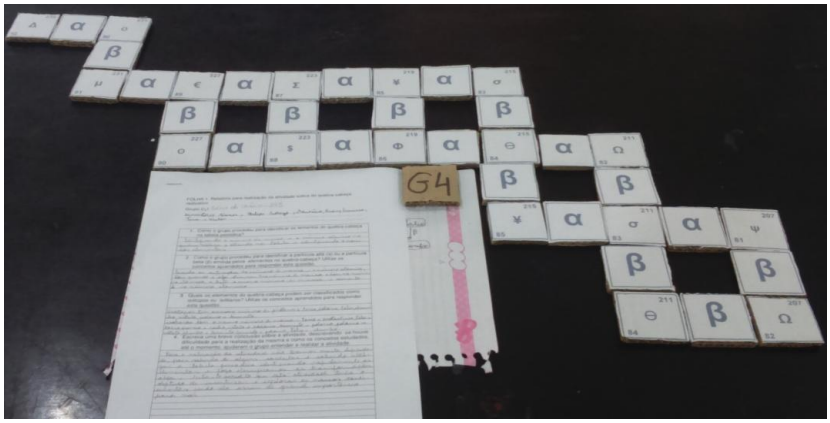


Imagem 2. Exemplo da atividade do quebra-cabeça radioativo montada por um dos grupos.
(ARQUIVO DO AUTOR).

Tabela (1). Grupo de respostas dos estudantes para a questão (1) do relatório.

Grupos	**Pergunta 1**. Como o grupo procedeu para identificar os elementos do quebra-cabeça na tabela periódica?
1	*Observando o **número de prótons** que identifica cada elemento químico.*
2	*Identificando os elementos analisando o **número atômico** na tabela periódica.*
3	*Verificando o número de massa e o número atômico.*
4	*Identificando o **número de massa e o número atômico** no quebra-cabeça e olhando na tabela periódica e identificando o mesmo elemento.*

Observando a tabela (1), percebemos que todos os grupos utilizaram os conceitos de número atômico (prótons) e massa atômica (prótons + nêutrons) para identificar na tabela periódica as peças do quebra-cabeça (elementos radioativos). Esses resultados podem ser entendidos como indícios de aprendizagem (LEACH; SCOTT, 2002) dos conceitos que se desejou ensinar.

Tabela (2). Grupo de respostas dos estudantes para a questão(2) do roteiro.

Grupos	**Pergunta 2**. Como o grupo procedeu para identificar a partícula alfa (α) ou a partícula beta (β) emitida pelos elementos no quebra-cabeça? Utilize os conceitos aprendidos para responder esta questão.
1	*Observamos a diferença entre o número de massa e o número de prótons.*
2	*Identificando que nas partículas alfa há um **decaimento de quatro (4) átomos** no número atômico (prótons e nêutrons), e dois (**2) átomos no número atômico** (prótons). Na partícula beta, o número de massa continua o mesmo e há um **decaimento de um (1) átomo no número atômico**.*
3	*Observamos o decaimento do número de massa e do número atômico.*
4	*Devido às alterações no número de massa e o número atômico, pois quando é alfa diminui quatro (4) no número de massa e dois do número atômico; beta o mesmo número de massa e aumenta um (1) no número atômico.*

Na tabela (2), as respostas dos estudantes dos grupos (1, 3 e 4), apesar de apresentarem alguns indícios de aprendizagem em relação à identificação das partículas alfa e beta, não explicaram conceitualmente essas partículas, apenas atribuíram-nas à mudança no número de massa atômica e do número atômico dos átomos das peças do quebra-cabeça. O grupo quatro (4), por exemplo, associou a identificação das partículas alfa e beta de forma correta, mas não chegaram à conclusão de que estas eram núcleos de Hélio (partícula alfa) e elétrons (partícula beta).

No grupo três (3), os estudantes associaram a identificação os **decaimentos de quatro (4) átomos** a partícula alfa e de **um (1) átomo no número atômico**, a partícula beta.

Esses resultados mostraram que, do ponto de vista conceitual, os estudantes apresentaram **demandas de aprendizagem** (LEACH; SCOTT, 2002) sobre os conceitos de partículas alfa e beta que necessitavam ser levadas em consideração na avaliação do recurso de ensino, pois as pertinências desses resultados podiam ser observadas pelas falhas e lacunas do processo de ensino-aprendizagem, ocorridas em algum momento anterior.

Tabela (3). Grupo de respostas dos estudantes para a questão (3) do relatório.

Grupos	**Pergunta (3)**. Quais os elementos do quebra-cabeça podem ser classificados como isótopos ou isóbaros? Utilize os conceitos aprendidos para responder esta questão.
1	*Isótopos: dois (2) isótopos de Tório (231 e 227); dois (2) isótopos de Astato (219 e 215); dois (2) isótopos de Polônio (215 3 21); 2 isótopos de Chumbo (211 e 207); dois (2) isótopos de Bismuto (215 e 211).* *Isóbaros: Tório e Protactínio (231); Actínio e tório (227) Frâncio e Radio (223); Astato e Radônio (219); Bismuto, Polônio e Astato (215); Chumbo, Bismuto e Polônio (211); Tálio e Chumbo.*
2	*Isóbaros: Rádio, Actínio, Tório, Polônio, Astato, Chumbo, Bismuto e Tálio.* *Isótopos: Tório, Rádio, Polônio e Chumbo.*
3	*Isóbaros: Protactínio, Urânio, Tório, Polônio, Astato, Chumbo, Bismuto, Tálio, são isóbaros, pois possuem o mesmo número de massa e numero atômico diferente. Isótopos: Tório.*
4	*Isótopos têm o mesmo número de prótons: tório, polônio, tálio, chumbo, astato e bismuto.* *Isóbaros têm o mesmo número de massa; tório e protactínio, tálio e tório, frâncio e rádio, astato e radônio, bismuto e polônio, polônio e astato, chumbo e bismuto, tálio e chumbo.*

Os resultados presentes na tabela três (3) mostraram que os estudantes não tiveram dificuldades em aplicar os conceitos de elementos isótopos e isóbaros. As respostas dos quatro grupos estão conceitualmente corretas, logo, também indicam indícios de aprendizagens.

Na tabela quatro (4), os estudantes revelaram que não houve dificuldades para a realização da atividade, porém não conseguiram explicar como os conceitos foram utilizados. Esperávamos que eles falassem dos fenômenos de transmutação nuclear, dos decaimentos radioativos como sendo a emissão de partículas alfa e beta, que as partículas alfa eram núcleos de hélio e as betas, elétrons ou pósitrons.

Tabela (4). Grupo de respostas dos estudantes para a questão quatro (4) do relatório.

Grupos	**Pergunta (4)**. Escreva uma breve conclusão sobre a atividade, descrevendo se houve dificuldade para a realização da mesma e como os conceitos estudados, até o momento, ajudaram o grupo entender e realizar a atividade.
1	*Não houve dificuldades, a identificação foi fácil, pois o grupo conhecia o conteúdo e conseguiu identificar rapidamente as transmutações.*
2	*Houve dúvidas na organização da atividade. Mas os conceitos de partículas alfa e beta, isótopos e isóbaros ficaram bem explicado e claro para o grupo.*
3	*Não houve dificuldades para a realização da atividade, só precisamos relembrar os conceitos de isótopos e isóbaros para fazer a identificação que foi requisita da questão anterior, Mas a execução de toda a atividade foi tranquila.*
4	*Para a realização da atividade não tivemos muita dificuldade, pois sabendo de alguns conceitos e sabendo utilizar a tabela periódica identificamos rapidamente os elementos e logo classificamos as transformações alfa e beta. Acreditamos que esta atividade tinha o objetivo de incentivar e explorar nossos conhecimentos, sendo assim, de grande importância para nós.*

Não obstante, a avaliação desse recurso de ensino, de um modo geral, nos forneceu dados importantes sobre indícios, lacunas e demandas de aprendizagem dos estudantes sobre os conceitos ensinados, que serviram de indicadores para a *avaliação interna* da sequência de ensino-aprendizagem.

A atividade do “quebra-cabeça radioativo”, não só tornou possível a materialização da fase quatro (4) do modelo de “*estrutura didática”*, como também mostrou, assim como os outros recursos de ensino, sua função essencial para elevar a sequência de ensino-aprendizagem ao status de subsídio teórico-metodológico de ensino-aprendizagem e pesquisa.

6.3- Análise do questionário do *pós-teste*.

A análise das respostas dos estudantes, como já mencionada, foi fundamenta pelo conceito de "*ideias informais ou senso comum - uma forma socialmente construída de descrever e explicar os mundos" (BARRAGÁN et al., 2009, p.3) utilizados como parâmetros em diversas pesquisas envolvendo o tema radiação ou radioatividade* (KELECOM; GOUVEA, 2002; SOARES, 2005; LEAL *et al*., 2006), cuja relevância refletiu, muitas vezes, no entendimento dessas ideias como fatores que influenciam a compreensão significativa dos estudantes do conhecimento científico (DRIVE *et al*., 1999; BARRAGÁN *etal*., 2009).

As reflexões, a cerca das respostas dos estudantes, ao questionário do *pós-teste*, foram fundamentas nas fases cinco e seis (5 e 6)- relacionadas às necessidades de conhecimentos teóricos dos estudantes, frente às situações-problemas apresentadas, fora do contexto de sala de aula.

Nossa fonte de dados se constituiu de oito(8) questões respondidas por vinte um (21) estudantes da turma do curso técnico de Informática (168 respostas). Assim, apresentamos um gráfico (Figura 1) para mostrar a existência de padrão de respostas dos estudantes às questões correlacionadas conceitualmente.

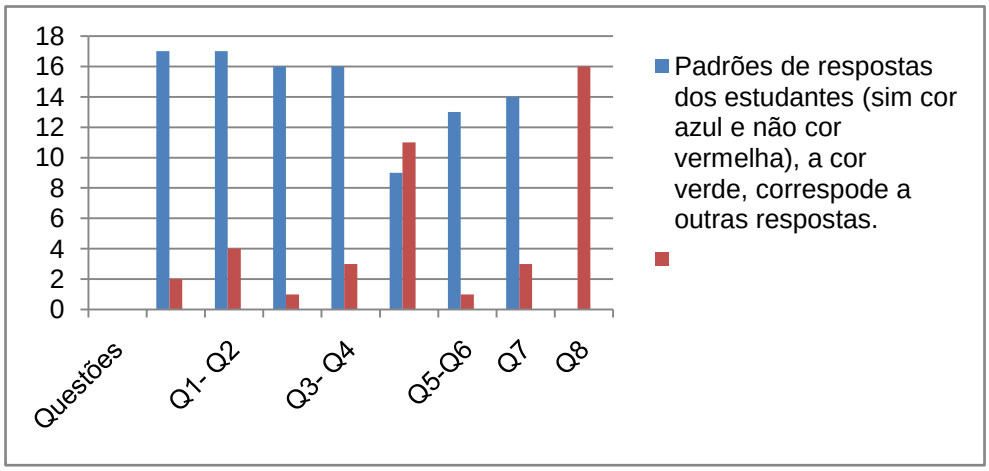


Figura 1. Gráfico com padrões de respostas dos estudantes (Construção do Autor).

No gráfico da figura (1), as questões estiveram relacionadas às situações-problemas voltadas para o conceito de **irradiação e contaminação radioativa** (1 e 2), (3 e 4) a **energia nuclear** (5 e 6) a **radiação solar** e (7 e 8) a **radioatividade**.

Assim, as barras na cor azul correspondem às respostas **SIM,** as barras na cor vermelha às respostas **NÃO**.

Analisando as respostas dos estudantes, fomos buscar uma explicação conceitual sobre irradiação e contaminação radioativa. Dessa forma, Okuno (1988) em seu livro - Radiação, Efeitos, Ricos e Benefícios - afirma que:

> Os alimentos irradiados, para fins de esterilização, com radiação gama emitida por uma fonte de Césio-137 ou Cobalto-60, não se tornam radioativos. Porém, os alimentos contaminados pela poeira radioativa, ou aqueles que receberam nutrientes radioativos via raiz, são radioativos (OKUNO, 1988, p.20).

Quadro (1). Questões (Q1-Q2).

Questão (1). *"ALIMENTOS IRRADIADOS são alimentos submetidos à radiação com o objetivo de reduzir a quantidade de microrganismos (como fungos e bactérias), presentes naturalmente, sem a necessidade de aditivos químicos. Esse processo também aumenta o período de validade dos produtos, pois retarda o amadurecimento. A irradiação de alimentos não altera o gosto deles nem suas propriedades. A OMS (Organização Mundial da Saúde) confirma que esses produtos não oferecem riscos à saúde e não contém níveis de radiação acima do normal. Todos os alimentos irradiados devem, obrigatoriamente, apresentar essa informação no rótulo. Você consumiria um alimento irradiado?* ***JUSTIFIQUE****".*
Questão (2). *"Considerando que o Brasil desperdiça milhões de toneladas de alimento em um ano, porque eles apodrecem, ou foram contaminados por microrganismos ou agentes químicos.* ***IMAGINE*** *a seguinte situação: Foi proposto ao governo que utilizasse em grande escala a tecnologia de IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS com o objetivo de diminuir essas perdas e aumentar as possibilidades de exportação, levando a um maior aproveitamento da produção brasileira.* ***Imagine*** *que esse projeto esteja em votação, que você é um membro do governo e o SEU voto será definitivo. Como você votaria?".* ***JUSTIFIQUE.***

Para as questões (Q1-Q2), dezessete (17) estudantes responderam **SIM,** justificando suas respostas na garantia da Organização Mundial de Saúde (OMS) de que esses produtos não ofereciam risco à saúde, nem continham níveis de radiação acima do normal, bem como nas próprias informações das questões. Alguns exemplos foram transcritos no quadro dois (2).

Para os seis (6) estudantes que responderam **NÃO**, para (Q1-Q2), as transcrições estão como seguem, respectivamente, no quadro três (3). As justificativas desses estudantes foram baseadas na aplicação da irradiação em larga escala (níveis de radiação acima do normal), bem como nas consequências, em longo prazo, ocasionadas por acúmulo de resíduos no organismo.

Com a explicação conceitual apresentada por Okuno (1988), percebemos que, os dezessete (17) estudantes que responderam **SIM** (quadro 2), tiveram seu

posicionamento, frente à situação-problema, amparado por informações do texto, cujos conteúdos souberam interpretar e julgar.

Quadro (2). Transcrição de alguns exemplos para as questões (Q1-Q2).

Estudantes (E3-TI). "*Sim. Pois a OMS confirma que esses alimentos não apresentam riscos a saúde." (Q1).*
Estudantes (E_3-TI). *"Votaria sim, como a própria OMS avisou, os produtos irradiados não oferecem riscos a saúde, com isso, ajudaria na conservação dos alimentos". (Q2)*
Estudante (E_6-TI). *"Sim, consumiria já que essa organização confirma que esses produtos não oferecem riscos a saúde e obrigatoriamente vai ter essa informação no rótulo". (Q1)*
Estudante (E_6-TI). *"Eu aprovaria, segundo a condição de ter um órgão que afirmou que eles não causam qualquer tipo de risco à saúde". (Q2)*
Estudante (E_{10}-TI). *"Sim, eu comeria um alimento irradiado, pois não oferece risco a saúde e a quantidade de radiação é baixa e é utilizada para reduzir a quantidade de fungos e bactérias". (Q1)*
Estudante (E_{10}-TI). *"Sim, pois através da irradiação muitos alimentos terão uma durabilidade elevada e com isso iria evitar o desperdício". (Q-2)*

Quadro (3). Transcrição de alguns exemplos para as respostas dos estudantes as questões (Q1-Q2).

Estudantes (E_{17}-TI). *"Não, pois mesmo que a OMS confirme que esses alimentos não oferecessem riscos a saúde, tenho medo que contenham níveis de radiação acima do normal".* (Q1)
Estudante (E_{18}-TI). ***"****Não, pois estes alimentos sendo irradiados terão substancias, onde em longo prazo seria prejudicial à saúde".* (Q2)
Estudante(E_{19}-TI). "*Eu olharia o processo, pesquisaria se não foi realizado e maneira errada, não consumiria, pois isso acumularia alguns resíduos dentro do meu organismo".* (Q1)
**Estudante (E_{18}-TI*).* "*Não, pois acredito que em longo prazo poderia ser prejudicial e que também na análise para a exportação outros países poderiam recusar provocando um desperdício maior ainda de alimentos".* (Q2)
Estudante (E_{20}-TI). "Não, se aplicados em uma grande escala a irradiação poderia causar problemas a saúde". (Q1)
Estudante (E_{21}-TI). *"Não, porque usando a tecnologia de irradiação de alimentos em grande escala, poderia prejudicar a saúde das pessoas".* (Q2)

Essa atitude revelou que os mesmos conseguem fazer uma distinção importante entre **irradiação e contaminação radioativa**. Logo, apresenta um indicativo importante para a *avaliação interna* da sequência de ensino-aprendizagem, quanto indício de estreitamento entre suas concepções prévias e os conceitos da radioatividade estudados.

Todavia, os seis (6) estudantes que responderam **NÃO** (quadro 3), demonstraram que entendem a irradiação como um processo que torna os produtos

radioativos. Nessa mesma linha de raciocínio, Barragán *et al*. (2009) mostraram que, em seus estudos preliminares a cerca desses conceitos, 11% dos estudantes de três turmas do Ensino Fundamental, tiveram o mesmo posicionamento diante dessas duas situações-problemas. Para esses autores, "*mesmo tendo as informações disponíveis no enunciado, os (11%) dos estudantes,* (assim como os nossos) *pareceram inseguros quanto ao processo e suas possíveis consequências* (BARRAGÁN *et al*., 2009, p.6).

Esses resultados nos permitiram refletir sobre a necessidade de orientações teóricas para esses estudantes (fase seis 6), no intuito de buscarem uma compreensão melhor sobre os conceitos de irradiação e contaminação radioativa. Além disso, nos forneceu subsídios importantes para pensarmos, de forma pragmática, no papel dos **recursos de ensino** como mediadores deste processo.

Para as questões (Q3-Q4) (quadro 4), dezesseis (16) estudantes responderam **SIM**. Suas justificativas foram baseadas nas informações da energia nuclear não emitir poluente, como dióxido de carbono, na atmosfera, bem como por ser considerada uma energia limpa, quando comparada às outras que utilizam da queima de combustíveis fósseis e contribuem para o aumento do efeito estufa.

Quadro (4). Questões (Q3-Q4)**.**

Questão 3 – A ENERGIA NUCLEAR é considerada uma energia bastante limpa, porque não libera poluentes para a atmosfera e o único resíduo que gera é o lixo atômico, que devidamente acondicionado não representa um risco para os seres humanos e para o ambiente. Você acha que ela deveria ser implementada no lugar da queima de combustíveis fósseis que liberam uma enorme quantidade de dióxido de carbono (que contribui para o aumento do efeito estufa) e outros poluentes? **JUSTIFIQUE.**

Questão 4 – "Patrick Moore, um dos fundadores do Greenpeace, é hoje um dos principais defensores da ENERGIA NUCLEAR". *(Folha de S. Paulo, no Rio - JANAINA LAGE – 27/03/2007). Considere um pequeno trecho dessa entrevista:*

FOLHA – "O que fez você mudar de idéia em relação à energia nuclear? PATRICK MOORE - Cometemos um erro nos anos 70. Estávamos focados em armas e em guerras nucleares, preocupados com a possibilidade de a civilização e o ambiente serem destruídos pelo holocausto nuclear. Vejo que cometemos um erro ao incluir a energia nuclear como parte disso. Falhamos em distinguir o uso pacífico da tecnologia do destrutivo. Além disso, a preocupação com as mudanças climáticas criou uma situação muito diferente no mundo. Agora queremos reduzir o consumo de combustíveis fósseis, não só pelas mudanças climáticas como pela poluição do ar. Outro argumento é que uma parcela significativa dos combustíveis fósseis é proveniente de áreas de instabilidade política e até potencialmente hostis. "A única forma de reduzir o consumo de combustíveis fósseis, de maneira significativa, é fazer isso com um programa agressivo de energias renováveis combinados à energia nuclear." Considerando que o Greenpeace já liderou muitos movimentos contra a energia nuclear e, até hoje possui adeptos a essa idéia, se você pertencesse ao Greenpeace, estaria do mesmo lado que Patrick Moore?". **JUSTIFIQUE**.

