

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

MARCOS AZEVEDO PEDROSO

**AS CONTRIBUIÇÕES DA ARTICULAÇÃO ENTRE O ENSINO POR
INVESTIGAÇÃO E O ENFOQUE CTS PARA O DESENVOLVIMENTO DE
CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**

VITÓRIA

2017

MARCOS AZEVEDO PEDROSO

**AS CONTRIBUIÇÕES DA ARTICULAÇÃO ENTRE O ENSINO POR
INVESTIGAÇÃO E O ENFOQUE CTS PARA O DESENVOLVIMENTO DE
CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Espírito Santo, no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Míria do Amaral
Jonis Silva

VITÓRIA

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)
Bibliotecária: Maria Aparecida da Costa Pereira Akabassi- CRB-6/ES-43

P372c Pedroso, Marcos Azevedo, 1980-
As contribuições da articulação entre o ensino por
investigação e o enfoque CTS para o desenvolvimento de
conceitos de física moderna no ensino médio / Marcos Azevedo
Pedroso. – 2017.
137 f.

Orientador: Mirian do Amaral Jonis Silva.
Coorientador: Flávio Gimenes Alvarenga.
Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal do
Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Física - Estudo e ensino - Investigação. 2. Física moderna.
3. Professores de física - Formação. 4. Enfoque CTS. I. Silva,
Mirian do Amaral Jonis. II. Alvarenga, Flávio Gimenes. III.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Exatas. IV. Título.

CDU: 53

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**

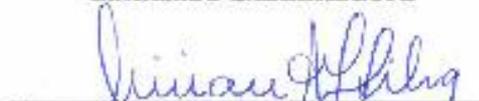
"As contribuições da articulação entre o Ensino por Investigação e o enfoque CTS para o desenvolvimento de conceitos de Física Moderna no Ensino Médio"

Marcos Azevedo Pedroso

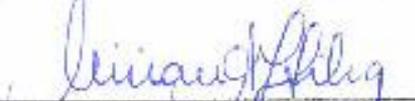
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, ofertado Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 18 de dezembro de 2017.

Comissão Examinadora


Prof^ª. Dr^ª. Mirian do Amaral Jonis Silva
(Orientadora PPGEnFis/UFES)


Prof^ª. Dr^ª. Patrícia Silveira da Silva Trazzi
(Membro Interno PPGMPE/CE)


10/ Prof^ª. Dr^ª. Eliane Ferreira de Sá
(Membro Externo - PROMESTRE/UFMG)

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha Mãe Maria Cristina Pontes Azevedo e a minha avó, que considero minha segunda mãe, Maria Pontes Azevedo, pelo apoio em momentos difíceis em minha jornada, não apenas neste trabalho, mas em diversos momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me proporcionar saúde e sabedoria para concluir essa jornada.

Agradeço também a minha orientadora Prof^a Dr^a Mirian do Amaral Jonis Silva pela paciência e dedicação que mostrou nessa caminhada e por quem aprendi a nutrir uma profunda admiração e respeito. Seu exemplo de calma e sua sabedoria nas horas mais complicadas dessa jornada serviram como exemplo que levarei para minha vida profissional e pessoal.

Meus agradecimentos também aos professores do PPGEnFis que, que dispuseram de seu tempo para compartilhar se sua experiência, em especial o Prof. Dr. Geide Rosa Coelho, que demonstrou grande paciência em momentos de dúvidas que enfrentei da construção desse trabalho. Seu exemplo também levarei para minha vida profissional e pessoal.

A todas a amizades que foram se consolidando ao longo desses anos de estudo e nos eventos que participando. Levarei na memória, com muito nostalgia, as farras acadêmicas nos eventos que participamos.

Agradeço aos meus alunos que participaram, direta ou indiretamente dessa construção, desse trabalho e no entendimento que esse processo não acaba com o esse período de estudo, mas que inicia-se para novos horizontes.

Quero agradecer também ao Fundo de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo - FAPES pelo apoio financeiro indispensável para desenvolver essa trabalho no tempo previsto.

“A alegria não chega apenas no encontro do achado, mas faz parte do processo da busca. E ensinar e aprender não pode dar-se fora da procura, fora da boniteza e da alegria.”

Paulo Freire.

RESUMO

Este trabalho resulta de uma pesquisa qualitativa desenvolvida a partir da implementação de uma sequência de ensino investigativa com enfoque CTS para trabalhar temas da Física moderna com alunos do Ensino Médio. A articulação do enfoque CTS e do ensino por investigação oportunizou uma visão mais crítica acerca da ciência e da tecnologia, assim como suas implicações na sociedade. Além disso, o aporte teórico-metodológico do ensino por investigação demonstrou ser uma ótima alternativa para que o estudante se tornasse mais participativo nas aulas e assim contribuir efetivamente, não apenas como um expectador mas com uma participação efetiva no processo de ensino aprendizagem. A pesquisa de cunho qualitativo foi desenvolvida em duas turmas do Ensino Médio, em uma escola da rede estadual, situada no município da Serra, ES. O estudo teve como objetivo de validar a eficácia da articulação do ensino com enfoque CTS com o ensino por investigação na abordagem de conceitos físicos complexos, tais como a Teoria da Relatividade, representada na equação $E=mc^2$. A sequência didática teve duração de 8 aulas em cada turma com duração de 55 minutos cada aula. Os dados produzidos a partir das gravações em vídeo e áudio das discussões nas aulas e das suas produções textuais foram analisados com base na categorização proposta por Trazzi e Oliveira (2016), a fim de verificar o processo de apropriação dos conceitos relacionados a teoria da relatividade na equação $E=mc^2$, seu significado e sua importância para o desenvolvimento da ciência, da tecnologia e sua implicação na sociedade. Os resultados mostraram indícios de que os alunos se aproximaram do conceito cientificamente aceito e que, portanto, a articulação entre o enfoque CTS e o ensino por investigação, na forma como foi conduzida, é uma alternativa pedagógica potencialmente válida e apropriada para o ensino de conhecimentos físicos relacionados a Física moderna e contemporânea, numa perspectiva sócio-científica.

Palavras-chave: Ensino de Física, Enfoque CTS, Ensino por Investigação, Física moderna e contemporânea.

ABSTRACT

This work was developed from a sequence of investigative teaching with CTS focus to work on modern physics topics with high school students. The articulation of the CTS approach and teaching by research has provided a more critical view of science and technology as well as its implications in society. Besides that, the theoretical-methodological contribution of research teaching has proved to be a great alternative for the student to become more participative in class and thus to contribute effectively, not only as a spectator but with an effective participation in the teaching-learning process. The qualitative research was developed in two high school classes, in a public high school, located in the municipality of Serra, ES. The aim of this study was to devalue the effectiveness of the articulation of teaching with a CTS approach with research teaching in the approach of complex physical concepts, such as the Theory of Relativity, represented in equation $E = mc^2$. The didactic sequence lasted 8 classes in each class lasting 55 minutes each class. The data produced from the video and audio recordings of the class discussions and their textual productions were analyzed based on the categorization proposed by Trassi (2016), in order to verify the process of appropriation of the concepts related to the theory of relativity in the equation $E=mc^2$, its meaning and its importance for the development of science, technology and its implication in society. The results showed that students approached the scientifically accepted concept and that, therefore, the articulation between the CTS approach and research teaching, in the way it was conducted, is a potentially valid and appropriate pedagogical alternative for the teaching of physical knowledge related to modern and contemporary physics, from a socio-scientific perspective.