A análise dos argumentos dos estudantes no quadro cinco (5) nos permitiu concluir que, dentro do modelo teórico da Reconstrução Educacional (KATTMANN *et al.*, 1995), esses estudantes evidenciaram, possivelmente, terem construído um "*núcleo de ideias elementares* – elementarização" (MÉHEUT; PSILLOS, 2004) do conteúdo científico ensinado que ampliaram o significado dos conceitos estudados, em sala de aula, para suas vidas cotidianas (KATTAMANN, 1995).

Quadro (5). Transcrições de alguns exemplos para as respostas dos estudantes as questões (Q3-Q4).

Estudante (E4-TI). *"Sim, poderia ser usado mais não substituindo totalmente e também garantisse mais segurança para esse lixo atômico".* (Q1)
Estudante (E4-TI). *"Sim, o uso de energia sustentável e nuclear ajuda ao meio ambiente, diminuindo a poluição do ar. Os tipos de energias de combustíveis fósseis são mais prejudiciais ao planeta".* (Q2)
Estudante (E9-TI). *"Sim, pois apesar do risco que os acidentes nucleares representam, a queima de combustíveis fósseis vem poluindo muito mais, se comparado às usinas".* (Q1)
Estudante (E9-TI). *"A energia nuclear é limpa e não promove a queima de combustíveis fosseis, ou seja, desde que o lixo atômico seja tratado e precauções contra acidentes sejam tomadas".* (Q2)
Estudante (E16-TI).*"Sim, evitando assim o aumento do efeito estufa e diminuindo a quantidade de poluentes no ar atmosférico".* (Q1).
Estudante (E16-TI).*"Sim, porém para ser implantada a energia nuclear necessita no mínimo de segurança para que tudo ocorra certo, pois se algo der errado (caso de Chernobyl), a região onde foi instalada oferece risco à população".* (Q2)

Para os quatro (4) estudantes que responderam **NÃO** (quadro 6), houve uma contradição entre suas respostas. Ao mesmo tempo em que diziam **SIM**, (três 3 deles, para a questão Q3), diziam **NÃO** para a questão (Q4). Assim, os argumentos baseados nos riscos relacionados ao recondicionamento dos resíduos tóxicos (lixo atômico), a possíveis causas de acidentes por desastres naturais ou falhas humanas, contaminação do ambiente, produção de bomba atômica e morte dos seres vivos, foram, de certo modo, invalidados por seus próprios posicionamentos.

O posicionamento conflituoso apresentado por esse grupo de estudantes reforçou nossa necessidade enquanto pesquisadores, de pensarmos no ensino de Ciência, não apenas em dimensões epistemológicas (Gênesis, função e significado dos conceitos) (KATTMANN *et al*., 1995), mas também nas suas dimensões contextuais de aplicações e implicações éticas e sociais. Uma vez que diante das situações-problemas (Q3-Q4) os estudantes apresentaram demandas de aprendizagem (LEACH; SCOTT, 2002) de conhecimentos científicos que orientassem seus posicionamentos.

Quadro (6). Transcrições de alguns exemplos para as respostas dos estudantes as questões (Q3-Q4).

Estudante (E1-TI). *"Não, porque a implantação de uma usina requer um cuidado especial e em minha opinião o Brasil não está preparado para essa tecnologia". (Q1)*

Estudante (E1-TI). *"Sim".* (Q2)

Estudante (E3-TI). *"Sim, Por um lado seria viável, pois não haveria a liberação do dióxido, mas por outro lado, caso houvesse um acidente e estivesse perto de uma usina que produz energia nuclear, poderia liberar radiação para os habitantes".* (Q1)

Estudante (E3-TI). *"Não".* (Q2)

Estudante (E21-TI). *"Não, pois tenho medo que aconteça um desastre natural ou humano."* (Q1).

Estudante (E21-TI). *"Sim, porque as pessoas pensam na energia nuclear só para destruição, e o que está causando a destruição são os combustíveis fosseis."* (Q2).

Para esse grupo de estudantes (quadro 6), essas demandas de aprendizagem se materializam em **ideias informais**- **Estudante (E_{21}-TI)**. *"Não, pois tenho medo que aconteça um desastre natural ou humano"*- sobre as implicações dos conteúdos estudados, que devem ser levadas em consideração antes, durante e depois do processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de Ciências na educação formal.

Pensamos também que os estudantes devem ser guiados, não só para lançar mão aos conceitos científicos estudados, diante de situações-problemas diversas, como também para construir, ao longo de sua educação formal, um conjunto de ideias não formais que possam lhes servir de orientação teórica.

Para as questões (Q5-Q6), tendo em vista o padrão de respostas apresentados pelos estudantes, apresentamos suas análises de forma separada, no intuito de fornecer uma visão mais detalhada da importância dessas, para *avaliação interna* da sequência de ensino-aprendizagem.

Quadro (7). Questões (Q5-Q6).

***Questão (5)**. "A luz que recebemos do sol é uma forma de radiação, chamada de RADIAÇÃO SOLAR. Sabe-se que ela pode provocar efeitos nocivos à nossa pele. Tanto isso é verdade que existe o protetor solar, cuja função é nos proteger de tais efeitos. Logo, pode-se dizer que a RADIAÇÃO SOLAR é potencialmente prejudicial aos seres humanos. Você concorda com tais afirmações?"* **JUSTIFIQUE.**

***Questão (6). "**A vitamina D é um composto muito importante aos seres humanos e é produzida pelo nosso corpo na presença de RADIAÇÃO SOLAR. Então, a exposição a esse tipo de RADIAÇÃO é benéfica ao nosso organismo. Você concorda com tais afirmações?"* **JUSTIFIQUE.**

Por exemplo, para a questão (Q5) (quadro 7), nove (9) estudantes responderam **SIM.** Suas justificativas, no quadro (8), apresentaram **ideias informais** a respeito do assunto.

Quadro (8). Transcrições de alguns exemplos das respostas dos estudantes para a questão (Q5).

Estudante (E_1-TI). *"Sim, alguns médicos recomendam a exposição das crianças recém-nascidas e dos idosos".*
Estudantes (E_2-TI). ***"****Sim, pois já foi comprovado que é radiação e temos que nos proteger um pouco dessa radiação".*
Estudantes (E_3-TI) "*Sim. Creio que é por causa da radiação solar, que algumas das pessoas apresentam o câncer de pele".*
Estudantes (E_5-TI). *"Sim, o sol pode tanto nos prejudicar, como nos beneficiar, tudo com excesso nos prejudica".*
Estudantes (E_{16}-TI). *"Sim, pois se a radiação solar não fosse prejudicial, não existiria protetor solar para evitar os danos causados a nossa pele".*

As **ideias informais** apresentadas, por esse grupo de estudantes, foram vistas como muito significativas, pois denotam a grande influência dos meios informais de educação (TV, jornais, internet, dentre outros) (DE PRO, 2005; SANTOS; PÉREZ-ESTEBAN, 2012) no processo de ensino-aprendizagem no meio formal (escola), como elementos que dificultam o estreitamento entre os laços das concepções prévias dos estudantes e os conceitos da radioatividade (DRIVE *et al*., 1999).

Esses resultados fundamentam ainda mais nossas ações para transformar as informações dos meios não formais de educação, tais como as noticias de jornais, em recursos de ensino para a nossa a sequência de ensino-aprendizagem.

Para o grupo de estudantes que responderam **NÃO** a questão (Q5), no (quadro 9) parece evidente que seus argumentos estão na direção da compreensão do conceito de **exposição**.

Segundo Okuno (1988), o conceito de **exposição** foi a primeira grandeza a ser introduzida nessa área específica da Física, mesmo que, inicialmente (anos de 1928), tenha sido definida de uma maneira confusa, em 1962, por meio de várias redefinições científicas, chegou-se a conclusão de que ela é hoje *"uma grandeza que caracteriza o feixe de raios gama e mede a quantidade de carga elétrica produzida por ionização, no ar, por essa radiação, por unidade de massa do ar" (*OKUNO, 1988, p.22).

Inicialmente sua unidade foi batizada em homenagem ao físico Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) estudioso dos raios-X, como sendo (1) Röntgen (1R). Hoje, sua unidade utilizada no *Sistema Internacional* de medidas é o Coulomb por

quilograma (C/Kg) sendo que (1R = $2{,}58.10^{-14}$ C/Kg). Por exemplo, a exposição permitida para radiografar um abdômem é de (0,15)(mC/Kg) (milésimo de Coulomb por quilograma) o que equivale a (0,6R) (OKUNO, 1988).

Quadro (9). Transcrições de alguns exemplos das respostas à questão (Q5).

Estudante (E_6-TI). *"Não, a radiação solar pode ser prejudicial aos seres humanos quando estes passam bastante tempo expostos ao sol sem qualquer tipo de proteção, mas em contra partida ela também é essencial para o nosso organismo, então deve haver um controle em sua exposição".*

Estudante (E_9-TI). *"Não, depende do nível de exposição. Existem precauções com horários recomendáveis e o protetor solar. Logo, a moderação evita riscos desnecessários".*

Estudante (E_{10}-TI). *"Não. Concordo que a radiação solar pode provocar efeitos nocivos, mas que não é literalmente prejudicial, se as pessoas tomassem cuidados, não ficando muito tempo expostas ao sol".*

Estudante (E_{15}-TI). *"Não, só quando ficamos muito expostos à radiação solar".*

Estudante (E_{21}-TI). *"Não, a radiação solar só é prejudicial se ficarmos muito tempo exposto ao sol".*

Com os resultados apresentados por esses onze (11) estudantes (quadro 9), percebemos que os recursos de ensino (notícias de jornais e texto dois) desempenharam um papel muito importante para a compreensão desse conceito e permitiram, a uma parte da turma, o estreitamento entre seus conhecimentos prévios e os conceitos da radioatividade.

Quadro (10). Transcrições das respostas dos estudantes à questão (Q6).

Estudante (E_4-TI). *"Sim, faz bem a saúde, muitas vezes é indicada a exposição solar para bebês que nascem com icterícia (amarelão). Só que tem que ter cautela com o tempo de exposição ao sol".*

Estudante (E_6-TI). *"Concordo. Mas como dito antes, essa radiação é essencial para nosso organismo, mas devendo ter um controle ou proteção de sua exposição".*

Estudante (E_9-TI). "*Sim, a radiação solar desencadeia várias reações no corpo humano, como a estimulação da melanina e a produção de vitaminas, porém deve ficar atento ao tempo de exposição".*

Estudante (E_{11}-TI). "*Até certo ponto a exposição à radiação solar é benéfica".*

Estudante (E_{14}-TI). "*É benéfica até certo ponto, pois se for exposto só para produzir vitamina D, tudo bem, se não, pode ocorrer sérios riscos a saúde".*

Estudante (E_{12}-TI). "*Sim, mas dependendo do horário, é importante tomar o chamado banho de sol, que ajuda a nossa saúde".*

Para a questão (Q6), apenas um (1) estudante disse **NÃO,** justificando sua resposta ao nível de radiação. **"Estudante (E_8-TI)**- *Não, depende do nível de*

radiação". Já, os treze (13) estudantes que disseram **SIM**, justificaram suas respostas com base na questão anterior (quadro 10).

Assim como os outros resultados apresentados, estes nos pareceram, também, um exemplo claro do estreitamento entre os conhecimentos prévios desse grupo de estudantes e os conceitos científicos da radioatividade.

Em contra partida, as evidências apontadas na análise anterior, sete (7) estudantes que deram outras respostas, apresentaram também **ideias informais** a respeito do assunto, muito parecidas com as apresentadas no quadro (8), como já tecemos nossa análise sobre elas, evitamos a redundância.

Quadro (11). Questão (Q7).

Questão 7*- As areias das praias de Guarapari (litoral do Espírito Santo) são naturalmente mais RADIOATIVAS do que outras do Brasil. Considerando essa informação, as pessoas dessa cidade devem possuir maior probabilidade (chance) de desenvolver algum tipo de câncer. Você concorda com tais afirmações?* **JUSTIFIQUE.**

Para a questão (Q7), quatorze (14) estudantes disseram **SIM**, todavia, as justificativas de alguns, seis (6), foram baseadas também em ideias informais (quadro 12). Não obstante, oito (8) desses estudantes, disseram **SIM**, buscando atentar para os níveis de radiação presentes na areia como fatores que poderiam influenciar no desenvolvimento do câncer nas pessoas da cidade de Guarapari-ES, achamos conveniente apresentar as transcrições de alguns exemplos.

Quadro (12). Transcrições das respostas à questão (Q7).

Estudantes (E_2-TI). ***"****Sim, pois as pessoas que entram em contato com esta areia estão mais expostas à radiação."*
Estudante (E_4-TI). ***"****Sim, pelo fato delas conviverem num espaço mais vulnerável a desencadear essas doenças, devido à exposição".*
Estudante (E_5-TI). *"Sim, qualquer pessoa que estiver perto da radiação pode desenvolver câncer".*
Estudante (E_7-TI). *"Concordo, por conta de que as chances das pessoas de lá serem afetadas são grandes".*

Para os estudantes quer responderam **NÃO**, três (3) também fundamentaram suas respostas no fato de que as pessoas estariam mais propícias a desenvolver câncer, caso os níveis de radioatividade da areia das praias de Guarapari-ES fossem acima do normal. Por exemplo, **Estudante (E_8-TI)**-"*Não, pois depende do*

nível de radiação"; **Estudante (E_{13}-TI)-**"*Não, pois depende se os níveis de radioatividade são baixos ou não*".

Quadro (13). Transcrições das respostas à questão (Q7).

Estudantes (E_3-TI). *"Se o nível de radiação não estiver maior que o normal, creio que não teriam câncer, mas os moradores estão mais vulneráveis a tal radiação".*
Estudante (E_{18}-TI).*"sim, mas acredito que, se o nível de radioatividade não estiver acima do normal, às pessoas não estariam propícias a ter câncer, mas já que acontece diferente, creio que essas pessoas têm mais chances de ter câncer".*
Estudante (E_{19}-TI).*"Sim, mas depende dos níveis de radiação, se forem elevados causa problemas à saúde".*

Sob nossa leitura, os estudantes que não apresentaram **ideias informais** para justificar suas respostas, também mostraram um possível estreitamento entre suas concepções prévias e os conceitos de radioatividade, estabelecendo assim, mais uma evidência importante da validade dos recursos de ensino como mediadores deste processo.

Para a questão (Q8) no (quadro 14) a seguir, quatorze (14) dos dezesseis (16) estudantes que responderam **NÃO**, apresentaram **ideias informais** (quadro 15) sobre a situação-problema, um (1) sobre conflito conceitual e um (1) justificou seu posicionamento pelo nível baixo de radioatividade presente no alimento.

Quadro (14). Questão(Q8).

Questão 8*- Existe um tipo de potássio-40 que é radioativo e é encontrado nas bananas. Então, deve-se evitar o consumo regular de banana por ela ser um alimento com material radioativo. Você concorda com tais afirmações?* **JUSTIFIQUE.**

Para o que apresentou conflito conceitual sua resposta foi: **Estudante(E7-TI).** "*Segundo pesquisas não é prejudicial ingerir alimentos irradiados"*. Para o que apresentou um posicionamento crítico, a resposta foi: **Estudante(E_8-TI).**"*Não, pois tudo depende do nível da radiação*".

Segundo Okuno (1988), a **exposição interna** de radiação que estamos submetidos é devida a radionuclídeos inalados ou ingeridos anualmente. Essa dose equivalente anual a que uma pessoa está submetida, exemplo do consumo de banana (potássio-40) é em média da ordem de 1mSv (milésimo de Sievet*)* equivalendo a 1j/kg (joule por quilograma).

Quadro (15). Transcrições de alguns exemplos das respostas à questão (Q8).

Estudante (E_{10}-TI).*“ Não, pois acredito que esse alimento não seja prejudicial à saúde.”*
Estudante (E_{15}-TI). *“Não, pois há anos, as pessoas consomem bananas e nunca tiveram problemas.”*
Estudante (E_{19}-TI). *“Não, pois se fosse tão prejudicial pessoas que há muito tempo come banana desenvolveria alguma doença em relação a essas substâncias.”*
Estudante (E_{21}-TI). *“Não, pois se fosse prejudicial, o nosso organismo já tinha algum problema”.*

O Siervet (Sv) é a unidade adotada para avaliar o impacto da radiação ionizante sobre os seres humanos. O potássio-40 radioativo encontrado nas bananas tem abundância na natureza de 0, 0118% e é responsável por 0,17 mSv de dose equivalente interna anual média. A meia-vida física do potássio-40 é de 1,26 bilhões de anos, porém sua meia-vida biológica é de 58 dias (OKUNO, 1988).

Nos seres humanos, o potássio localiza-se nos músculos do corpo em uma concentração de dois gramas (2g) por quilo de músculo e desempenha o papel de transmitir impulsos nervosos no organismo. É encontrado em vários alimentos, como feijão, verduras frescas, leite, espinafre, cenoura crua, batata e, por isso, pode ser considerado essencial para os seres vivos (OKUNO, 1988).

Com base em todas essas informações, percebemos que muito das **ideias informais** apresentadas pelos estudantes, estão baseadas em conhecimentos dos meios informais de educação (TV, internet, jornal, dentre outros) que mais uma vez, denotam uma relevância quanto fator que dificulta a compreensão efetiva dos estudantes dos conhecimentos científicos.

Dessa forma, acreditamos também que, a *recontextualização* (BLANCO, 2004) do ensino de Ciências por meio de recursos de ensino (notícias de jornais) pode desempenhar um papel importante no processo de ensino-aprendizagem desses conceitos.

Portanto, concluímos nossa *avaliação interna* da sequência de ensino-aprendizagem observando que os indícios de estreitamento entre concepções prévias dos estudantes e os conceitos da radioatividade estudados, foram preponderantes em vários sentidos: um (1) alcance do objetivo geral da sequência de ensino-aprendizagem; dois (2) equivalência entre indícios do estreitamento das concepções com os conceitos da radioatividade e evidências das demandas de

aprendizagem, materializadas por falhas e lacunas do processo; três (3) a importância mediadora dos **recursos de ensino**, tanto como facilitadores, quanto instrumento de coleta de dados da sequência de ensino-aprendizagem, durante todo processo; quatro (4) pertinência das **ideias informais** como elementos que dificultam a compreensão efetiva dos estudantes aos conhecimentos científicos, diante das situações-problemas apresentadas; cinco (5) necessidade de inclusão e aperfeiçoamento dos novos recursos de ensino, no intuito de trabalhar as **ideias informais** e estreitá-la com ideias formais de educação científica (conhecimento teórico); seis (6) necessidade dos estudantes buscarem mais conhecimentos teóricos (fase seis 6) para saber lidar com as situações-problemas dentre e fora do ambiente escolar e, por fim, sete (7) concluir a pesquisa com a certeza de que todos os objetivos foram alcançados.

7- CONSIDERAÇÕES FINAIS.

As questões da nossa pesquisa, levantadas na introdução, a saber: *como desenvolver e implementar propostas inovadoras apoiadas em referenciais teórico-metodológicos reconhecidos pela literatura? Quais os resultados práticos que esse tipo de investigação nos permite alcançar para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais salas de aula?-* de uma forma implícita, estiveram presentes em cada capítulo deste trabalho, porém, explicitamente, foram respondidas por meio dos três objetivos alcançados.

Tais objetivos foram: (*i) buscar na literatura, justificativas que nos levassem a escolha do tópico de Física Moderna e Contemporânea;* (*ii) avaliar por meio da teoria da Transposição Didática as potencialidades de sobrevivências do tópico radioatividade em ambientes reais de salas de aula e (iii) elaborar a sequência de ensino-aprendizagem utilizando referências teórico-metodológico presentes na literatura do ensino de Ciências.*

Em cada um desses objetivos traçados, vislumbrávamos desafios e possibilidades que foram se revelando ao longo desses dois anos de trabalho. Em um primeiro momento, buscamos nos amparar nas pesquisas sobre ensino de Física Moderna e Contemporânea em nível nacional (TERRAZAN, 1994; OSTERMANN; MOREIRA, 2000; BROCKINGTON, 2005; BROCKINGTON: PIETROCOLA, 2005; SIQUEIRA, 2006; SOUSA, 2009; TIMM, 2012; CAVALCANTE, 2013; PESSANHA, 2014) tentando encontrar fundamentos teóricos que nos guiassem de forma consistente e segura.

Como resultado, fomos direcionados para a literatura do ensino de Ciências em nível internacional (ARTIGUE, 1988; KATTMANN *et al*., 1995; LEACH; SCOTT, 2002; COLLECTIVE, 2003; LIJSEN; KLAASSEN, 2004; MÈHEUT; PSILLOS, 2004; LOPEZ *et al*., 2008; TIBERGHIEN *et al*., 2009; SANTOS; PÉREZ-ESTEBAN, 2012), cujas contribuições incontáveis se materializaram em resultados concretos para a dimensão teórica que, imediatamente, foram transferidos para a dimensão empírica.

Na dimensão empírica, os desafios encontrados estiveram voltados, principalmente, para a investigação, produção e reestruturação dos recursos (atividade lúdica das bolinhas de isopor; quebra-cabeça radioativo, as notícias de jornais, os textos, os vídeos) que viriam dar forma e característica genuína a sequência de ensino-aprendizagem.

Outros aspectos importantes a serem destacados foram os desafios logísticos para a coleta de dados e as restrições encontradas nos contextos educacionais (TIBERGIEHN, 1996). Todavia, amparados pelas pesquisas, conseguimos contorná-los de forma tranquila e consciente. Por exemplo, na primeira implementação, a sequência de ensino-aprendizagem tinha sido programada para ser implementada em seis encontros, mas só foram possíveis cinco (5). Isso dificultou a coleta de dados, mas nos permitiu identificar parâmetros de análise (categorias) para a reestruturação da mesma.

A distância do ambiente de coleta de dados (outra cidade) impediu o acompanhamento de alguns encontros, acarretando em algumas perdas de informações importantes, já que não puderam ser gravadas em vídeo. O que nos fez explorar o máximo a produção de informações pelos estudantes (relatórios, lista de exercícios, questionários) e utilizar esses instrumentos como nossas principais fontes de dados.

Segundo Moreira (2011), existe duas condições necessárias para a aprendizagem significativa acontecer de forma efetiva nos estudantes, uma diz respeito à potencialidade dos materiais de ensino e a outra, à disposição dos estudantes em participar das atividades em sala de aula. Na nossa pesquisa colocaríamos uma terceira, também muito importante, o compromisso dos professores com seus estudantes. A todo o momento estiveram interessados na apropriação dos objetivos da sequência de ensino-aprendizagem com um único propósito: permitir que seus estudantes desenvolvessem vontades próprias de estender seus conhecimentos prévios na direção cientifica que gostaríamos que chegassem (LIJSEN; KLASSEN, 2004). Para isso, permitiram que eles tivessem a oportunidade de expor suas ideias, dialogar entre os pares, realizar as atividades com mais liberdade do que a modalidade do ensino tradicional permite.

Assim, acreditamos que as respostas dadas à primeira questão- *como desenvolver e implementar propostas inovadoras apoiadas em referenciais teórico-*

metodológicos reconhecidos pela literatura?- estiveram presentes nos capítulos (2) e (3). Suas fundamentações teóricas, relações entre as grandes teorias (Transposição Didática) e as teorias específicas (*Design-Based Research*; Pesquisa de Desenvolvimento), mostraram os caminhos possíveis para a transformação das demandas sociais, presentes na literatura do ensino de Física e nos documentos oficiais da Educação Básica, em intervenções práticas (sequência de ensino-aprendizagem) para a sobrevivência do tópico radioatividade em ambientes reais de salas de aula.

Como resultado dessa transformação, foi possível caracterizar nossa sequência de ensino-aprendizagem como subsídio teórico-metodológico de intervenção, a partir da construção do nosso "**triângulo didático"** referenciado pelos estudos de TIBERGHIEN *et al*. (2009). De uma forma bastante esclarecedora, conseguimos estabelecer os fundamentos teóricos que nos guiaram no desenvolvimento da nossa proposta.

Para a segunda questão de pesquisa- *quais os resultados práticos que esse tipo de investigação nos permite alcançar para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula?-* os resultados alcançados por nossa investigação, para a área do ensino de Física Moderna e Contemporânea, na nossa humilde percepção, podem ser exemplificados das seguintes formas: um (1) o processo de ensino-aprendizagem de Física, por meio do desenvolvimento da *Teaching-Learning Sequence*, torna-se mais didático, do ponto de vista construtivista, com a inclusão das atividades lúdicas, dentre os outros recursos de ensino, bem como com aparticipação ativa dos estudantes na construção dos seus conhecimentos científicos; dois (2) permite aos professores trabalharem os conceitos envolvidos em um tópico da Física Moderna e Contemporânea de uma forma mais abrangente do que estamos acostumados no ensino tradicional (unidade letiva e aulas pontuais sem conexão); três (3) as concepções espontâneas dos estudantes (subsunçores) e suas ideias informais podem ser tomadas como referências essenciais para o desenvolvimento de estratégias que melhorem a aprendizagem significativa dos conteúdos da Ciência; (4) permite observar a ressignificação do tripé **professor-saber-estudante** presentes no **sistema didático** (CHEVALLARD, 1991), no **losango didático** (MÉHEUT; PSILLOS, 2004) e no **triângulo didático**

(TIBERGHIEN *et al*. 2009), em uma dimensão tal que, o papel e as peculiaridades de cada um dos seus protagonistas podem ser vistos como interações indissociáveis de um processo educacional, cujo sucesso só se torna possível quando entendemos os três como um todo, não como partes.

Frente a todo um contexto social de insatisfação com os resultados dos jovens nas avaliações de exames nacionais e internacionais e no papel da escola como uma das principais promotoras da formação educacional, parece evidente que voltar a fortalecer uma visão construtivista de ensino-aprendizagem que incluam os jovens no processo (TIBERGHIEN, 1996; LIJSEN; KLAASSEN, 2004; TIBERGHIEN *et al*., 2009; LOPES *et al*., 2008) pode se tornar um dos caminhos promissores para a mudança do cenário atual da Educação Básica no Brasil, mas, principalmente, no ensino de Ciências (Física).

Esperamos ampliar os resultados alcançados em nossa pesquisa para uma investigação mais sistemática (pesquisa de doutorado), tanto sobre o papel dos **recursos de ensino**, cuja função permite características próprias às sequências de ensino-aprendizagem no processo de elaboração, implementação, avaliação e redesenho (COLLECTIVE, 2003; NICOLAU *et al*., 2013), quanto o papel dos professores como mediadores do processo de ensino-aprendizagem por meio desses recursos. Aliamos a isso, o papel dos estudantes como participantes ativos do processo de construção dos seus conhecimentos, investigação pouco explorada pelas pesquisas do ensino de Ciências no Brasil (MENEZES *et al*., 2013; NICOLAU *et al*., 2013) e no Mundo (LIJSEN; KLAASSEN, 2004; MÉHEUT; PSILLOS, 2004; LOPES *et al*., 2008; TIBERGHIEN *et al*., 2009).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSSON, B; BACH, F. Developing new teaching sequences in science: the example of 'Gases and their properties'. **In: Research in Science Education in Europe**: **Current Issues and Themes.** London, 1996.

ALVES-FILHO, José. **Atividades Experimentais: do método à prática construtivista.** Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2000a.

ARNOLD, M; MILLAR, R. Learning the scientific story: a case study in the teaching and learning of elementary thermodynamics. **Science Education**,Bristol, V.80, n.3, p.249-281, 1996.

ARTIGUE, M. Ingéniérie didactique. **Recherches en didactique des Mathématiques**. Grenoble: La Pensée Sauvage-Éditions, V.9, n.3, p.281-308, 1988.

ASOKO, H. Developing scientific concepts in the primary classroom: teaching about electric circuits. In: Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes**.** London, 1996.

ASTOLFI, J. P.; et al. **Mots-clés de la didactique des sciences.**Pratiques Pèdagogies, De Boeeck & Larcier S. A. Bruxelas, 1997.

AUSUBEL, D. P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune & Stratton, 1963.

BACHELARD, S. Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles [Some historical aspects of notions of model and of justification of models]. In P. Delattre & M. Thellier (Eds.), *Elaboration et justification des modèles (Vol. 1,* pp. 3–19). Paris: Maloine S.A.

BANNAN-RITLAND, B; BAEK, J. Y. Investigating the act of design in design research: The road taken. In A. E. Kelly, R. A. Lesh, & J. Y. Baek (Eds.), *Handbook of design research methodsin education: Innovations in science, technology, engineering, and mathematics learning and teaching* (pp. 299–319). New York: Routledge.

BLANCO, A. Relaciones entre la educacion cientifica y la divulgacion de la Ciencia. **Revista Eureka sobre Ensenanza y Divulgacion de las Ciencias**, v., n.2, p. 70-86, 2002. Disponível em http://reuredc.uca.es. Acessado em 06 de agosto de 2015.

BARRAGÁN, P; MORTIMER, E. F; LEAL, A. Avaliação Preliminar sobre o Conceito de Radiação e algumas de suas Tecnologias: Ideias informais de estudantes do ensino médio. **In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Florianópolis-SC, 2009. Disponível em: http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/vienpec/CR2/p1090.pdf. Acessado em 11 de março de 2015.

BATISTA, C. A. S.; SIQUEIRA, M. Avaliação dos Livros Didáticos de Física: a produção de energia elétrica em larga escala. Atas doVIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências – VIII ENPEC. Campinas: [s.n]. 2011. p.11.

BOGDAN R. C.; BIKLEN. S. K. **Investigação Qualitativa em Educação.** Traduzido por: Maria José Alvarez; Sara Bahia dos Santos e Telmo Mourinho Baptista. Ed. Porto Editora. 1994**.**

BRASIL. Orientações curriculares para o ensino médio. Volume 2 – Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Secretaria de Educação Básica. –Brasília: Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Básica, 2006.

BRASIL Ministério da Educação e do Desporto. *Parâmetros Curriculares Nacionais:* ensino médio, Brasília: Secretaria da Educação Média e Tecnológica, 1999.

BRASIL. **Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: Secretaria da Educação Básica, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.> Acesso em: 15 de ago. 2011.

_____. **Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.** Ministério da Educação e do Desporto. Resolução CEB/CNE nº 3, de 26/6/98. Brasília, 1998.

_____**. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional.** Brasília: Presidência da República-Casa Civil, 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm>. Acesso em: 15 de ago. 2011.

_____. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio.** Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ministério da Educação e Cultura, Secretaria da Educação Básica. Brasília, 2008.

_____. **Guia de livros didáticos PNLD 2012 – Física**. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. Brasília: MEC/SEB, 2000.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica, Fundo Nacional do Desenvolvimento da Educação. **Física:** catálogo do Programa Nacional do Livro do Ensino Médio - PNLEM 2009. Brasília: MEC, 2008.

BROCKINGTON, G. **A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para alunos do Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). Curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências – IF/IQ/FE-USP.São Paulo, 2005.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, Maurício. Serão as regras da Transposição Didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v. 10, n. 3, 2005. Disponível em:http://www.if.ufrgs.br/public/. Acessado em 10 de agosto de 2015.

BYBEE, R. W. Reflecting on Sputnik: Linking the Past, Present, and Future of Educational Reform. Washington, 1997. Disponível em http://www.nas.edu/sputnik/bybee1.htm Acesso em 4 de março de 2014.

BYBEE, R. W., & FUCHS, B.Preparing the 21st century workforce: A new reform in science and technology education. **Journal of Research in Science Teaching**. Lyon, v. 43, n.4, pp.349–352, 2006.

CARVALHO, A. M. P; VANNUCHI, A. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v.1, n.1, p.3-19, 1996.

CAVALCANTE, A. **Energia Nuclear no Ensino Médio: uma análise dos livros didáticos dos Programas PNLEM 2007 e PNLD 2012**. Dissertação (Mestrado em

Ensino de Matemática). Curso de Pós-Graduação em Ensino de Matemática, PUC, Minas Gerais, 2013.

CHAUVET, F. Construction d'une comprèhension de la couleur intègrant sciences, technique et perception: principes d'èlaboration et èvaluation d'une sèquence d'enseignement. Thèse Universitè de Paris 7, 1994.

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

CHUNG, K. C. **Introdução a Física Nuclear**. Rio de Janeiro: Edu UERJ, 2001.

COLLECTIVE, Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. **Educational Researcher**, v.32, n.5, p. 1-5, 2003.

DE ARAUJO, M.; DICKMAN, A.G. **Energia nuclear e radioatividade**: como estes tópicos são abordados pelos professores no ensino médio. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC. Águas de Lindóia: [s.n]. 2013.p.1-7.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. P; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências**: **Fundamentos e Métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DE PRO, A. La ensenanza no formal de las ciências**. Alambique: Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales**, Barcelona, v.1, n.43, pp.5-7, 2005.

DIMOPOULOS, K; KOULAIDIS, V. Science and Technology Education for Citizenship: The potential Role of the Press. **Science Education**. London, v.87, n.2, p. 241-256, 2005.

DOMINGUINI, L. **O Conteúdo Física Moderna nos livros didáticos do PNLEM.** 2010. Dissertação (Mestrado em Educação). Programa de Pós-graduação em educação da Universidade do Extremo Sul Catarinense (PPGEUNESC), Criciúma, 2010a.

_____. Análise das propostas de ensino de Física Moderna por meio dos livros didáticos do programa nacional do livro do Ensino Médio. In: II SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. 2010. Ponta Grossa, **Anais.** Ponta Grossa, 2010b.

_____. Questões históricas da evolução da Física Moderna nos livros didáticos de Física do PNLEM. **VIDYA.** Santa Maria,v. 31, n. 2, p.11-26, 2011.

_____. Física Moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** Porto Alegre,v. 34, n. 1, 2012.

DRIVER, R; ASOKO H; LEACH J; MORTIMER, E; SCOTT, P. Construindo o conhecimento científico em sala de aula. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 9, p. 31-40, 1999.

DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science.**Science Education**.Bristol, v.75, n.6, p. 649-672,1991.

DUMAS-CARRE, A. e WEIL-BARAIS, A. (1998) *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique* (Berne: Peter Lang).

FREIRE J. O; CARVALHO N. R. A. **O universo dos quantas**: **uma breve história da física moderna**. São Paulo: FTD editora, 1997.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 17ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FOUREZ, G. Crise no Ensino de Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v.8, n.2, p. 109-123, 2003.

FURIO, C; VILCHES, A. La Ensenanza y el Aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza en la Educacion Secundaria. Barcelona: Horsori. 1997.

GIL, D. P; SENENT, F; SOLBES, J. La introducción a La Física Moderna: um ejemplo paradigmatico de cambio conceptual. **Enseñanza de las ciências**. Barcelona: p.209-210, n. Extra, 1987.

GUTIÉRREZ, E. E; CUPANO, V.C; PERROTA, M. T; DE LA FUENTE, A. M; FOLLARI, B. R. Qué piensan los jóvenes sobre radiactividad, estructura atómica y energía nuclear? **Enseñanza de las Ciencias.** Málaga, v.18, n. 2, p.247-254, 2000.

JARMAN, R; MCCLUNE, B. Developing scientific literacy. Using news media in the classroom. Maidenhead, Berkshire: Open University Press. McGraw-Hill, 2007.

JIMENEZ-LISO, M.R.; HERNANDEZ-VILLALOBOS, L. y LAPETINA, J. Dificultades y propuestas para utilizar las noticias cientificas de la prensa en el aula de ciencias. **Revista Eurekasobre Ensenanza y Divulgacion de las Ciencias**, Cádiz, v.7, n.1, p.107-126, 2010. Disponível em: http://reuredc.uca.es. Acessado em 06 de Agosto de 2015.

KARAM, R. A. S.; CRUZ, S. M. S. C. de S.; COIMBRA, D. Tempo relativístico no início do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Porto Alegre, v. 28, n. 3, p. 373-386, 2006.

_____. Relatividades no Ensino Médio: o debate em sala de aula. **Revista de Ensino Física.** Porto Alegre, v. 29, n. 1, p. 105-114, 2007.

KARIOTOGLOU, P; TSELFES, V. Science curricular: epistemological, didactical and institutional approach. **Physics Review**. New York, v.31, n.1, p.19–28, 1995.

KATTMANN, U; DUIT, R; GROPENGIEBER, H; KOMOREK, M. (1995). A model of Educational Reconstruction.In: **The NARST Annual Meeting**, San Francisco, 1995.

KELECOM, A; GOUVEA, R. C. S. *A percepção da radioatividade por estudantes de nível superior.* Mundo & Vida, Niterói, v. 3, n. 2, p. 78-89, 2002

KORTLAND, K. A Problem Posing Approach to Teaching Decision Making about the Waste Issue.In: **European Research in Science Education: Proceedings of the First PhD Summer school**, Utrecht, 2001.

KUHN, T. **A estrutura das revoluções científicas.**São Paulo: Perspectiva, 2003.

LEACH, J; SCOTT, P. Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. **Studies in Science Education**, Bristol, v.38, n.1, p.115–142, 2002.

LEAL, A. S; FAÊDA K; WEILLER L; DOMINGOS, S. The Public Knowledge about the concept of radiation: the cases of mobile phones and irradiated food. In: International Youth Nuclear Congress -2006. Estocolmo - Olkiluoto. International Youth Nuclear Congress -2006.

LEITE, M. L. **Contribuições de Brasil Bernstein e Yves Chevallard para a discussão do Conhecimento escolar.** Dissertação (Mestrado em Ensino de

Matemática). Curso de Pós-Graduação em Ensino de Matemática -PUC, Rio de Janeiro, 2004.

LEVIN, E. Conceitos e métodos da Física Moderna numa perspectiva histórica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Porto Alegre, v. 29, n. 2, p. 305-306, 2007.

LINJSE, P. 'Developmental Research' as a way to an empirically based 'Didactical Structure' of science. **Science Education**. Bristol, v.79, n. 2, p. 189–199, 1995.