Keywords: Physics teaching, CTS approach, research teaching, modern and contemporary physics.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 - Albert Einstein (1879 – 1955)..... | 24 |
| Figura 2 – Cilindro emitindo e absorvendo um pulso de radiação eletromagnética..... | 26 |
| Figura 3 – Turmas 2 ^o v2 (esquerda) e 2i2 (direita)..... | 41 |
| Figura 4 – Print do simulador utilizado na aula..... | 72 |
| Figura 5 – Print da produção dos alunos acerca da bomba atômica..... | 78 |
| Figura 6 – Print da explicação dos alunos sobre reação em cadeia..... | 79 |
| Figura 7 – Alunos relacionando a equação $E=mc^2$ com a bomba atômica..... | 80 |
| Figura 8 – Figura demonstrando a utilização do simulador sobre a bomba atômica..... | 81 |
| Figura 9 – Representação do átomo pelos alunos..... | 82 |
| Figura 10 – Representação do decaimento de um átomo..... | 82 |
| Figura 12 – Emissão dos pulsos luminosos de um corpo livre..... | 91 |
| Figura 13 – Henri Poincaré (1854 – 1912)..... | 103 |
| Figura 14 – Vídeo “Se uma bomba nuclear caísse me São Paulo”..... | 117 |
| Figura 15 – Sistematização dos conhecimentos | 119 |
| Figura 16 – Funcionamento de uma usina nuclear..... | 120 |
| Figura 17 – Cilindro emitindo e absorvendo um pulso de radiação eletromagnética..... | 134 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Classificação das atividades práticas segundo seu grau de abertura do problema..... | 32 |
| Quadro 2 - Distribuição das atividades da sequência..... | 47 |
| Quadro 3 – Aspectos da abordagem CTS..... | 49 |
| Quadro 4 – Descrição das dimensões abordadas na sequência didática..... | 50 |
| Quadro 5 – Problema de relevância social | 52 |
| Quadro 6 – Sistematização dos conhecimentos | 55 |
| Quadro 7 – Categoria das análises das respostas dos alunos..... | 56 |
| Quadro 8 – Transcrição das falas dos Alunos: confusão entre os conceitos de força e energia..... | 57 |
| Quadro 9 – Resumo das ideias e dificuldade sobre energia..... | 58 |
| Quadro 10 – Transcrição das falas dos Alunos: Sistematização dos conhecimentos sobre a confusão entre força e energia..... | 59 |
| Quadro 11 – Transcrição das falas dos Alunos: Levantamento de hipóteses..... | 60 |
| Quadro 12 – Transcrição da fala do Aluno: Explicação do conceito de energia nuclear..... | 61 |
| Quadro 13 – Transcrição das falas dos Alunos: Levantamento de hipóteses..... | 62 |
| Quadro 14 – Orientação para a atividade de levantamento de hipóteses sobre o funcionamento da bomba atômica e da energia nuclear..... | 63 |
| Quadro 15 – Transcrição da fala dos Alunos: Sistematização dos conhecimentos | 64 |
| Quadro 16 – Transcrição da fala dos alunos: Sistematização dos conhecimentos | 66 |
| Quadro 17 – Transcrição da fala dos Alunos: Levantamento das hipóteses..... | 73 |
| Quadro 18 – Transcrição da produção escrita da Aluna Sistematização dos conhecimentos..... | 75 |
| Quadro 19 – Transcrição da produção escrita dos Alunos: Sistematização dos conhecimentos..... | 76 |

| | |
|--|----|
| Quadro 20 – Transcrição da transcrição escrita dos Alunos: Sistematização dos conhecimentos..... | 77 |
| Quadro 21 – Transcrição da fala sobre o funcionamento da bomba atômica..... | 78 |
| Quadro 22 – Transcrição da explicação sobre fissão nuclear..... | 79 |
| Quadro 23 – Transcrição da fala da aluna sobre a equação $E=mc^2$ | 80 |
| Quadro 24 – Sistematização de conhecimento..... | 81 |
| Quadro 25 – Transcrição da produção escrita da Aluna: Sistematização do conhecimento..... | 83 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO..... | 16 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO | 18 |
| 2.1 REVISÃO DE LITERATURA..... | 18 |
| 2.1.1 ENQUADRAMENTO TEÓRICO DA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA: ABORDANDO A RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO..... | 20 |
| 2.1.2 OS POSTULADOS DE EINSTEIN..... | 24 |
| 2.1.3 ENERGIA DE REPOUSO..... | 26 |
| 2.2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 29 |
| 2.2.1 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO..... | 30 |
| 2.2.2 O ENFOQUE CTS E A ABORDAGEM DE TEMAS SÓCIO- CIENTÍFICOS NA ESCOLA..... | 35 |
| 3. METODOLOGIA | 40 |
| 3.1 O CAMPO DE PESQUISA..... | 40 |
| 3.2 OS SUJEITOS DA PESQUISA..... | 40 |
| 3.3 ORGANIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA..... | 41 |
| 3.4 INSTRUMENTOS DE PRODUÇÃO DOS DADOS..... | 46 |
| 4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS | 48 |
| 4.1 METODOLOGIA PARA A ANÁLISE DOS DADOS..... | 48 |
| 4.2 ANÁLISE DOS DADOS..... | 51 |
| 4.2.1 Questão social introdutória..... | 52 |
| 4.2.2 Uma tecnologia relacionada ao tema é analisada..... | 63 |
| 4.2.3 A tecnologia é estudada em função dos conteúdos..... | 66 |
| 4.2.4 Um conteúdo científico é trabalhado..... | 71 |
| 4.2.5 Retomada da questão social..... | 78 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 84 |
| REFERÊNCIAS | 87 |
| APÊNDICE A – A equação $E=mc^2$ | 91 |
| APÊNDICE B – Einstein versus Poincaré | 103 |