LIJSEN, P; KLAASSEN, C. W. J. M. Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences?**International Journal of Science Education**.London, v.26 n. 5, p. 537–554, 2004.

LOPES, J. B; SILVA, A. A; CRAVINO, J. P; COSTA, N; MARQUES, L.; CAMPOS, C. Transversal traits in science education research relevant for teaching and research: A meta-interpretative study. **Journal of Research in Science Teaching**. Lyon, v.47, n.5, p. 574–599, 2008.

LÜDKE, M; ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas, 1ª reimpressão, São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

MACHADO, D. I; Nardi, R. Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. Barcelona, v.6, n.1, p.90-116, 2007.

MAXIMIANO, J. R; CARDOSO, L; DOMINGUINI, L. Física Moderna nos Livros Didáticos: Um contraponto entre o PNLEM 2009 e o PNLD 2012. **REVISTA VIDYA.** Santa Maria, v.33, n.1, p.97-115, 2013.

MÁRLON, P. **Estrutura da Matéria na Educação Secundária: Obstáculos de Aprendizagem e o uso de Simulações Computacionais**. Tese (Doutorado em Educação). Curso de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências – IF/IQ/IB/FE, USP. São Paulo, 2014.

MARTINAND, J; L. Pratiques sociales de référence et compétences techniques. À propos d'un projet d'initiation aux techniques de fabrication mécanique en classe de quatrième. In A. Giordan, J. - L. Martinand (Éds.), Diffusion et appropriation du savoir scientifique: enseignement et vulgarisation, Actes des troisièmes Journées internationales sur l'éducation scientifique, pp. 149-154, 1981. Paris: UER Didactique, Uni. Paris 7. Disponível em: http://artheque.enscachan.fr/items/show/927. Acessado em 27 de abril de 2014.

_____La Question de la Référence en Didactique du Curriculum. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.8, n.2, p.125-130, 2003.

MARTINS, R.. A. Como Becquerel não Descobriu a Radioatividade. **Caderno Catarinense do Ensino de Física,** Florianópolis, v.7, n. 29, p.27-45, 1990.

MATTHEWS, M. R. Constructivism and empiricism: an incomplete divorce. **Review of Educational Research**, Washington, v.2, n.22, p. 299-307, 1992.

MEDEIROS, M. A.; LOBATO, A. C. Contextualizando a abordagem de radiações no ensino de Química. **Revista Ensaio**. Belo Horizonte, v.12, n.3, p.65-84, 2010.

MÉHEUT, M; PSILLOS, D. Teaching–learning sequences: Aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**. London, v. 26, n.5, p. 515-535, 2004.

MENEZES, A. M; SANTOS, R. B.S; NUNES, C. T. S; FONTES, R. C; SILVA, E. L. Validação de Sequências de Ensino-Aprendizagem em aulas de Química de Escolas Secundárias do Estado de Sergipe - Brasil. In: **IX Congresso Internacional sobre Investigación em Didáctica de Las Ciencias**. Girona, 2013. (Comunicación)

MILLAR, R; OSBORNE, J. F. (Eds.). Beyond 2000: Science Education for the Future. London: King's College London, 1998.

MISANI, E. A.F; MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: condições para a ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos. São Paulo: Vetor Editora, 2008.

MOREIRA. M. A. **Aprendizagem Significativa**: a teoria e textos complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A; MISANI, E. A. F. Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel. 2ª ed. São Paulo: Centauro Editora, 2006.

MORTIMER, E. F. The evolution of students' explanations for the physical state of matter as a change in their conceptual profile.In: European Research in Science Education: Proceedings of the First PhD Summer school, Utrecht, 1993.

NICOLAU, J; GURGEL, I; PIETROCOLA, M. Estrutura baseada em Fluxo: sequências de ensino-aprendizagem sobre Relatividade do Tempo. **In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Florianópolis-SC, 2013.

NIKOLOPOULOU, K. An investigation into the effect of IT on pupils' understanding of some science concepts and processes.**In: European Research in Science Education: Proceedings of the First PhD Summer school,** Utrecht, 1993.

NOVAK, J. D; GOWIN, D. B. **Learning how to learn**. New York: Cambridge University Press, 1968.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Física Básica: Óptica, relatividade, física quântica**. Rio de Janeiro: Blucher, 1998.

OGBORN, J. Constructivist metaphors of learning science.**Science & Education**, v. 6, p.121–133, 1997

OLIVA, J.M. Editorial: Ciencia recreativa, educacion cientifica en contextos y mediante recursos no formales, e investigacion en Didactica de las Ciencias. **Revista Eureka sobre Ensenanza y Divulgacion de las Ciencias**, Cádiz, v.1, n.1, p. 100-127, 2008. Disponível em: http://reuredc.uca.es. Acessado em 06 de agosto de 2015.

OLIVEIRA, F. F. **O Ensino de Física Moderna com enfoque CTS: Uma proposta metodológica para o ensino médio usando o tópico raios-X**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Matemática). Curso de Pós-Graduação em Ensino de Matemática, UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

OKUNO, E. **RADIAÇÂO: Efeitos, Riscos e Benefícios.** São Paulo: Editora HARBRAS, 1988.

OSTERMANN, F; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio. **Investigação em Ensino de Ciência**. Porto Alegre. v.5, n.1, p.23-48, 2000.

PENA, F. L. A. Por que,nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e idéias de Física Moderna e contemporânea na sala de aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Porto Alegre, v. 28, n. 1, p. 1-2, 2006.

PESSOA, Elizabeth Farrel.;et al. **Introdução a Física Nuclear**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1987.

PESANHA, Marlon Caetano. **Estrutura da matéria na educação secundária: obstáculos de aprendizagem e o uso de simulações computacionais.** Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. São Paulo, 2014.

PEREIRA. P. A; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigação em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v.14, n.3, p.393-420, 2009.

PIETROCOLA, M. Inovação Curricular em Física: Transposição Didática e a Sobrevivência dos Saberes. In Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Curitiba-PR, 2008 (mesa redonda).

_____ Inovação Curricular e Gerenciamento de Riscos Didático-Pedagógicos: o ensino de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea na escola média, 2010. Disponível em: http://www.nupic.fe.usp.br/Publicacoes/teses/Inovacao%20Curricular%20e%20Gerenciamento%20de%20Riscos%20DidaticoPedagogicos_%20Texto%20erudicao_%20Pietrocola.pdf. Acessado em 25 de março de 2014.

PIETROCOLA, M.; et al. **Física em contextos: pessoal, social e histórico**. São Paulo: FTD editora, 2010.

PINTO, A.C; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.16, n.1, p.7-34, 1999.

PIRES, A. S. T; CARVALHO, R. P. **Por dentro do Átomo: física de partículas para leigos.** São Paulo: Livraria da Física, 2014, p.11-111.

RAVANIS, K; PAPAMICHAEL, Y. Procèdures didactiques de dèstabilisation du système de reprèsentations spontanèes des èlèves pour la propagation de la lumière. **Didaskalia**, v.7, p. 43–61,1995.

RODRIGUES, G. A; PIETROCOLA, M; PIQUEIRA, C. R. J. Elaboração de uma Sequência Didática de Ensino Aprendizagem com tópicos de Mecânica Quântica para cursos de Engenharia. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA. Belém-PA, 2012.

SAMAGAIA, R; PEDUZZI, L. O. Q. Uma experiência com o Projeto Manhattan no Ensino Fundamental. **Ciência & Educação**. Bauru-SP, v. 10, n. 2, p. 259-276, 2004.

SANTOS, S. E; PÉREZ-ESTEBAN, J. Estudiando el fenómeno de la radiactividad a través de noticias de prensa: el caso del espía ruso envenenado. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.** Cádiz, v.9**,** n.2, p.294-306, 2012.

SCHIVANI, M. **Contextualização no Ensino de Física à luz da Teoria Antropológica do Didático: o caso da robótica educacional.** Tese (Doutorado em Educação) Curso de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (FEUSP). São Paulo, 2014.

SILVA, L. F. **A temática ambiental e o ensino de física na escola média: a**

produção de energia elétrica em larga escala como um tema controverso. 2001. 180f. Dissertação (Mestrado em Educação)-UNESP, Araraquara, 2001.

SILVA, F. C. V; CAMPOS, A. F; ALMEIDA, M. A. V. O Ensino e aprendizagem de radioatividade: análise de artigos em periódicos nacionais e internacionais. **In XVI Encontro Nacional de Ensino de Química e X Encontro de Educação Química da Bahia**. Salvador-BA, 2012.

SILVA, C. A; ALMEIDA, M. P. J. M. Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Porto Alegre, v. 28, n. 3, 2011.

SIQUEIRA, M; PIETROCOLA, M. Como a Física de Partículas Elementares pode contribuir para o ensino básico?. In: CARUSO, F.; ORGURI, V.; SANTORO, A. (Org). **O que são Quarks, Glúons, Higgs, Buracos Negros e outras coisas Estranhas?.**São Paulo: Livraria da Física, 2011, p.263-284.

_____A Transposição Didática aplicada a Teoria Contemporânea: A Física de Partículas no Ensino Médio. **InX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física**. Londrina-PR, 2006.

SIQUEIRA, M. **Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio**. Dissertação (Mestradro em Educação em Ensino de Ciências).Curso de Pós-graduação em Educação em Ciências-IF/IQ/FE-USP. São Paulo, 2006.

SOARES, W. A. Energia Nuclear – Exposições Itinerantes Disponível em: htt://intranet.cdtn.br/arquivo/canal_nc/disseminacao/2006/Atividades_desenvolvidas_no_projeto_Energia_Nuclear_exposicoes_itinerantes_em_2005.pdf - UFMG. www.ufmg.br.

SORPRESO, T. P; ALMEIDA, M. J. P. M. Aspectos do imaginário de licenciandos em Física numa situação envolvendo a resolução de problemas e a questão nuclear. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.** Porto Alegre, v. 25, n. 1, p. 77-98, 2008.

SOUSA, W. B. **Física das radiações: uma proposta para o ensino médio**. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências). Curso de Pós-graduação em Educação em Ciências -IF/IQ/FE USP, São Paulo, 2009.

SORPRESO, T. P; ALMEIDA, M. J. P. M. Discursos de licenciandos em física sobre a questão nuclear no ensino médio: foco na abordagem histórica. **Ciência & Educação**.Bauru, v. 16, n. 1, p. 37-60, 2010.

STANNARD, R. Modern physics for the young. **Physics Education**. Bristol, v. 25, n.3, p.133, 1990.

SWINBANK, E. Particle Physics: a new course for schools and colleges. **Physics Education**. Bristol, v. 27, n. 2, p. 87-91, 1992.

TERRAZZAN, E.**Perspectivas para a inserção de física moderna na escola média**.Tese (Doutorado em Educação). Curso de Pós-Graduação em Educação – USP. São Paulo, 1992

TIBERGHIEN, A; BARBOUX, M. Les reprèsentations des èlèves de sixième et leur èvolution tempèrature-chaleur. **Revue Française de Pédagogie**. Paris, v. 72, p. 71-86, 1983.

TIBERGHIEN, A. Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy. In G. Welford, J. Osborne and P. Scott (eds.) **Research in Science Education in Europe***.* CurrentIssues and Themes (London: Falmer Press), 100–114, 1996

TIBERGHIEN, A; VINCE, J; GAIDIOZ, P. Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. **International Journal of Science Education**. London, vol. 31, n.17, p.2275-2314, 2009.

TIMM, N. **Física Moderna e Contemporânea e a Saúde: uma proposta envolvendo energia nuclear e radioatividade na formação inicial de professores**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). Curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências: Química de Vida e Saúde –UFSM.Santa Maria,2012.

VALADARES, E. C; MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no ensino médio: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis, v. 21, p. 359-371, 2004. edição especial.

VASCONCELOS, F. C. G. C; LEÃO, M. B. C. Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia flexquestsobre radioatividade. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v.17, n.1, p. 37-58, 2012.

VIENNOT, L. Spontaneous Reasoning in elementary dynamics**.European Journal of Science Education.**Lyon, v.1, n.2, p. 205-221, 1997.

VIENNOT, L; RAISON, S. Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric field. **International Journal of Science Education**, London, v.21, n.1, p. 1–16,1998.

VOLLEBREGT, M. J. A Problem Posing Approach to Teaching an Initial Particle Model. **In: European Research in Science Education:Proceedings of the First PhD Summer school**.Utrecht, 1998.

Vigotski, L. S. ***Pensée et langage****,* Paris: La Dispute, 1934.

WILSON, B. Particle physics at A-level - a theacher’s viewpoint. **Physics Education.**Bristol, v. 27, n.2, p. 64-65, 1992.

WU, Y; TSAI, C. High School Students’ Informal Reasoning on a Socio-scientific Issue: qualitative and quantitative analyses. **International Journal of Science Education**.London, v.29, n.9, p. 1163–1187, 2007.

YANG. F; ANDERSON, O. R. Senior high school students’ preference and reasoning modes about nuclear energy use. **International Journal of Science Education.** London, v. 25, n. 2, p. 221–244, 2003.

APÊNDICE

Sequência de Ensino-Aprendizagem sobre o tópico radioatividade.

Apresentação:

Nesta sequência de ensino-aprendizagem sobre o tópico radioatividade encontram-se 8 (oito) aulas divididas em 50 (cinquenta) minutos cada. Ela representa o redesenho da primeira versão, que continha 12 (doze) aulas divida em 6 (seis) encontros de 90 (noventa).

Objetivos gerais:

Proporcionar com a sequência de ensino-aprendizagem, “melhores maneiras” de ensinar o tópico radioatividade aos alunos do Ensino Médio de Física tanto nas escolas da Educação Básica, quanto nos cursos técnicos profissionalizantes de nível médio.

Conteúdo Físico

Os conteúdos Físicos presentes são: conceitos de radiação, emissão, absorção, ionização, transmutação nuclear, prótons, nêutrons, elétrons, fótons, força nuclear forte, força nuclear fraca, força eletromagnética, radioatividade, decaimentos radioativos alfa, beta e gama, meia-vida.

Leitura complementar

As leituras indicadas servem de aprofundamento doconhecimento, detalhando os conceitos tratados neste bloco. Assim, caso seja possível, leia algumas dessas referências antes de iniciar as aulas.

ABDALLA, M. C. B**. Bohr - O arquiteto do átomo.** 2ª ed. São Paulo: Odysseus, 2006.

BARRAGÁN, P; MORTIMER, E. F; LEAL, A. Avaliação Preliminar sobre o Conceito de Radiação e algumas de suas Tecnologias: Ideias informais de estudantes do ensino médio. **In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Florianópolis-SC, 2009. Disponível em: http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/vienpec/CR2/p1090.pdf. Acessado em 11 de março de 2015.

CHUNG, K. C**. Introdução a Física Nuclear.** Rio de Janeiro: Edu UERJ, 2001.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Física Básica: Óptica, relatividade, física quântica**. Rio de Janeiro: Blucher, 1998.

DE POSADA APARICIO, J.M; PIETRO RUZ, T. Exploraciones gráficas de ideias extras escolares de los alumnos sobre radiactividad. **Enseñanza de las Ciencias**. Malága, v.8, n.2, p.127-130, set. 1990.

EISEBERG, R.; RESNICK R.**Física Quântica, Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 6. Ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1988.

FEYMAN R.**Física em Seis Lições**. Rios de Janeiro; Editora Ediouro, 1999.

GLEISE, M. **A dança do Universo, dos Mitos de Criação ao Big-Bang**. São Paulo: Editora Companhia de Bolso, 1997.

GUTIÉRREZ, E. E; CUPANO, V.C; PERROTA, M. T; DE LA FUENTE, A. M; FOLLARI, B. R. Qué piensan los jóvenes sobre radiactividad, estructura atómica y energía nuclear? **Enseñanza de las Ciencias.** Málaga, v.18, n.2, p.247-254, out. 2000.

HALLIDAY, D; RESNICK, R.; MERRILL, J. **Fundamentos de Física**. Vol. 4. 3. Ed. Rio de janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991.

LEITE LOPES, J. **A Estrutura Quântica da Matéria, do átomo pré-socrático às partículas elementares**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005.

MARTINS, R.. A. Como Becquerel não Descobriu a Radioatividade. **Caderno Catarinense do Ensino de Física,** Florianópolis, v.7, n. 29, p.27-45 jun. 1990.

OKUNO, E. **RADIAÇÂO: Efeitos, Riscos e Benefícios.** São Paulo: Editora HARBRAS, 1988.

PARKER, S. **Marie Curie e a radioatividade**. São Paulo: Editora Scipione, 1996.

SANTOS, S. E; PÉREZ-ESTEBAN, J. Estudiando el fenómeno de la radiactividad a través de noticias de prensa: el caso del espía ruso envenenado. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.** Cádiz, v.9**,** n.2, p.294-306, out. 2012.

Links interessantes importantes para o desenvolvimento das aulas.

Disponível em: www.tamucommerce.edu/physics/cab/*Lectures/**FisicaNuclear**.pdf*. *Acessado em 13 de janeiro de 2013.*

Apostilas educativas: Disponível em: http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp. Acessado em 13 de janeiro de 2015.

Quadro Sintético

Aulas	Tempo Estimado (min)	Conteúdo	Materiais didáticos
1	50	Implicações da radioatividade nos contextos sociais, políticos e econômicos.	Vídeos e questionário 1.
2	50	A descoberta da radioatividade	Vídeo e texto1.
3	50	Por que alguns elementos são radioativos e outros não?	Notícias de jornais Texto 2.
4	50	Força nuclear forte, decaimentos radioativos, número de prótons, número de massa, número de nêutrons, decaimentos alfa, beta e gama e meia vida.	Exercícios
5	50	Instabilidade e transmutação nuclear	Atividade lúdica com bolinhas de isopor.
6	50	Instabilidade e transmutação nuclear	Aula expositiva
7	50	Aplicação dos conceitos de decaimentos alfa e beta, transmutação nuclear, isótopos.	Quebra-cabeça radioativo.
8	50	Avaliação final da Sequência de Ensino-Aprendizagem.	Questionário 2.

DESCRIÇÃO DAS AULAS.

AULA 1

Tema: implicações científicas, tecnológicas e sociais da radioatividade.

Objetivo: Levantamento das concepções espontâneas dos estudantes.

Conteúdo Físico: enriquecimento do urânio, aplicação tecnológica.

Recursos Instrucionais: questionário 1, vídeo, lousa, pincel atômico.

Momentos:

1º Momento	Apresentação geral da proposta de curso para a sala (5 minutos). Após apresentação da proposta entregue o questionário 1 aos alunos e peça para que respondam. Enfatize que o objetivo do questionário é permitir que eles exponham seus conhecimentos e, a partir deles possam despertar durante as aulas suas curiosidades sobre o que já conhecem do assunto. Explicite que não existe finalidade avaliativa, pois os alunos costumam apresentar uma preocupação enorme com a nota.
	Tempo: ± 20 min.

2º Momento	Após os alunos responderem o questionário 1, peça para que cada um, de forma voluntária, exponha sua resposta. Como o questionário1 possui 7 questões, permita que de 2 a 3 alunos exponham as respostas para a primeira questão e, sucessivamente, para as outras. Com isso, vá anotando no quadro as palavras que sintetizam as respostas dos alunos, por exemplo, se um aluno relacionar a palavra radiação ao assunto, bomba atômica, energia nuclear ou acidente radioativo, você anota apenas as palavras, isso garante aperfeiçoar as discussões e permitir que todos exponham suas respostas.
	Tempo: ± 20 min.