| | |
|---|------------|
| APÊNDICE C – Termo de consentimento livre e esclarecido..... | 107 |
| APÊNDICE D – Consentimento da participação da pessoa como sujeito da pesquisa..... | 108 |
| APÊNDICE E – Produto do Mestrado..... | 109 |

1. INTRODUÇÃO

Ao longo de minha vida acadêmica, sempre busquei¹ os conhecimentos necessários para que eu pudesse desenvolver minhas atividades como professor de forma a atender às necessidades dos estudantes para os quais lecionaria. Acreditava que a formação dos estudantes estava voltada para a preparação para as provas externas como o vestibular e o ENEM. Esse pensamento estava relacionado à forma com que minha formação se desenvolveu, não apenas no ensino superior, mas também no Ensino Médio. Ao entrar no mercado de trabalho, reproduzi essa atitude de preparar meus alunos para exames externos sem levar em consideração a história de vida desses estudantes. Além disso, o processo de ensino e aprendizagem desenvolvido em meus primeiros anos como docente visavam a uma Física voltada ao formalismo matemático em detrimento dos conceitos físicos qualitativos. Como consequência dessa metodologia houve um grande número de alunos reprovados em minha disciplina.

Ao me deparar com esses resultados, vinculados à forma como desenvolvia o ensino de Física, refleti e busquei novas metodologias, que pudessem melhorar a forma como meus alunos interpretavam os fenômenos físicos. Foi nesse contexto que percebi que deveria buscar novas metodologias para melhorar minhas aulas e a forma que busquei foi prestar o processo seletivo do mestrado profissional em ensino de Física na UFES. Foi no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnFis) que tive a oportunidade de conhecer o ensino por investigação, que me pareceu um aporte teórico-metodológico muito interessante para o ensino de ciências. Como esse aporte teórico metodológico é muito diferente daquele que eu sempre desenvolvi, senti muita dificuldade em elaborar e aplicar uma atividade investigativa nos moldes do ensino por investigação, pois segundo Azevedo (2004), em uma atividade investigativa, um problema deve ser proposto pelo professor, não um problema com as características de um exercício de Física, ou seja, o estudante deverá fazer mais do que se lembrar de uma fórmula que utilizou anteriormente (SÁ, 2009), mas elaborar e testar hipóteses que possam ajudá-lo a resolver o problema

¹ No decorrer desse projeto, utilizo tanto a primeira pessoa do singular, quanto a primeira pessoa do plural. A primeira pessoa do singular é utilizada para reforçar a minha trajetória pessoal, pessoal e acadêmica associada a minhas afirmações de valor e de conhecimento. A primeira pessoa do plural será usada para dar enfoque colaborativo da construção desse trabalho.

proposto e refletir a respeito da solução encontrada. Durante o desenvolvimento da atividade, pode haver a necessidade de uma mudança no planejamento ou mesmo a reformulação do problema. Essas características, aliada ao fato do aluno ter uma participação mais ativa no processo de ensino-aprendizagem fez com que algumas dificuldades fossem surgindo, não apenas para o professor, mas para o aluno, como por exemplo, o fato do aluno não ser habituado a participar do processo de ensino aprendizagem e do professor ter uma postura de detentor do conhecimento. Romper com essa barreira foi o primeiro grande desafio a ser enfrentado pelo professor. Contudo, depois de passar por esses desafios, o ensino por investigação demonstrou-se ser um aliado importante no ensino de ciências, em especial do Ensino de Física, por promover um diálogo entre o professor e o aluno, por fornecer uma participação mais ativa do estudante no processo, além de proporcionar ao professor uma reflexão sobre o processo de ensino aprendizagem.

Outra estratégia abordada neste trabalho é o enfoque CTS (Ciência Tecnologia e Sociedade), que modificou positivamente a forma como abordo conteúdos do Ensino de Física. Nessa perspectiva, pude trabalhar não apenas os conteúdos científicos, mas a formação crítica dos alunos no que diz respeito ao desenvolvimento da ciência e da tecnologia. Percebi como os alunos passam a participar mais ativamente das discussões, quando percebem as implicações do desenvolvimento da ciência na tecnologia e conseqüentemente na sociedade. Com isso, pude perceber uma mudança significativa na participação dos alunos, que antes tinham uma postura passiva acerca das mudanças trazidas pelos avanços tecnológicos e que, nessas aulas, passaram a refletir e opinar com maior criticidade acerca do desenvolvimento científico e suas conseqüências tecnológicas e sociais. Assim, as minhas aulas e a minha postura como professor foram modificadas. Antes preocupado apenas em desenvolver cálculos, voltados a preparar os estudantes para as avaliações externas e agora com um olhar também voltado à formação cidadã dos estudantes, entendendo que o ensino é um processo contínuo que pode ir além das paredes da escola e que um conceito pode perfeitamente ganhar novas articulações ao longo da vida de cada aluno.

Além disso, o estudo de temas da Física do século XX em diante sempre foi de meu interesse e, desenvolvê-los no Ensino Médio se tornou um desafio para mim. Desde o início de minha formação acadêmica tenho interesse em desenvolver

metodologias para trabalhar não somente com a Física do século XVI ao século XIX, mas a do século XX em diante, abrangendo temas como o efeito fotoelétrico, o efeito Compton e, particularmente, a Teoria da Relatividade, que inclui a questão do espaço-tempo, a Relatividade Geral ou a Energia na Relatividade.

A partir do terceiro período da licenciatura tive a oportunidade de lecionar a disciplina Física em uma escola de Ensino Médio no interior de Minas Gerais. Pude perceber as dificuldades enfrentadas pelos alunos ao se depararem com conceitos que, para eles, eram muito complexos, sem falar nas dificuldades matemáticas evidentes. Esses estudantes não conseguiam ver distinção entre a Física e a Matemática e, devido à minha formação, reforcei essa confusão usando o argumento de que os vestibulares tinham esse mesmo tratamento matemático em relação aos conceitos físicos e por isso era preciso prepará-los para essas avaliações, sem levar em consideração as experiências que eles traziam e seus objetivos de vida. Por essa razão, não conseguia desenvolver assuntos, não somente da Física clássica mas também da Física moderna e contemporânea.

Ao lecionar para alunos da EJA comecei a questionar meus métodos de ensino e, conversando com colegas de trabalho, percebi que precisaria rever as metodologias que empregava.

A partir dessa reflexão, desenvolvi algumas aulas para trabalhar com a Teoria da Relatividade, porém, de forma intuitiva e, é claro, percebi que minha tentativa foi infrutífera. Apesar de tentar formular uma metodologia de ensino inovadora, acabei desenvolvendo uma aula tradicional com um conteúdo matemático muito elevado para os padrões dos meus alunos. Nos anos seguintes, fiz outras tentativas que resultaram em mais fracassos. Percebi, finalmente, que precisava me especializar a fim de buscar novas formas para abordar assuntos complexos e abstratos. Foi então que tomei conhecimento do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física. Prestei o processo seletivo no ano de 2013, todavia, não tive êxito. Foi somente em 2015 que pude ingressar no PPGEnFis (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física) e assim tive a oportunidade de, não apenas melhorar minha condição profissional, mas buscar novos conhecimentos que pudessem auxiliar em minha atividade em sala de aula.

Foi então que conheci o ensino por investigação como um aporte teórico metodológico que poderia auxiliar minhas atividades em sala de aula. Logo depois, com o desenvolvimento de meu trabalho tive a oportunidade de trabalhar com o enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) nas minhas aulas e, a partir dessas experiências pude desenvolver um trabalho que viesse mostrar a articulação entre o enfoque CTS na educação e o ensino por investigação.

Sendo assim, este trabalho vem apresentar o fruto dessa minha busca de aprimoramento no decorrer de um processo de construção de novas práticas pedagógicas, tendo como referencial o Ensino por Investigação e o enfoque CTS.

A partir dessas dos pressupostos elencados no enfoque CTS e no ensino por investigação, desenvolvi uma sequência didática para trabalhar com temas relacionados à Teoria da Relatividade, a saber, a Energia de Repouso expressa na equação $E=mc^2$. Minha análise foi desenvolvida a partir da observação do processo de formação do conceito ao longo da sequência e dos modos como os estudantes foram se apropriando desses conceitos e assim, se aproximando dos modelos cientificamente aceitos.