3º Momento	Inicie o terceiro momento da aula colocando a seguinte questão no quadro: *As questões tratadas no vídeo me afetam? Se sim, de que maneira?* Peça para que os alunos assistam ao vídeo com atenção e tentem ao final respondê-la. O vídeo em questão trata da extração e enriquecimento do Urânio, fazendo menção à cidade de Caetité-Ba. https://www.youtube.com/watch?v=63gBrF1I_hM (tempo: 02h06min min.). Após a exibição do vídeo, o professor retoma a questão exposta no quadro e inicia uma discussão com os alunos sem dar respostas, apenas procura gerenciar essas discussões e escrever no quadro as palavras que sintetizam as ideias dos alunos sobre o conteúdo.
	Tempo: ± 10.

Sugestão: sugere que o professor nesta aula procure apenas instigar os alunos a expressarem suas interpretações e concepções prévias sobre o conteúdo da aula. Evite também dar respostas prontas aos estudantes, pois o objetivo é fazer com que eles expressem o máximo suas próprias interpretações.

Dinâmica da Aula.

Após explicar do que irá tratar a sequência de ensino-aprendizagem, apresentando seu caráter inovador para ensino de física na Educação Básica, o professor entregará aos alunos o questionário (1) pedindo que respondam em até 15 minutos (aproximadamente). Após os alunos terem respondido o questionário, peça para que cada um, de forma voluntária, exponha sua resposta. O questionário possui 8 questões, permita que de 2 a 3 alunos respondam a primeira questão e anote no quadro apenas as palavras que sintetizam suas respostas, por exemplo, se o aluno relacionar a radiação com bomba nuclear, energia nuclear, medicina e dentre outras, anote essas palavras e não o texto completo da resposta. Proceda da mesma maneira com as outras, para que todas sejam abordadas durante esta aula. Não precisa se preocupar em dar respostas aos alunos, apenas procure criar um ambiente descontraído para que eles possam se sentir a vontade para expor suas concepções sobre o assunto. Após abordar todas as questões, escreva no quadro a questão que vai orientar os alunos durante a exibição do vídeo, a saber: *As questões tratadas no vídeo me afetam? Se sim, de que maneira?* Inicie a exibição do vídeo sobre o processo de enriquecimento de urânio fazendo menção a Caetité-Ba e peça para que os alunos assistam ao vídeo atentando para a questão que irão responder no final. Após o vídeo, inicie as discussões tentando apenas ouvir as respostas e, anotá-las no quadro, da mesma forma que procedeu com o questionário. Assim que finalizar este momento, faça uma síntese sobre os principais pontos tratados, tendo como orientação os conceitos que serão abordados nas próximas aulas. Com isso, juntamente com eles procurará construir respostas científicas para a compreensão do conceito da radioatividade.

Nota: Professor, as questões do questionário (1) foram adaptadas de artigos científicos (literatura em Ensino de Ciência) sobre as concepções prévias dos alunos no que diz respeito ao tema radioatividade. Assim, como forma de melhorar o entendimento do objetivo de cada uma dessas questões fica a sugestão da leitura desses artigos, cuja referência encontra-se nas leituras complementares (BARRAGÁN *et al*., 2009; MARTINS, 1990).

AULA 2

Tema: A descoberta da radioatividade.

Objetivo: compreender o fenômeno da radioatividade.

Conteúdo Físico: conceito de emissão, absorção, materiais fosforescentes e fluorescentes, radioatividade, ionização dos gases, poder de penetração.

Recursos Instrucionais: vídeo e Texto (1)- A descoberta da Radioatividade, lousa, pincel atômico, tabela periódica.

Momentos:

1º Momento	Inicie a aula com as perguntas: o que é a radioatividade? Como foi descoberta? Quem a estudou? O professor utiliza um quadro cronológico para fazer uma abordagem dos acontecimentos no mundo no período da descoberta da radioatividade (apresentação em *Power point*, 10 minutos) traçando as relações entre os acontecimentos históricos e científicos no mundo, para mostrar que a época estava muito voltada para os grandes feitos da humanidade. No final apresente os cientistas que estudaram o fenômeno da radioatividade, ressaltando o papel importante das mulheres na produção do conhecimento científico.
	Tempo: ± 15 min.

2º Momento	Depois de fazer a apresentação, o professor entrega o texto (1), faz a leitura com os alunos e, pede para que eles reunidos em grupos, de 5 membros no máximo, respondam as questões contidas no texto. Após os alunos responderem as questões, o professor juntamente com eles, procurará abordar cada uma das questões e sistematizar suas respostas no quadro. Neste momento serão formalizados os conceito de radiação, radioatividade, os processos de emissão e absorção, o poder de penetração da radiação, os conceitos de fosforescência e fluorescência dos materiais, radiação ionizante e não ionizantes (utilizar o espectro eletromagnético).
	Tempo: ± 20 min.

3º Momento	Para formalizar a aula, o professor exibe o vídeo sobre a descoberta da radioatividade, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=SIB6fAzPW64 (tempo do vídeo: 10 min.) e, no final do vídeo, reforça um pouco mais o contexto da descoberta da radioatividade e as importantes contribuições do casal Curie para a descoberta de outros elementos químicos radioativos, além do urânio, a saber, o tório, o polônio e o rádio, cuja "atividade" deste último elemento, inspirou Marie Curie chamar a sua "atividade" de fenômeno da radioatividade.
	Tempo: ± 20 min.

Sugestão: sugere que o professor nesta aula procure enfatizar bastante o contexto histórico da descoberta da radioatividade, a fim de tentar ao final da aula, passar uma imagem contextualizada do processo de construção do conhecimento científico e sua associação a outros acontecimentos históricos importantes.

Dinâmica da Aula.

Professor inicie a aula com as seguintes questões: o que é a radioatividade? Como foi descoberta? Quem a estudou? Faça um breve comentário sobre essas questões e as coloque como ponto de partida para esta aula. Após isso, inicie uma

apresentação buscando chamar a atenção dos momentos em comum de acontecimentos históricos importantes, por exemplo, no mesmo período em que Rutherford e Soddy, em 1902 publicam *A origem e a natureza da radioatividade,* no o Brasil, Euclides da Cunha publica *Os sertões.* Fazendo essas relações históricas entre os acontecimentos científicos e outros acontecimentos, poderá mostrar que o mundo neste período estava vivendo o momento dos grandes feitos da humanidade. Por isso, apresente também os cientistas que estudaram o fenômeno da radioatividade e ressalte sempre o papel importante das mulheres na produção do conhecimento científico. Após essa apresentação (o material encontre-se em anexo). Entregue o texto (1) sobre a descoberta da radioatividade e peça para que os alunos formem grupos de 5 membros no máximo, faça a leitura do texto com eles e, peça que respondam as questões no final do texto. Após responderem as questões, retome cada uma delas e, coletivamente, inicie uma sistematização, tendo como ponto de partida, as próprias respostas dos alunos. Com isso, tente criar um clima de debate na sala, deixando os alunos fundamentar seus argumentos. Peça para que eles copiem em seus cadernos as respostas sistematizadas, pois irão precisar delas nas aulas posteriores. Procure formalizar os principais conceitos da aula - o conceito de radiação e radioatividade, os processos de emissão e absorção, o poder de penetração da radiação, conceitos de fosforescência e fluorescência dos materiais, radiação ionizante e não ionizantes- utilize o espetro eletromagnético para mostrar a diferença entre radiações ionizantes e não-ionizantes. Finalizado essa etapa, exiba o filme sobre a descoberta da radioatividade para reforça os aspectos do contexto histórico, o nome de cada cientista que a estudou e, principalmente, o papel importante das mulheres na produção do conhecimento científico. No final da aula, no intento de criar uma coerência entre ela e as atividades das próximas, fomente o tema da próxima aula inserindo nas discussões a questão: *o que torna alguns elementos radioativos e outros não?* Com isso poderá produzir um fio condutor que norteará os alunos para os objetivos pretendidos nas próximas aulas.

Nota: professor, o material para preparar a apresentação sobre a abordagem cronológica do contexto histórico do período da descoberta da radioatividade está disponível em anexo neste plano de aula. Como sugestões, solicitamos a leitura da referencia (MARTINS, 1990) - *Como Becquerel não Descobriu a Radioatividade*. Neste artigo será possível ampliar um pouco mais sobre o contexto histórico e os personagens que trabalharam nos estudos aqui presentes.

AULA 3

Tema: o que torna alguns elementos radioativos e outros não?

Objetivo: construir com os alunos o conceito de Instabilidade e transmutação nuclear.

Conteúdo Físico: número de nêutrons, número de prótons, massa atômica, meia-vida, decaimentos alfa, beta e gama.

Recursos Instrucionais: atividade envolvendo notícias de jornais sobre a radioatividade, lousa, pincel atômico, tabela periódica e uma lista de questões.

Momentos:

1º Momento	Inicialmente o professor expõe uma questão- O *que torna alguns elementos radioativos e outros não?- e* inicia uma breve discussão com os alunos. Depois explica que nesta aula farão uma atividade utilizando textos de situações reais, baseadas em notícias de jornais sobre acontecimentos envolvendo acidentes com contaminação radioativa, para juntos tentar responder a questão tema da aula. Assim, orienta os alunos a formarem os mesmos grupos da aula anterior, pois serão mantidos até o final das aulas da sequência. Em seguida, entrega alguns trechos de jornais sobre o acidente de Fukushima, Goiânia e do espião russo (em anexo).
	Tempo: ± 10 min.

2º Momento	O professor pede para que os alunos leiam em grupo os trechos de jornais e destaquem o que lhes chamam à atenção, por exemplo: os elementos químicos envolvidos; os termos científicos (isótopos, número atômico, nomenclatura e etc.). Feito isso, entregue uma lista (1) de questões relacionadas tanto ao acidente de Goiânia e Fukushima, quanto ao caso do espião russo, a saber: o que é o Césio-137? Por que o Césio é tão perigoso? O que significa radioativo? Por que o polônio 210 é radioativo? O que é uma radiação alfa? Quais os efeitos da radiação alfa? Por que se escreve sempre o elemento químico seguido de um número? O que significa este número? O que é uma radiação beta? O que é uma radiação gama? O que significa meia-vida de um elemento radioativo? Como a radiação pode afetar os seres vivos? E pede para que os alunos as escrevam em seus cadernos, individualmente, sem desfazer os grupos.
	Tempo: ±30min.

3º Momento	Depois que os alunos copiarem as questões, o professor abre o espaço para debatê-las, deixando que eles exponham suas respostas e, automaticamente, vai anotando no quadro, as palavras pertinentes ao assunto e sua relação com o conteúdo. Além disso, procura orientar as discussões para a aula seguinte, na qual será realizada a sistematização de cada resposta.
	Tempo: ± 10 min.

Sugestão: sugere que o professor nesta aula, procure enfatizar bastante o tema, acompanhar a leitura dos alunos e orientá-los para a continuação aula na seguinte.

Dinâmica da Aula.

Em um primeiro momento, antes de iniciar a atividade, retome a questão- *O que torna alguns elementos radioativos e outros não?*- depois, explique que para construir, coletivamente, essa resposta, os alunos irão realizar uma atividade, utilizando trechos de notícias de jornais, envolvendo situações reais de acidentes com contaminação radioativa. Em seguida, oriente os alunos a formarem os mesmos grupos da aula anterior. Depois, entregue os trechos de jornais e peça que leiam em grupo e destaquem o que lhes chamam à atenção. Durante a realização da atividade, procure acompanhar os alunos para verificar se estão entendo o objetivo dela, ou seja, indagá-los utilizando os mesmos trechos de jornais. Após essa leitura, entregue uma lista (1) de questões relacionadas com o conteúdo dos trechos, a saber: *o que é o Césio-137? Por que o Césio é tão perigoso? O que significa radioativo? Por que o polônio 210 é radioativo? O que é uma radiação alfa? Quais os efeitos da radiação alfa? Por que se escreve sempre o elemento químico seguido de um número? O que significa este número? O que é uma radiação beta? O que é uma radiação gama? Como a radiação pode afetar os seres vivos?* Após, abra um espaço para o debate e retome cada uma das questões, pedindo aos alunos para responderem oralmente. Procure anotar, apenas, as palavras relacionadas ao conteúdo dos trechos. Como essa aula terá continuidade, não se preocupe em formalizá-la, pois isso será feito na aula seguinte.

Nota: Professor, a ideia de utilizar os trechos de noticiais de jornais para esta aula e a próxima, tem o objetivo de proporcionar aos alunos, implicações reais do estudo da radioatividade em nível, nacional (acidente de Goiânia em 1987) e internacional (Fukushima, 2011 e o envenenamento do espião russo em 2006). As questões levantadas a partir dos trechos de jornais estão fundamentas em artigos presentes na literatura em ensino de Física. Suas referências encontram-se na lista de leituras complementares (SANTOS; PÉREZ-ESTEBAN, 2012).

AULA 4

Tema: o que torna alguns elementos radioativos e outros não?

Objetivo: construir com os alunos o conceito de Instabilidade e transmutação nuclear.

Conteúdo Físico: número de nêutrons, número de prótons, massa atômica, meia-vida, decaimentos alfa, beta e gama.

Recursos Instrucionais: atividade envolvendo notícias de jornais sobre a radioatividade. Texto 2-Entra em Cena uma nova figura: Ernest Rutherford, lousa, pincel atômico, tabela periódica, exercícios e problemas.

Momentos:

1º Momento	Retomando as questões da aula 3, o professor informa aos alunos que para começar respondê-las, utilizará a leitura do Texto (2) - *Entra em Cena uma nova figura: Ernest Rutherford* - e outros recursos, tabela periódica, lousa e exercícios. Assim, pede que os alunos mantenham os mesmos grupos da aula anterior.
	Tempo: ± 5 min.

2º Momento	O professor entrega o Texto (2) para cada grupo, ler inicialmente com eles e, depois, pede para que respondam as questões contidas no mesmo. Após tentarem responder, o professor, por meio do texto, inicia a sistematização das respostas dos alunos na lousa e ao final retoma as discussões das questões da aula anterior. Neste momento, o professor, junto com os alunos e, munidos de informações (conteúdo do texto (2)) sobre a natureza da radioatividade, irá iniciar a formalização das questões presentes na lista (1) da aula anterior. Para isso, utilizando a tabela periódica, vai identificando os elementos químicos instáveis e destacando o seu numero de prótons, seu número de nêutrons e a massa atômica desses elementos. Após esse momento, o professor procura trabalhar alguns exercícios (em anexo) com os alunos abordando os conceitos de meia-vida, de transmutação nuclear e dos decaimentos radioativos alfa e beta, utilizando como exemplo, o caso do espião russo e os efeitos biológicos das partículas alfa nos seres vivos.
	Tempo: ± 40min.

3º Momento	Após a sistematização das respostas da lista 1, o professor retoma a questão tema da aula - *O que torna alguns elementos radioativos e outros não?*- e procura observar se os alunos são capazes de respondê-la. Mesmo que a compreendam ou não, dando resposta a questão, sinalize que a próxima aula estará diretamente relacionada com o fenômeno da radioatividade.
	Tempo:±05 min.

Sugestão: sugere que o professor nesta aula, procure trabalhar de forma contundente os conceitos chaves do conteúdo, no intuito de encaminhar os alunos para o desenvolvimento das atividades nas aulas seguintes.

Dinâmica da Aula.

Em um primeiro momento, retome as questões da aula 3 e explique que, para construir coletivamente essa resposta, os alunos primeiro irão realizar a leitura do texto 2 para compreender os conceitos de radiações alfa, beta e gama, seu poder de penetração, ionização e dentre outros conceitos envolvidos nas notícias dos jornais. Leia com os alunos o texto e, em seguida, peça para que respondam as questões do mesmo. Após os alunos responderem as questões, formalize com eles as respostas e, depois, retome as questões da lista (1) da aula anterior. Agora, utilizando a tabela periódica, procure identificar os elementos químicos citados nas notícias de jornais, e outros elementos já citados no Texto (1). Com isso, peça que os alunos identifiquem o número de prótons, o número de nêutrons, número de massa. Automaticamente, os elementos irão apresentar número de massa diferente dos que aparecem nos trechos dos jornais, porém lhe permitirá trabalhar o conceito de isótopos e responder a questões da Lista (1) – *Por que os elementos são acompanhados de números e o que significam*. Depois de realizada esta etapa, entre no conceito de meia-vida por meio de exercícios para mostrar como as radiações afetam os seres vivos, bem como quais são os efeitos que elas causam-nos mesmos. Para finalizar essa aula, retome a questão tema da aula - *O que torna alguns elementos radioativos e outros não?*- e veja se os alunos são capazes de responder através dos conteúdos trabalhados nas aulas 3 e 4. Mesmo que compreendam ou não dando resposta a questão, sinalize que a próxima aula está diretamente relacionada com o fenômeno da radioatividade.

AULA 5

Tema: transmutação nuclear.

Objetivo: compreender a instabilidade nuclear e o fenômeno de transmutação.

Conteúdo Físico: número de nêutrons, número de prótons, massa atômica**,** decaimentos alfa, beta, interações fundamentais fortes e fracas.

Recursos Instrucionais: bolinha de isopor, fita adesiva, tesoura, cola barbante, pincel atômico.

Momentos:

1º Momento	Oriente os alunos a formarem os mesmos grupos das aulas anteriores, em seguida explique que eles realizaram uma atividade lúdica envolvendo algumas condições (regras) contidas no roteiro 1, que não podem ser violadas, tais como: escolher um dos elementos químicos presentes no Texto1 sobre a descoberta da radioatividade (Urânio, Polônio, Tório ou Rádio), escolher apenas um tipo de cola para as bolinhas (cola branca, cola de silicone, fita adesiva ou cola bastão), colar as bolinhas a partir da estrutura apresentada pelo professor (bolinha presa por um barbante e suspensa por um suporte), não segurar as bolinhas coladas para a colagem das outras e, por fim, seguir o roteiro da atividade, não deixando de responder as questões que se pede. Após essa explicação entregue os materiais da atividade aos alunos, as bolinhas de isopor (100) unidades, o tipo de cola escolhido e uma bolinha presa por um barbante e suspensa por um suporte. O Roteiro 1 da atividade também possui as seguintes questões: *o que mantêm as suas bolinhas presas? Quantas bolinhas vocês conseguiram colar antes da primeira cair? Por que as bolinhas estão caindo? O elemento que vocês escolheram para nomear o conjunto das bolinhas continua o mesmo?*
	Tempo: ± 05 min.
2º Momento	Depois que entregar os materiais e o Roteiro aos alunos, permita que eles realizem a atividade sozinha em seus grupos, mas procure fazer visitas a todos os grupos, a fim de se certificar que estão seguindo as regras propostas para a realização da atividade. Nessas vistas, oriente os alunos a ficarem atentos às questões do Roteiro e tentar responder até finalização da atividade. Se necessário, utilize as próprias questões para servir de guia durante as indagações nos grupos.
	Tempo: ± 30min.
3º Momento	Ao final da atividade, peça para que os alunos apresentem suas respostas, de forma breve, cada uma das questões. Como o tempo é curto, para que todos os grupos apresentem todas as respostas, escolha uma questão por grupo e, não tenha preocupação em fazer as relações entre os conceitos de Física e a atividade neste momento, pois isso será feito na aula seguinte. Finalize a aula com a seguinte discussão: vocês escolheram um tipo de cola para grudar as bolinhas, mas no átomo, mais precisamente, no núcleo do átomo, não existe cola! Então, o que poderia realizar este mesmo papel no núcleo do átomo?
	Tempo: ± 15 min.

Sugestão: sugere que o professor nesta aula procure, apenas, acompanhar os alunos e garantir que eles cumpram as regras e roteiro da atividade.

Dinâmica da Aula.

Como a atividade trata-se de um momento lúdico, procure orientar os alunos a seguirem suas escolhas para a realização da mesma, sem abandoná-las, quando perceberem que não foram felizes nos resultados. Fique atento para que os alunos não deixem de responder as questões do Roteiro 1, pois elas serão os pontos de partidas para a sistematização dos conceitos de instabilidade e transmutação nuclear na aula 6. Assim, monitore a forma com que os alunos executam a atividade (utilização dos materiais, de maneira, a não permitir que eles se esqueçam das questões). Após os alunos finalizarem a colagem das bolinhas, peça que cada grupo responda uma das questões do Roteiro, pois não será possível a resposta de todas por cada grupo. Porém deixe claro que essas questões serão retomadas na aula seguinte. Finalize a aula com a seguinte discussão: vocês escolheram um tipo de cola para grudar as bolinhas, mas no átomo, mais precisamente, no núcleo do átomo, não existe cola! Então, o que poderia realizar este mesmo papel no núcleo do átomo?

AULA 6

Tema: transmutação nuclear.

Objetivo: compreender a instabilidade Nuclear e o fenômeno de transmutação.

Conteúdo Físico: interações fundamentais (forçanuclear forte e fraca), número de nêutrons, número de prótons, massa atômica, decaimentos alfa, beta.

Recursos Instrucionais: lousa, tabela periódica, exercícios.

Momentos:

1º Momento	Inicialmente peça que os alunos formem os mesmo grupos da aula anterior, e inicie as discussões com as questões do Roteiro1. Tomando cada uma delas como ponto de partida, procure primeiro ouvir as respostas dos alunos e escreva no quadro, apenas, as respostas pertinentes ao conteúdo e as relações que irá estabelecer no segundo momento da aula.
	Tempo: ± 5 min.

2º Momento	Após ouvir as respostas dos alunos e anotar as palavras pertinentes ao conteúdo e suas relações, o professor iniciará a sistematização das respostas estabelecendo as relações entre os conceitos de Física e as questões da atividade das bolinhas de isopor.
	Tempo: ±30min.

3º Momento	Após sistematização das relações entre os conceitos de Física e as questões da atividade lúdica das bolinhas, o professor finaliza a aula resolvendo alguns exercícios envolvendo decaimentos alfa, beta, meia-vida e transmutação nuclear.
	Tempo: ± 15 min.

Sugestão: essa aula será bem expositiva, por isso sugere que o professor atenha-se nas questões da atividade lúdica e das suas relações com os conceitos de transmutação e instabilidade nuclear.

Dinâmica da Aula.

Professor, inicialmente, retome as questões do Roteiro 1 para poder estabelecer as relações entre os conceitos de Física que serão tratados nesta aula, tais como: interações fundamentais (força nuclear forte e fraca), número de nêutrons, número de prótons, massa atômica, decaimentos alfa e beta e a atividade das bolinhas. Em cada uma dessas questões, procure primeiro, ouvir dos alunos suas respostas e anotar no quadro as palavras que irão estabelecer as possíveis relações, exemplo, para a primeira questão - *O que mantém as suas bolinhas presas?* Se os alunos responderem que foi a cola e/ou a fita adesiva, responsáveis

por grudar as bolinhas, escreva a palavra “cola” no quadro e uma seta ao lado desta, para que os alunos possam observar as relações que serão feitas, por meio de suas respostas. Será possível estabelecer uma relação entre a cola e as força nuclear forte e fraca, pois elas são as responsáveis pela manutenção das interações entre os prótons e os nêutrons no núcleo do átomo. Dessa forma, os alunos vão, gradativamente, construindo o conceito de força forte, como sendo uma força que representa esta aderência da cola ou da fita adesiva, mas que tem um raio de ação em uma região muito pequena do núcleo (10^{-15} cm), tornando-se responsável pela manutenção das interações entre prótons. E, em uma dimensão menor ainda, existe a força fraca (10^{-18} cm), responsável pelos decaimentos beta (pósitrons ou elétrons). Para a questão- Por *que as bolinhas estão caindo?* – proceda da mesma maneira, ou seja, escrevam no quadro as palavras que serão utilizadas para estabelecer as relações entre as respostas dos alunos e o conceito de força eletromagnética, cujo poder de ação está mais intenso nas regiões limites da força nuclear fraca e forte. Neste momento procure também explicar que a razão das bolinhas caírem sãoimputada a aderência das colas ou da fita adesiva, porém no núcleo do átomo isso se deve a um número expressivo da massa atômica e uma diferença também expressiva entre prótons e nêutrons. Por suas vezes, esses fatores explicam a instabilidade do átomo e estabelece uma relação entre a aderência das colas ou da fita adesiva com a queda das bolinhas. Para a questão quatro – *O elemento que vocês escolheram para nomear o conjunto das bolinhas continua o mesmo?* Procure estabelecer os conceitos de isótopos e mostrar o motivo de um número vir acompanha do elemento químico. Além disso, com a questão relacionada com à quantidade das bolinhas, peça que o alunos indiquem quantas bolinhas caíram e tente estabelecer uma relação com essa quantidade e as particular alfa (dois prótons e 2 nêutrons), ou com a conversão de prótons e nêutrons (decaimentos de partículas beta + (pósitrons) e beta menos – (elétrons). Feito isso, faça a seguinte pergunta aos alunos: *os elementos que vocês escolheram para nomear o conjunto das bolinhas continuam o mesmo?* Com essa questão você trabalhará o conceito de transmutação nuclear e alcançará o objetivo da atividade. Para finalizar a aula, resolva alguns exercícios envolvendo decaimentos alfa, beta, meia-vida e transmutação nuclear.

Nota: Professor, caso não seja possível abordar todo o conteúdo desta aula em apenas 50 minutos, você pode tratar de alguns conceitos, abordando as principais questões da atividade e relacionado-as com o conteúdo de Física e as outras questões pode ser abordadas na aula seguinte, uma espécie de extensão da aula 6.

AULA 7

Tema: Decaimentos alfa e beta.

Objetivo: aplicação dos conceitos de transmutação nuclear e decaimentos radioativos alfa e beta.

Conteúdo Físico: decaimentos radioativos alfa e beta, transmutação nuclear, isótopos, massa atômica, número de prótons e número de nêutrons.

Recursos Instrucionais: Quebra-cabeça radioativo, Roteiro 2 e tabela periódica.

Momentos:

1º Momento	Inicialmente o professor retoma os conceitos trabalhados na atividade lúdica com as bolinhas de isopor para relembra alguns conceitos, tais como: transmutação nuclear, decaimentos radioativos alfa, beta, características físicas das partículas alfa e beta, número de prótons e número de nêutrons, massa atômica. Depois orienta os alunos, a formarem os mesmos grupos. Em seguida, entrega o Roteiro 2 e o quebra-cabeça radioativo, lê o Roteiro com os alunos, para que não restem dúvidas sobre os procedimentos da atividade. Por fim, explica que eles devem se organizar para aperfeiçoar o tempo da aula.
	Tempo: ± 10 min.

2º Momento	Em um segundo momento, os alunos munidos com as informações do Roteiro 2, com o quebra-cabeça, a tabela periódica e uma folha para relatório da atividade, começam a realização da mesma. Depois, o professor orienta os alunos para a montagem do quebra-cabeça. Para organizar a atividade, pede para que eles indiquem, no grupo, quem irá identificar os elementos químicos na tabela periódica, quem irá escrever o relatório da atividade e quem vai montar o quebra-cabeça.
	Tempo: ± 30 min.

3º Momento	No final da atividade, o professor, inicia com os alunos a apresentação dos seus relatórios, mostrando quais os passos realizaram para concretizar todas as etapas do roteiro, bem como os conceitos que foram usados para identificar as partículas emitidas por cada elemento químico. Com isso, o fenômeno físico responsável pelos decaimentos radioativos e os elementos isótopos encontrados no quebra-cabeça deve ser expresso.
	Tempo: ± 50 min.

Sugestão: sugere que o professor nesta apenas monitore o andamento da atividade e não caia na tentação de responder as dúvidas dos alunos dando-lhes as respostas corretas.

Dinâmica da Aula.

Inicialmente retome os conceitos estudados nas aulas anteriores (5 e 6) e depois explique aos alunos a atividade que irão realizar, bem como os objetivos pretendidos. Logo em seguida, oriente os alunos a formarem os mesmo grupos das aulas anteriores. Entregue o Roteiro 2 e o quebra-cabeça radioativo. Depois, leia juntamente com eles o Roteiro, para que não restem dúvidas quanto os objetivos da atividade. Peça para que eles montem estratégias de como realizar a atividade, exemplo, escolher quem vai identificar os elementos na tabela periódica, quem vai montar o quebra-cabeça, quem vai escrever o relatório e, assim por diante. O intuito é aperfeiçoar o tempo da aula, pois as atividades lúdicas, geralmente, tomam um bom tempo, por isso acaba ficando pouco tempo para o fechamento da mesma no final da aula. Feito isso, deixe os alunos à vontade, mas monitore, sempre, para observar se eles estão se organizando, no intuito de aperfeiçoar o tempo da aula. Caso os alunos queiram tirar dúvidas sobre os conceitos envolvidos na atividade, não dê respostas corretas, apenas indague-os se os conceitos trabalhados para a concretização da atividade foram utilizados de forma correta. Uma das finalidades dessa atividade é promover o trabalho coletivo dos estudantes que irão organizar as peças até chegar a um elemento estável e não mais radioativo. Tenha sempre em mente durante a realização da atividade, pelos alunos, que ela é seu instrumento de avaliar o grau de compreensão dos alunos sobre os conceitos estudados até o momento. Pois permite que eles coloquem em prática os conceitos aprendidos durante a realização da atividade lúdica com as bolinhas de isopor. Assim como, suas compreensões sobre a transmutação dos elementos químicos radioativos, os decaimentos alfa e beta, o conceito de meia vida desses elementos, a relação entre elementos isótopos (variantes de um elemento químico particular) que compartilham o mesmo número de prótons, mas diferem em seu número de massa.

Para você (professor), a importância dessa atividade se estabelece quando possibilitam identificar indícios da compreensão individuais e coletivas dos alunos, as lacunas de ensino ocorridas durante as aulas (conceitos que não foram bem sistematizados).

Além disso, você pode avaliar esse grau de compreensão dos alunos como parâmetro para verificar se as aulas e as atividades realizadas, até este momento, foram realmente satisfatórias do ponto de vista das perguntas: *será que a atividade primeira realmente prepara para as próximas? São as próximas, realmente preparadas de maneira suficiente pelas anteriores?* Essa atividade pode nos ajudar também, a clarificar os caminhos que nos levam as melhores maneiras de ensinar os tópicos da Física Moderna e Contemporânea, visando, sempre, proporcionar uma melhor aprendizagem dos alunos, bem como uma maior qualidade em suas formações, como profissionais e cidadãos.

AULA 8

Tema: Avaliação final da Sequência de Ensino-Aprendizagem

Objetivo: avaliar o grau de compreensão dos alunos sobre os conteúdos trabalhados durante a implementação da Sequência de Ensino-Aprendizagem.

Conteúdo Físico: decaimentos radioativos alfa e beta, transmutação nuclear, isótopos, massa atômica, número de prótons e número de nêutrons, meia-vida, força nuclear forte e fraca, força eletromagnética.

Recursos Instrucionais: questionário.

Momentos:

1º Momento	Inicialmente o professor começa a aula pedindo que os alunos falem o que acharam da proposta, se compreenderam os objetivos de cada aula, se tiveram dificuldades e quais foram.
	Tempo: ± 5 min.

2º Momento	Após um momento breve de discussão sobre a sequência de ensino-aprendizagem o professor entrega um Questionário 2 (anexo) aos alunos para que eles respondam. As questões deste questionário têm o objetivo de permitir aos alunos aplicarem seus conhecimentos em situações reais envolvendo posicionamentos fundamentados nos conhecimentos científicos aprendidos durante a implementação.
	Tempo: ± 40 min.

3º Momento	Ao final da atividade, o professor, recolhe o questionário e agradece aos alunos a participação de todos. Fechando com algumas considerações que achar pertinente ao assunto e os objetivos alcançados com a implementação da proposta.
	Tempo: ±05 min.

Dinâmica da Aula.

Inicialmente, comece a aula perguntando aos alunos o que eles acharam da proposta, os que aprenderam do assunto, se compreenderam os objetivos de cada aula, e quais foram às dificuldades durante as atividades. Depois entregue o questionário 2 com algumas questões envolvendo situações reais ocorridas no dia-a-dia da população em que as repostas exigem posicionamento fundamentado cientificamente e que eles devem responder as questões com base no que aprenderam durante as atividades da Sequência de Ensino-Aprendizagem. Ao final, recolha o questionário dos alunos e faça as considerações que achar pertinente.

Nota: Professor, todo o material de apoio para trabalhar os conteúdos da Sequência de Ensino-Aprendizagem sobre o tópico radioatividade está disponível no anexo. As referências bibliográficas que foram baseadas para formulação das perguntas de cada uma das aulas então disponível nas leituras complementares. Desde já, desejamos muito bom proveito deste material. Pois, aliando nossas competências em materializar pesquisas teóricas em práticas educacionais efetivas, lançaremos as bases para iniciarmos um novo momento no ensino de Física, tão necessitado e empobrecido pelo tempo dedicado aos métodos tradicionalistas (ênfase nos conteúdo para resolução de problemas). Esta sequência de ensino-aprendizagem é materialização de uma pesquisa de mestrado que buscou entender como efetivamente podemos ensinar tópicos de Física Moderna e Contemporânea do Ensino Médio de Física visando sempre uma melhor qualidade na formação dos nossos jovens e futuros cidadãos.

ANEXOS

Texto (1).

A descoberta da radioatividade[14]

No dia 20 de janeiro de 1896, Antoine Henri Becquerel (1852-1908) tomou conhecimento da descoberta dos raios-X por Röntgen. Físico francês da terceira geração da família Becquerel, tinha muito interesse na fosforescência e na fluorescência dos materiais. Estes termos, fosforescência e fluorescência, não são sinônimos. Na fluorescência a emissão luminosa ocorre enquanto houver estímulo, a absorção e a emissão ocorrem rapidamente. Na fosforescência, mesmo cessado o estímulo, haverá a emissão, pois o processo de emissão é mais lento que na fluorescência.

Becquerel imaginou se havia uma relação entre raios X e a fluorescência, ou seja, se algumas substâncias fluorescentes poderiam emitir raios X espontaneamente. Depois de descobrir que muitos elementos não produziam qualquer efeito, passou a utilizar materiais fosforescentes.

Ele utilizou sulfato de potássio e urânio, sal de urânio que era conhecido por suas propriedades fosforescentes. Cobriu uma chapa fotográfica com duas folhas de papel escuro grosso, tão grosso que a chapa não ficou manchada ao ser exposta ao Sol durante um dia inteiro. Colocou sobre o papel uma camada da substância fosforescente e para ativar a fosforescência do sal de urânio, expôs tudo ao Sol por várias horas. Quando revelou a chapa fotográfica, percebeu a silhueta da substância fosforescente em escuro sobre o negativo. Concluiu que a substância emitia radiações capazes de atravessar a folha de papel opaca à luz. Tudo se passava como se o sal de urânio emitisse raios-X.

Em 24 de fevereiro de 1896, Henri Becquerel fez um relatório de sua experiência e apresentou à Academia de Ciências em Paris. No entanto, em 2 de março, Becquerel anunciava aos seus pares da academia algo mais extraordinário. Durante a semana havia tentado repetir a experiência, preparando uma nova placa fotográfica enrolada no papel e no sal de urânio. Aconteceu que o tempo havia piorado e ele ficou impossibilitado de realizar a exposição ao Sol. Então guardou o conjunto numa gaveta à espera de melhores dias. Na véspera da seção da academia, como o tempo permaneceu encoberta, decidiu, mesmo assim, revelar as placas, esperando encontrar o negativo em branco. Para sua surpresa os negativos mostravam uma mancha de grande intensidade. Conclui que o sal de urânio emitia raios capazes de atravessar o papel preto, quer tivesse sido exposto ou não ao Sol. Sem dúvida, alguma emissão desconhecida estava saindo do sal, atravessando o papel e chegando até a chapa fotográfica. Essas emissões foram chamadas de **raios de Becquerel**.

Pouco tempo depois, em 9 de março de 1896 já descobrira que a radiação emitida pelo sal de urânio não apenas escurecia as chapas fotográficas protegidas, como também ionizava gases, isto é, provocava a libertação de elétrons dos átomos do gás, que por esse motivo ficavam carregados positivamente (falta de elétrons), transformando estes gases em condutores de eletricidade. A partir daí, era possível medir a "atividade" de uma amostra simplesmente medindo a ionização que ela produzia.

O instrumento usado para a medição da ionização que o gás sofria era um rústico eletroscópio de lâminas de ouro. Este instrumento é constituído de duas folhas metálicas, neste caso de ouro, finas e flexíveis, ligadas em sua parte superior a uma haste metálica, que se prende a uma placa condutora. Normalmente, as folhas metálicas são mantidas dentro de um frasco vidro

[14]SIQUEIRA, Maxwell. **Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio**. São Paulo, Curso de Pós-graduação em Educação em Ciências. IF/IQ/FE USP, 2006. Dissertação de Mestrado.

transparente e seco, a fim de aumentar a sua sensibilidade e diminuir efeitos do ambiente externo. O isolante impede a passagem de cargas elétricas da haste para o vidro. Aproximando-se da placa um tubo com o gás ionizado, isto é eletrizado, ocorrerá a indução eletrostática, ou seja: se o gás estiver carregado negativamente, ele repele os elétrons livres da placa para as lâminas de ouro, fazendo com que elas se abram devido à repulsão. Se o gás estiver com cargas positivas, ele atrai os elétrons livres das lâminas, fazendo também com que elas se abram, novamente, devido à repulsão. A determinação do sinal da carga do gás em teste, que já se sabe estar eletrizado, é obtida carregando-se anteriormente o eletroscópio com cargas de sinal conhecido. Dessa forma, as lâminas terão uma determinada abertura inicial. Pode-se observar isso nas figuras I (neutro) e II (eletrizado):

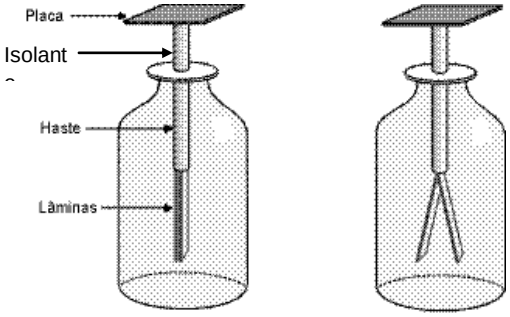


Figura I

Figura II

A essa altura, um casal de cientistas iniciava suas investigações sobre a radioatividade em Paris, estudando vários minérios, uma vez que Henri Becquerel focalizou suas pesquisas somente no urânio. Marie Sklodowska Curie (1867-1934), polonesa, e seu marido francês Pierre Curie (1859-1906), após analisar vários compostos de urânio, verificaram a constatação de Becquerel, confirmando que a emissão de raios é uma propriedade do elemento urânio e assim, decidiram examinar todos os elementos conhecidos. Descobriram que também o ***tório*** emitia raios semelhantes aos do urânio.