Por meio dessa análise buscamos alcançar o objetivo dessa pesquisa que é investigar as contribuições da articulação entre o enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e o Ensino por investigação para a abordagem de temas relacionados à Física moderna e contemporânea no Ensino Médio, que digam respeito especialmente à equação $E=mc^2$, tendo em vista uma perspectiva mais problematizadora e investigativa de ensino e aprendizagem. Consideramos relevante propor esta abordagem, já que são recorrentes na literatura os estudos que tratam das abordagens investigativas e do enfoque CTS no ensino, como por exemplo, Munford e Lima (2007), Carvalho (2013), Sá, Lima e Aguiar Junior (2011), Maués e Lima (2006), Pinheiro, Silveira e Bazzo (2007), Santos e Mortimer (2002), Auler e Bazzo (2001). Porém, são bem menos frequentes os trabalhos que tratam da articulação entre essas duas propostas, visando tanto o desenvolvimento de conceitos científicos como a ampliação da percepção crítica acerca das aplicações tecnológicas e das implicações sociais do conhecimento científico. Podemos citar o trabalho de Sales (2012) que faz a articulação de uma atividade investigativa com enfoque CTS para o ensino de hidrostática.

Para desenvolver essa atividade elaborei uma sequência CTS com características investigativas e apliquei em duas turmas de segundo ano do Ensino Médio de uma escola estadual do município da Serra no Espírito Santo. Essa atividade teve duração total de 8 aulas de 55 minutos cada, sendo desenvolvida em 5 atividades e foi desenvolvida no final do mês de novembro do ano de 2016. Essas atividades foram desenvolvidas com base na estrutura de uma sequência CTS e com característica do ensino por investigação com o intuito de buscar atender ao objetivo dessa pesquisa que é o de observar as contribuições do enfoque CTS e do ensino por investigação no desenvolvimento de temas do ensino de Física, especialmente a Física Moderna e contemporânea.

1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho é um relato de uma pesquisa desenvolvida como parte obrigatória do programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFES e está distribuído em cinco distribuídos de forma que possa facilitar a leitura e compreensão de todas as partes desse material.

No capítulo 1 temos a introdução em que descrevo minha trajetória profissional, sua relação com o desenvolvimento desse trabalho assim como meu ingresso no programa de mestrado profissional que culminou na escrita dessa dissertação. Além disso, temos a presente seção em que descrevo as partes desta dissertação com sua estrutura e as experiências que pude agregar a minha trajetória profissional e de vida.

No capítulo 2 trazemos as perspectivas teóricas que norteiam o desenvolvimento da sequência didática assim como os temas da Física desenvolvidos na sequência. Além disso, esses referenciais também vão nortear a produção e a análise de dados e o produto educacional.

No capítulo 3 apresentamos a metodologia utilizada no desenvolvimento da sequência didática assim como a descrição do campo de pesquisa, ou seja, a escola em que fizemos a intervenção e que gerou a escrita dessa dissertação, a

organização da sequência didática em que é detalhado como a intervenção foi estruturada assim como os instrumentos de produção de dados utilizados na intervenção.

No capítulo 4 trazemos os momentos da sequência didática em que foram utilizados para produzir os dados e que foram analisados à luz do referencial teórico discutido no capítulo 2. Os argumentos dos alunos foram organizados em quadros em dispostos em turnos de falas para a melhor visualização do leitor.

No capítulo 5 desenvolvemos as considerações finais em que trazemos uma visão geral do trabalho como um todo, as observações acerca de sua influência na trajetória profissional do professor, além das conclusões observadas, tendo como referencial os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

No capítulo seguinte, apresentamos os apêndices em que trazemos o produto educacional desenvolvido no mestrado profissional, assim como uma seção que mostra o desenvolvimento da equação $E=mc^2$ com uma formulação matemática mais elaborado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta parte do trabalho apresentamos uma revisão de literatura que fundamenta as abordagens do ensino por investigação e do enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) voltadas para o ensino de Física.