Nesse ponto, depois de descobrirem que o urânio não era o único elemento a emitir radiação espontaneamente, Marie decidiu então, analisar todos os minérios naturais e para sua surpresa um mineral de urânio (uranita) era três ou quatro vezes mais radioativo do que se esperava. Desta forma concluiu que um elemento extremamente radioativo deveria existir enquanto impureza nesse minério. Depois de um longo e exaustivo trabalho, em julho de 1898, Marie com a ajuda de seu marido Pierre, conseguiu isolar a impureza e perceberam que se tratava de um novo elemento, que designaram de ***polônio***, em homenagem ao país de origem de Marie, a Polônia.

Ao aprimorar mais os seus métodos de purificação da uranita, o casal Curie, acabou por encontrar, em setembro desse mesmo ano, um elemento altamente radioativo que recebeu o nome de ***rádio***. Marie propôs a palavra ***radioatividade*** para esse fenômeno.

Mas apesar de conseguir descobrir mais elementos radioativos, permaneciam dois grandes problemas a serem resolvidos, segundo os Curie: *Qual era a origem da energia emitida por esses elementos radioativos? Qual é a natureza das radiações emitidas?*

Questões:

(1) Qual foi a principal contribuição que os Curie deram para a radioatividade?

(2) Você sabe a diferença entre material fluorescente e fosforescente?

(3) Explique a frase “para ativar a fosforescência do sal de urânio, ele expôs tudo ao sol por várias horas”.

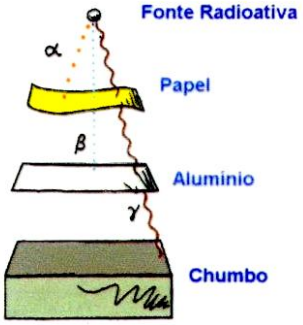
(4) Se na experiência de Becquerel, ele tivesse colocado entre o filme revelador e o sal de urânio uma placa grossa (~3 mm) de chumbo, conseguiria ver alguma mancha? Por quê?

Texto (2).

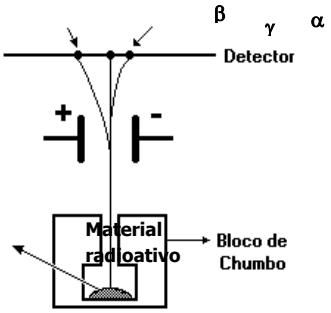
Entra em cena uma nova figura: Ernest Rutherford[15]

Após a descoberta dos raios X e da radioatividade, Ernest Rutherford (1871-1937), cientista nascido na Nova Zelândia, deu contribuições decisivas para a compreensão da natureza das substâncias radioativas e das suas radiações. Rutherford e seu colaborador Joseph John Thomson (1856-1940) dedicavam-se a medir a ionização nos gases provocada pelos raios X e pelas radiações emitidas pelo urânio.

Em longo trabalho no laboratório Cavendish, Rutherford percebeu, em 1898, a existência de dois tipos diferentes de radiações emitidas pelo urânio, devido à penetração que tinham na matéria. Os raios que são menos penetrantes ele designou por raios alfa (□) e, os raios que penetravam mais de raios beta (□). Além da diferença na penetração na matéria, ele percebeu que os raios alfa e beta eram defletidos para lados opostos quando passavam por uma região com campo magnético. Disso ele pode concluir que eles tinham carga elétrica oposta.



Com o resultado das experiências realizadas por Rutherford, bem como a de outros cientistas como Becquerel, conclui-se em poucos anos que os raios beta(□) são raios catódicos (elétrons). Entretanto, P. V. Villard, na França, descobriu uma terceira forma de radiação que era muito mais penetrante que as duas anteriores, que designou por raios gama □ (□). Estes não eram sensíveis ao campo magnético, ou seja, não eram desviados e surgiram como uma espécie de raios X mais energéticos. O esclarecimento da natureza dos raios □ continuou um mistério durante alguns anos. Ao se mudar para Toronto, no Canadá, Rutherford pode observar outro fenômeno misterioso. Ao isolar a parte radioativa do sal de urânio, ele perdia a sua radiação com o passar do tempo. Por outro lado, a solução da qual havia sido retirado o elemento radioativo recuperava a radioatividade inicial.



Trabalhando com o químico F. Soddy, Rutherford chegou a um resultado que implicava na transmutação[16] entre os elementos, algo que foi dito com muita cautela ao anunciar, pois lembrava fortemente o antigo sonho dos alquimistas.

Para fundamentar sua conclusão sobre a transmutação dos elementos, Rutherford teve que investigar mais a natureza das radiações alfa (□). Entre 1900 e 1903, através das medidas da razão entre a massa e carga elétrica das partículas □ , ele pode concluir que estas são, na verdade, núcleo do átomo de Hélio (He). Resolvendo assim o problema da transmutação dos elementos que pode ser explicado da seguinte maneira: os átomos instáveis (radioativos) emitem as radiações □ e □ , ao fazerem isso eles mudam suas propriedades químicas, transformando-se em outro de elemento (transmutação). Estava assim desvendada a natureza das radiações □ e da transmutação dos elementos. Porém ainda não compreendiam como que essas radiações eram produzidas, deixando essa questão em aberto para a ciência.

---

[15]SIQUEIRA, Maxwell. **Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio**. São Paulo, Curso de Pós-graduação em Educação em Ciências. IF/IQ/FE USP, 2006. Dissertação de Mestrado.

[16] Basicamente a transmutação era o sonho dos alquimistas em transformar qualquer substância em ouro (Au).

Questões:

(1) (a) Qual foi à principal contribuição que Rutherford deu para a radioatividade?

(1) (b) Como ele fez isso?

(2) Quais são as principais diferenças entre as radiações alfa e beta?

(3) Por que a radiação gama não sofre desvio ao atravessar o campo eletromagnético?

Diagrama (1). Atividade lúdica do dominó.

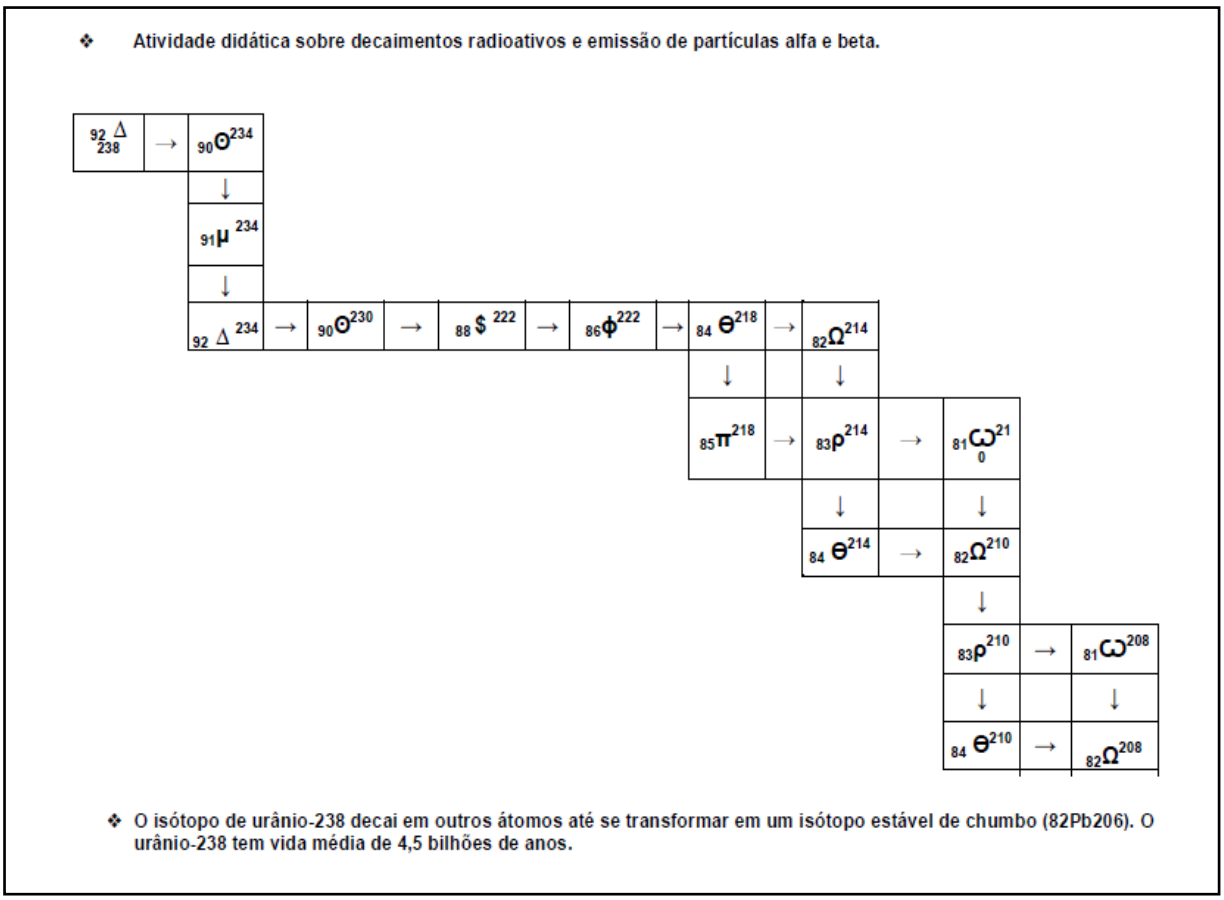


Diagrama (2). Atividade lúdica do dominó.

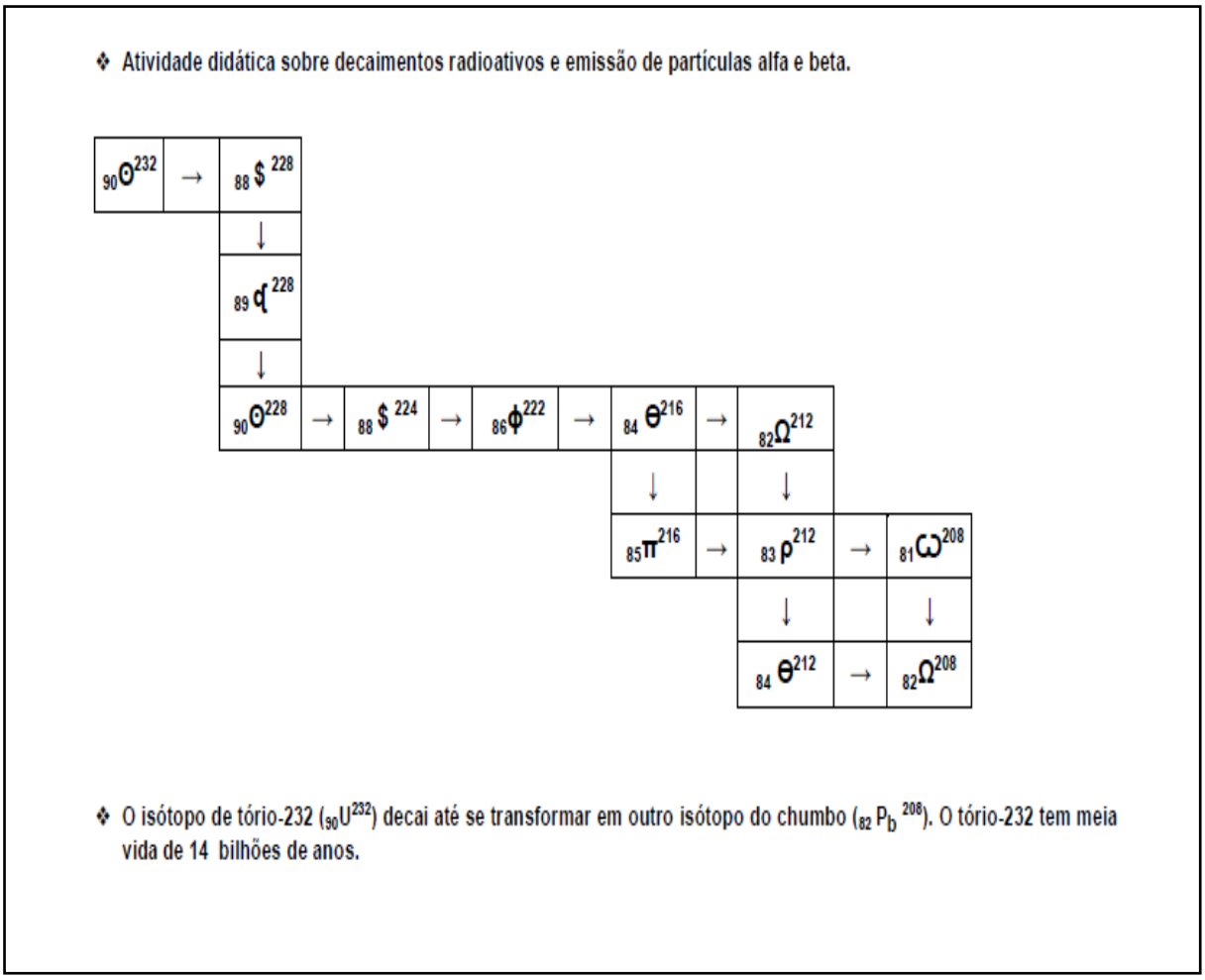
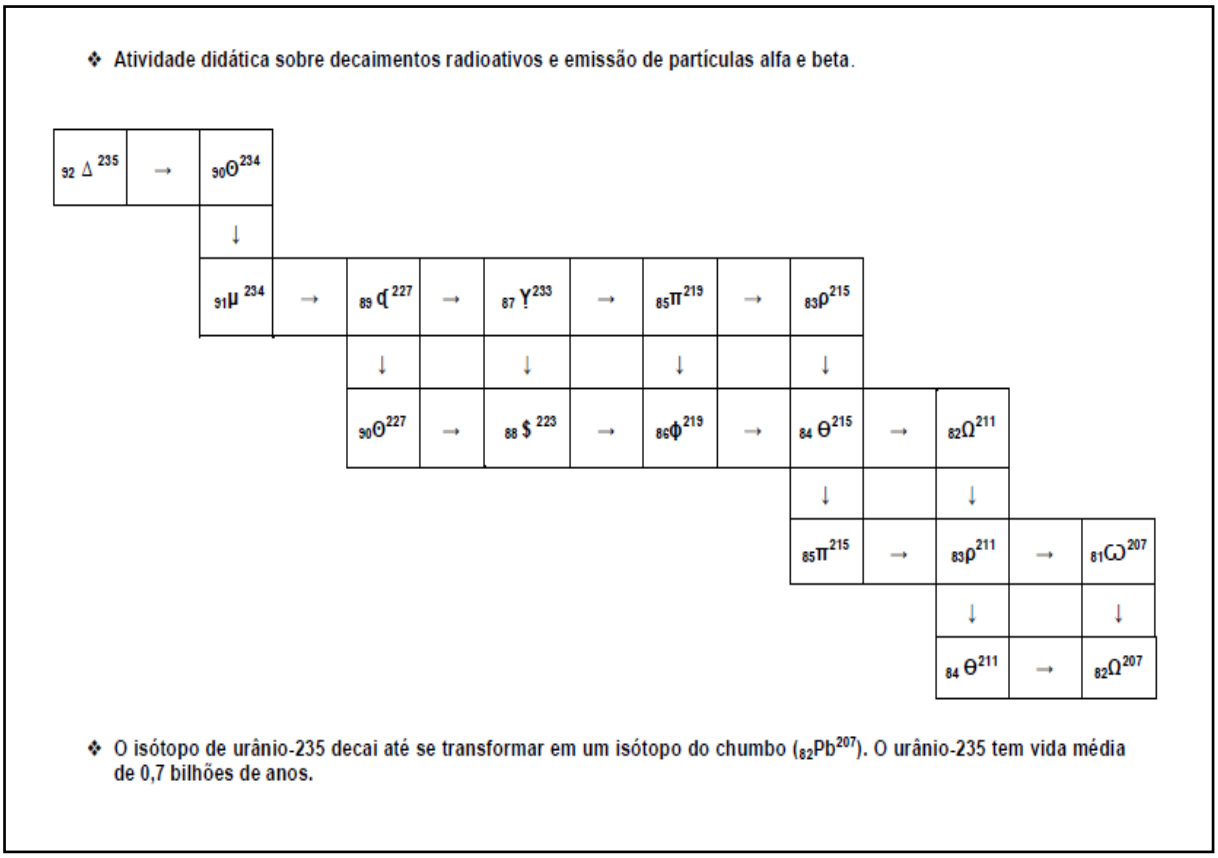


Diagrama (3). Atividade lúdica do dominó.



Lista de exercícios.

1. O que é radioatividade?
R: Radioatividade é o processo de desintegração espontânea do núcleo atômico de elementos instáveis que recebem o nome de radioativo.

2. Determine o número atômico e o número de massa do elemento resultante de duas etapas de desintegração do Urânio – 235 (massa - A) e 92 (número atômico - Z).

- A) em uma partícula alfa.
- B) em uma partícula beta.

R (A) em um decaimento alfa, a emissão de um núcleo de hélio, o número atômico é reduzido em 2 unidades e o número de massa em 4. Sendo assim:
U 235 – 92 passam a ser um elementoX 231 – 90 + partícula alfa (4 – 2) com dois (2) representando –Z e quatro (4), representado - A. Aqui é legal recorrer à tabela periódica dos actínios para ver que elemento químico é esse (tório).

R (B). Para um decaimento beta do tório-231 em que ocorre a emissão de um elétron, por meio de decaimento de um nêutron em próton, o número atômico aumenta em 1 unidade e o número de massa não se altera. Sendo assim Th: 231 (A) – (90 Z) +1 $^{0}\beta$. O elemento radioativo **Y** é o protactínio, Pa.

3. Qual o elemento resultante da emissão sucessiva de uma partícula alfa, duas partículas betas e três raios gama pelo Urânio (235 – A) – (92 – Z)?

R: Emissão de partícula alfa235U 92 transmuta em231X 90 + 4H2.
Duas partículas (beta) 231X 90 transmutam em231Y92 + $2_{-1}{}^{0}\beta$.
Três raios gama:231Y92 + 231Z92 + 3 $_{0}{}^{0}\gamma$.
O elemento resultante 231Z 92 é o 231U92.

4. Qual o comportamento dos raios, alfa, beta e gama, quando submetidos a ação de um campo magnético uniforme? Explique o que ocorre.

R: Os raios alfa e beta são desviados em sentidos opostos e os raios gama não são desviados. Isso ocorre porque as partículas alfa são íons de hélio carregados positivamente. As partículas betas são elétrons, dotados de carga ora negativa ora positiva e os raios gama são ondas eletromagnéticas de frequência muito alta.

Questionário(1). *Pré-teste.*

1. Quais são os temas / assuntos que você relaciona à **radiação**?
_____
_____
_____.

2. Com base na sua resposta à questão anterior, responda:
a) a **radiação** é boa ou ruim? Explicite por gentileza.
_____
_____
_____.

b) Como a **radiação** pode afetar os seres vivos? Explicite por gentileza.
_____
_____
_____.

3. Como você define **radiação**?
_____
_____
_____.

4. Em sua opinião existe alguma relação entre as palavras **radiação** e **radioatividade**? Explicite por gentileza.
_____
_____
_____.

5. Quais os temas ou assuntos que você relaciona à **radioatividade**?
_____
_____
_____.

6. Como você define a **radioatividade**?
_____
_____
_____.

7. Por que alguns elementos químicos são radioativos e outros não?
_____
_____
_____.

Lista (1). Questões relacionadas às notícias de jornais.

(1). O que é o Césio-137?

(2). Por que o Césio é tão perigoso?

(3). O que significa radioativo?

(4). Por que o polônio 210 é radioativo?

(5). O que é uma radiação alfa?

(6). Quais os efeitos da radiação alfa?

(7). Por que se escreve sempre o elemento químico seguido de um número?

(8). O que significa este número?

(9). O que é uma radiação beta?

(10). O que é uma radiação gama?

(11). O que significa meia-vida de um elemento radioativo?

Trechos das Notícias de Jornais

Portal de Notícias do Jornal o Globo - G1

Londres abre inquérito sobre espião russo morto por radiação.

"... A história de espionagem mais espetacular desde a Guerra Fria chegou nesta terça-feira (27) a um tribunal de Londres com a primeira audiência sobre o papel de Moscou na morte por radiação de seu ex-agente Alexander Litvinenko. Litvinenko morreu em 2006 envenenado por polônio, provavelmente colocado em sua xícara de chá, e precisou ser enterrado em um em um caixão de chumbo para evitar vazamentos radioativos. A morte deste ex-agente do serviço de segurança russo FSB, que trabalhava para o MI6 britânico, foi considerado o primeiro ato de terrorismo nuclear da história. A polícia britânica acredita que o isótopo radioativo foi colocado no chá de Litvinenko por Andrei Lugovoi e Dmitry Kovtun, dois conhecidos com quem a vítima se encontrou em um hotel de Londres, em 1º de novembro de 2006. Litvinenko morreu três semanas depois. Sua foto no hospital, muito doente e sem pelos, deu a volta ao mundo..." (texto adaptado pelo autor).

Figura 1. Espião russo morto por contaminação radioativa (SANTOS; PÉREZ-ESTEBAN, 2012)

Notícias do Jornal Espanhol El Mundo

A radiação do ***Polônio-210*** *produz uma* ***morte lenta e dolorosa****. O Polônio 210 está disponível na natureza, porém sua manipulação é muito difícil. Sua utilização é feita por* ***centrais nucleares e centros de investigações especializados****. O envenenamento de Alexander Litvinenko com Polônio-210 tem despertado muitas dúvidas sobre este elemento químico pouco conhecido fora do âmbito da produção de energia nuclear. Foram registrados 18 internamentos no caso do espião russo e 12 locais contaminados por radiação.* (tradução nossa).[17]

Figura 2. Espião russo morto por contaminação radioativa (SANTOS; PÉREZ-ESTEBAN, 2012).

[17] SANTOS, S. E; PÉREZ-ESTEBAN, J. Estudiando el fenómeno de la radiactividad a través de noticias de prensa: el caso del espía ruso envenenado. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.** Cádiz, v.9**,** n.2, p.294-306, out. 2012.

Notícia do Jornal Espanhol Marca.

SUSPEITOS PELA MORTE DO EX-AGENTE RUSSO LITVINENKO ASSITIRAM A PARTIDA DE FUTEBOL ARSENAL-CSKA DE MOSCOU.

Detectaram rastros de Polônio-210 no estádio do Arsenal.

Os investigadores britânicos encontraram rastros de Polônio-210 no estádio londrino do time de futebol do Arsenal. A Agência de Proteção da Saúde (HPA) asseguraram que as quantidades desta substância radioativas são mínimas e quase impossíveis de detectar. A inspeção do estádio do Arsenal foi realizada por conta da investigação da morte do ex- espião russo Alexander Litvinenko em 23 de novembro, tendo como causa, altas doses de Polônio-210. Em 1º de novembro, supostamente, os amigos russos de Litvinenko, suspeitos de tê-lo envenenado, assistiram a partida de futebol Arsenal – CSKA Moscou pela Liga dos Campeões depois de ter se encontrado com o ex-agente Litvinenko. (tradução nossa).[18]

Figura 3. Espião russo morto por contaminação radioativa (SANTOS; PÉREZ-ESTEBAN, 2012).

[18] SANTOS, S. E; PÉREZ-ESTEBAN, J. Estudiando el fenómeno de la radiactividad a través de noticias de prensa: el caso del espía ruso envenenado. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.** Cádiz, v.9**,** n.2, p.294-306, out. 2012.

Portal de Notícias do Jornal o Globo - G1

Radiação do desastre em Fukushima é detectada no litoral do Canadá

Nível é baixo e não representam ameaça significativa, segundo cientistas. Vestígios de Césio-134 e Césio-137 foram detectados em amostras.

A radiação proveniente do acidente nuclear de Fukushima, ocorrido no Japão em 2011, foi detectada pela primeira vez ao longo do litoral da América do Norte, embora em níveis muito baixos para representar uma ameaça significativa à vida humana e marinha, disseram cientistas nesta segunda-feira (6).

Vestígios de Césio-134 e Césio-137 foram detectados em amostras coletadas em 19 de fevereiro no mar próximo a Ucluelet, uma pequena cidade da Ilha de Vancouver, na região canadense de Columbia Britânica, disse o cientista do Instituto Oceanográfico de Woods Hole, Ken Buesseler.

“A radioatividade pode ser perigosa, e devemos ser cuidadosos ao monitorar os oceanos depois do que certamente foi à maior liberação acidental de contaminantes radioativos nos oceanos da história”, disse Buesseler em comunicado.

Os níveis de radioatividade detectados foram extremamente baixos. Por exemplo, nadar diariamente nas águas ao redor da Ilha de Vancouver por um ano representaria a exposição a uma radiação mais de mil vezes menor do que a sofrida durante uma única radiografia dentária, de acordo com o Woods Hole.

Em março de 2011, um terremoto seguido de tsunami atingiu a usina nuclear de Fukushima, 209 quilômetros a nordeste de Tóquio, provocando um triplo derretimento de reatores nucleares e forçando mais de 160 mil moradores a se retirar da região. O acidente contaminou a água, alimentos e o ar. Foi o pior acidente nuclear do mundo desde Chernobyl, em 1986. (texto adaptado)[19]

[19] Disponível em: http://g1.globo.com/natureza/noticia/2015/04/radiacao-do-desastre-em-fukushima-e-detectada-no-litoral-do-canada.html. Acessado em 13 de abril de 2015.

CÉSIO-137, 25 ANOS APÓS O ACIDENTE DE GOIÂNIA-GO[20]

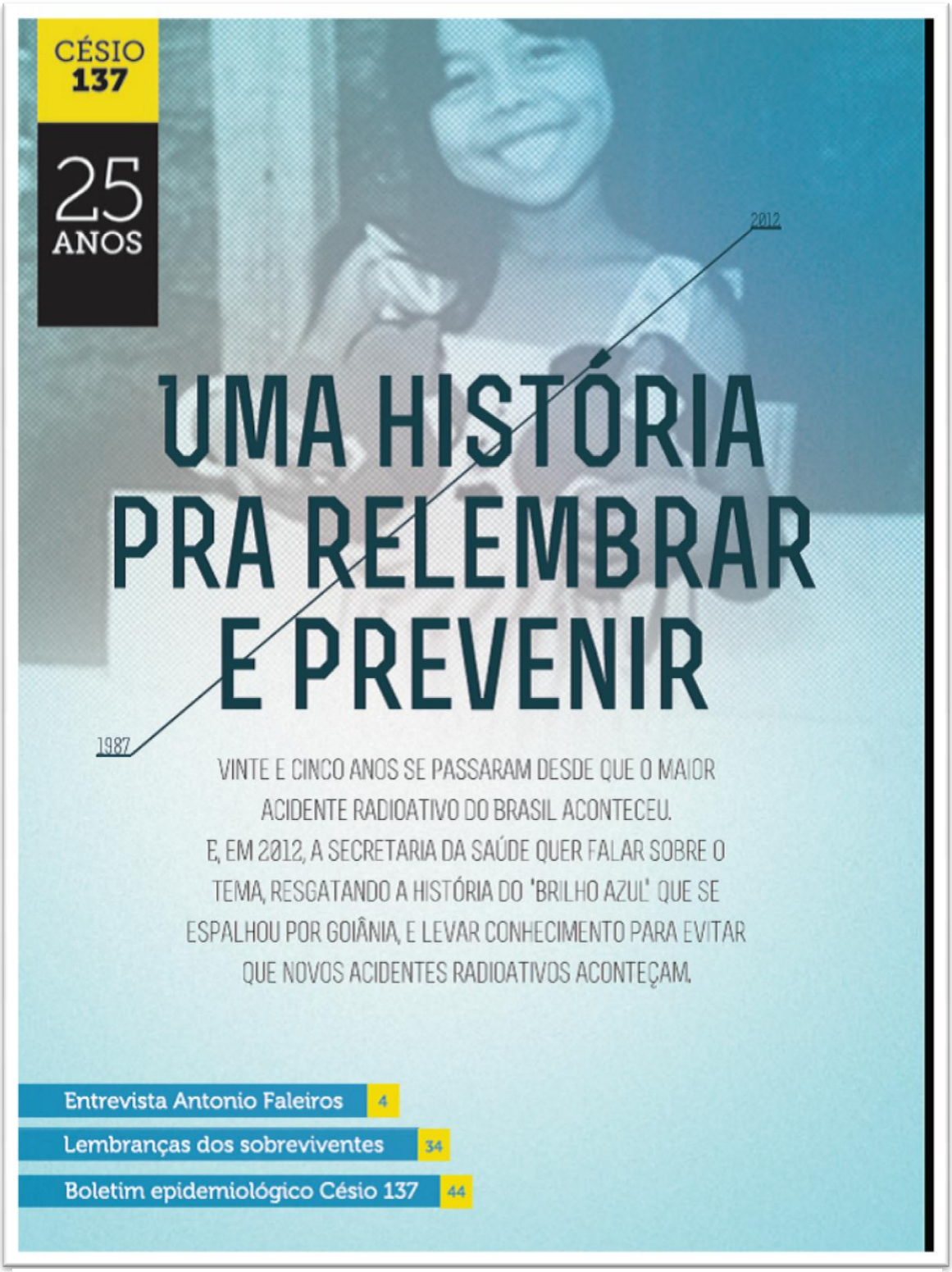


Figura 4. Texto e imagem sobre o acidente de Goiânia em 1987.

[20] Disponível em: http://www.sgc.goias.gov.br/upload/links/arq_463_RevistaCesio25anos.pdf. Acessado em 13 de abril de 2015.

Roteiro 1. Atividade lúdica das bolinhas de isopor (reestruturada).

Objetivo: colar, aproximadamente, 100 unidades de bolinhas de isopor a partir de um esquema apresentado pelo professor (uma única bolinha presa com um barbante e suspensa por um suporte).

Materiais:100 unidades de bolinhas de isopor; cola branca, cola bastão, cola de silicone, fita adesiva.

Grupos: máximo de cinco (5) alunos por grupo.

Regras: para a colagem das bolinhas.

- Primeiro: escolher um dos elementos químicos presentes no texto1 sobre a descoberta da radioatividade, a saber: o Urânio, o Tório, o Polônio ou o Rádio.

- Segundo: escolher o tipo de cola que irão utilizar para colar as bolinhas (a cola bastão, a cola de silicone, a cola branca ou a fita adesiva).

- Terceiro: proceder a colagem das bolinhas sem tocar nas bolinhas já coladas a partir do esquema apresentado pelo professor.

- Quarto: responder as questões presentes a seguir.

1. O que mantem as suas bolinhas presas?
2. Quantas bolinhas vocês conseguiram colar antes da primeira cair?
3. Por que as bolinhas estão caindo?
4. O elemento que vocês escolheram para nomear o conjunto das bolinhas continua o mesmo?

Comentário*:* vocês escolheram um tipo de cola para grudar as bolinhas, mas no átomo, mais precisamente, no núcleo do átomo, não existe cola! Pergunta-se: o que poderia realizar este mesmo papel no núcleo do átomo?

Roteiro(2). Atividade lúdica do quebra-cabeça radioativa (reestruturada).

Primeiro momento:

Passo 1. Orientados pelo professor formem os mesmo grupos de cinco pessoas no máximo.

Passo 2. Recebam o quebra- cabeça radioativa e a folha para escrever o relatório da atividade.

Passo 3. Dividam as tarefas: cada membro executa uma tarefa dentro da atividade, ou seja, um identifica os elementos na tabela periódica, outro escreve o relatório a partir das discussões em grupos, acerca dos conceitos utilizados e, outros montam o quebra-cabeça.

Segundo Momento:

Passo 1. Realizem a atividade buscando colocar em prática os conceitos aprendidos nas aulas anteriores.

Passo 2. Para elaborar o relatório discutam, em grupo, se os conceitos aplicados para a realização da atividade estão em comum acordo pelo.

Passo 3. Se organizem para apresentar o relatório do grupo dividindo as respostas entre os membros.

Terceiro Momento:

Passo 1. Apresente o grupo e seus componentes à turma explicando a função, de cada um, na execução da atividade.

Passo 2. Apresente o relatório em grupo ajudando a completar as respostas dadas pelos colegas, bem como suas conclusões e interpretações da atividade.

Passo 3. Finalizem a interpretação respondendo suas principais conclusões sobre a atividade e quais conceitos foram utilizados para montar o quebra-cabeça.

❖ **Atividade lúdica do quebra-cabeça radioativa.**

Tema: decaimentos radioativos alfa e beta**.**

Atividade em grupo.

Para escrever este relatório, vocês irão precisar seguir as orientações do Roteiro 2 e relembrar os conceitos físicos envolvidos no fenômeno da radioatividade, tais como: os tipos de partículas emitidas durante uma transmutação nuclear por elementos químicos instáveis e realizar as etapas seguintes.

Questões do relatório:

Questão 1. Como o grupo procedeu para identificar os elementos do quebra-cabeça na tabela periódica?

Questão 2. Como o grupo procedeu para identificar a partícula alfa (α) ou a partícula beta (β) emitida pelos elementos no quebra-cabeça? Utilize os conceitos aprendidos para responder esta questão.

Questão 3. Quais os elementos do quebra-cabeça podem ser classificados como isótopos ou isóbaros? Utilize os conceitos aprendidos para responder esta questão.

Questão 4. Escreva uma breve conclusão sobre a atividade, descrevendo se houve dificuldade para a realização da mesma e como os conceitos estudados, até o momento, ajudaram o grupo entender e realizar a atividade.

Primeira etapa:

1. Identificar os elementos químicos de cada uma das peças do quebra-cabeça informando como possível sua identificação na tabela periódica.

2. Coloque o primeiro elemento no quebra-cabeça, depois, para dar continuidade à montagem, identifique a partícula emita (alfa ou beta) por este elemento antes de encaixar a próxima peça. Proceda desta maneira até o final da montagem. Feito isso, explique como foi possível essa identificação.

3. Escrevam no relatório do grupo os elementos químicos isótopos do quebra-cabeça.

Segunda etapa:

4. Apresente aos seus colegas o seu quebra-cabeça montado, explicando a realização de cada etapa.

Questionário (2). *Pós-teste*.

Estudante:_____.

Situações-problemas envolvendo o conteúdo da radioatividade.

Questão 1. "*ALIMENTOS IRRADIADOS são alimentos submetidos à radiação com o objetivo de reduzir a quantidade de microrganismos (como fungos e bactérias), presentes naturalmente, sem a necessidade de aditivos químicos. Esse processo também aumenta o período de validade dos produtos, pois retarda o amadurecimento. A irradiação de alimentos não altera o gosto deles nem suas propriedades. A OMS (Organização Mundial da Saúde) confirma que esses produtos não oferecem riscos à saúde e não contém níveis de radiação acima do normal. Todos os alimentos irradiados devem, obrigatoriamente, apresentar essa informação no rótulo.* Você consumiria um alimento irradiado?" **JUSTIFIQUE**.

_____
_____
_____
_____.

Questão2. "*Considerando que o Brasil desperdiça milhões de toneladas de alimento em um ano, porque eles apodrecem, ou foram contaminados por microrganismos ou agentes químicos.* ***IMAGINE*** *a seguinte situação: "Foi proposto ao governo que utilizasse em grande escala a tecnologia de IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS com o objetivo de diminuir essas perdas e aumentar as possibilidades de exportação, levando a um maior aproveitamento da produção brasileira".* ***Imagine*** *que esse projeto esteja em votação, você é um membro do governo e o SEU voto será definitivo.* Como você votaria?". **JUSTIFIQUE.**

_____
_____
_____
_____.

Questão3. *"A ENERGIA NUCLEAR é considerada uma energia bastante limpa, porque não libera poluentes para a atmosfera e o único resíduo que gera é o lixo atômico, que devidamente acondicionado não representa um risco para os seres humanos e para o ambiente. Você acha que ela deveria ser implementada no lugar da queima de combustíveis fósseis que liberam uma enorme quantidade de dióxido de carbono (que contribui para o aumento do efeito estufa) e outros poluentes?"***JUSTIFIQUE**.

_____
_____
_____
_____.

Questão4. *"Patrick Moore, um dos fundadores do Greenpeace, é hoje um dos principais defensores da ENERGIA NUCLEAR." (Folha de S. Paulo, no Rio - JANAINA LAGE – 27/03/2007). Considere um pequeno trecho dessa entrevista:*

"FOLHA - O que fez mudar de idéia em relação à energia nuclear? PATRICK MOORE - Cometemos um erro nos anos 70. Estávamos focados em armas e em guerras nucleares, preocupados com a possibilidade de a civilização e o ambiente serem destruídos pelo holocausto nuclear. Vejo que cometemos um erro ao incluir a energia nuclear como parte disso. Falhamos em distinguir o uso pacífico da tecnologia do destrutivo. Além disso, a preocupação com as mudanças climáticas criou

uma situação muito diferente no mundo. Agora queremos reduzir o consumo de combustíveis fósseis, não só pelas mudanças climáticas como pela poluição do ar. Outro argumento é que uma parcela significativa dos combustíveis fósseis é proveniente de áreas de instabilidade política e até potencialmente hostis. A única forma de reduzir o consumo de combustíveis fósseis de maneira significativa é fazer isso com um programa agressivo de energias renováveis combinados à energia nuclear".

*"Considerando que o Greenpeace já liderou muitos movimentos contra a energia nuclear e, até hoje possui adeptos a essa idéia, se você pertencesse ao Greenpeace, estaria do mesmo lado que Patrick Moore?"***JUSTIFIQUE**.

_____
_____
_____
_____.

Questão5. *"A luz que recebemos do sol é uma forma de radiação, chamada de RADIAÇÃO SOLAR. Sabe-se que ela pode provocar efeitos nocivos à nossa pele. Tanto isso é verdade que existe o protetor solar, cuja função é nos proteger de tais efeitos. Logo, pode-se dizer que a RADIAÇÃO SOLAR é potencialmente prejudicial aos seres humanos. Você concorda com tais afirmações?"* **JUSTIFIQUE.**

_____
_____
_____
_____.

Questão 6. *"A vitamina D é um composto muito importante aos seres humanos e é produzida pelo nosso corpo na presença de RADIAÇÃO SOLAR. Então, a exposição a esse tipo de RADIAÇÃO é benéfica ao nosso organismo. Você concorda com tais afirmações?"* **JUSTIFIQUE.**

_____
_____
_____
_____.

Questão7. *As areias das praias de Guarapari (litoral do Espírito Santo) são naturalmente mais RADIOATIVAS do que outras do Brasil. Considerando essa informação, as pessoas dessa cidade devem possuir maior probabilidade (chance) de desenvolver algum tipo de câncer. Você concorda com tais afirmações?* **JUSTIFIQUE.**

_____
_____
_____
_____

Questão8. *"Existe um tipo de potássio-40 que é radioativo e é encontrado nas bananas. Então, deve-se evitar o consumo regular de banana por ela ser um alimento com material radioativo. Você concorda com tais afirmações?* **JUSTIFIQUE**"**.**

_____
_____
_____
_____.