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

O ensino de Física tem sido pautado, principalmente na Física desenvolvida entre os períodos de 1600 até 1850, assim como aponta Terrazzan (1992). Sendo assim, devido aos avanços tecnológicos e a sua aplicabilidade cada vez mais evidente no cotidiano de nossos alunos, e com o intuito não apenas de trazer esse conhecimento ao estudante mas de proporcionar a capacidade de questionar e tomar decisões a respeito do desenvolvimento científicos e tecnológicos, se torna importante o estudo da Física desenvolvida no século XX e XXI nas escolas do Ensino Médio. (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001; WOLFF; MORS, 2006; RODRIGUES, 2001; WOLFF, 2005).

Dentro dos assuntos abordados na Física moderna temos a teoria da relatividade que, segundo Wolff e Mors (2006), pode ser abordado no Ensino Médio. Os autores também destacam que a população tem interesse na teoria da relatividade e que a equação $E=mc^2$, uma das consequências dessa teoria, é mencionada sem que se tenha muitos detalhes acerca de seu real significado. Concordando com isso, Barcellos E Zanitec (2007) afirmam que essa expressão é uma das mais populares da Física e que pode ser encontrada facilmente em livros didáticos e que seu significado precisa ser melhor explorado tendo em vista sua aplicação no contexto histórico em relação a Física nuclear como por exemplo o desenvolvimento da bomba atômica.

Eijkelhof e outros (apud OSTERMAN; MOREIRA, 2000), afirmam que o tema relacionado a armas nucleares deveria ser debatido em sala de aula com o intuito de que os alunos possam ter a capacidade de formar opiniões e debaterem de forma consciente sobre essa questão.

Percebemos que nas aulas de Física ministradas para alunos do Ensino Médio há um interesse por determinados assuntos da ciência, dentre os quais a bomba atômica. Esse interesse poderia ser um ponto de partida para a abordagem de temas gerais da Física moderna ou, como nesse caso específico, a equação $E=mc^2$. Considerando a relevância social deste assunto, utilizamos enfoque CTS e o ensino por investigação para abordar a equação $E=mc^2$ tomando a bomba atômica como tema motivador.

Santos e Mortimer (2002) e Aikenhead (1994a) trazem que o enfoque CTS, no Ensino Médio, tem como objetivo alfabetizar cientificamente o aluno, no sentido de auxiliá-lo na construção do conhecimento, para que possa entender e saber tomar decisões sobre questões da ciência e tecnologia, de forma consciente, dos impactos sociais que essas decisões podem acarretar para os interesses coletivos.

Pinheiro, Silveira e Bazzo (2007) afirmam que discutir os avanços da ciência e da tecnologia assim como suas consequências econômicas, políticas e sociais está ligada a evolução do ser humano já que é fruto da criação humana. Sendo assim, o enfoque CTS pode despertar no aluno uma postura questionadora e crítica a respeito do desenvolvimento da ciência e da tecnologia, assim, o enfoque CTS pode ir além das discussões em sala de aula.

Para Carvalho (2004), uma atividade investigativa é uma importante estratégia de ensino de Física e de ciências, pois pode propiciar a construção do conhecimento pelo próprio aluno, por meio da resolução de um problema na qual o estudante pode levantar hipóteses para testá-lo em sua resolução.

Ainda para Carvalho (2004), para que uma atividade seja caracterizada como investigativa o aluno deve refletir sobre, discutir, explicar e relatar aos demais colegas acerca de uma situação e não uma manipulação de dados matemáticos.

A orientação de uma atividade investigativa deve envolver os estudantes para que essa atividade faça sentido para ele. Uma discussão do problema faz com que os alunos possam formar uma compreensão preliminar da situação problemática e assim fazer sentido a resolução do problema (SÁ, 2009).

Borges (2002) traz que uma atividade investigativa não deve ser apenas o de aplicar uma fórmula que foi estudada em aulas anteriores, porém, uma situação em que ele é desafiado a na busca de uma solução mais ampla.

Para Carvalho (2013), o problema inicial é crucial para o desenvolvimento do aluno, pois, segundo a autora, no ensino expositivo toda a construção de um conceito está nas mãos do professor e o aluno apenas segue essa linha sem nenhum esforço. Já na perspectiva investigativa, o professor é um orientador da busca do aluno pelo seu conhecimento.

Além disso, podemos destacar outros trabalhos relacionados a importância do ensino de Física moderna e contemporânea na educação básica.

Wolff (2006) ressalta que o ensino da teoria da relatividade no ensino básico se justifica por ser muito difundida na sociedade e que pode ser considerada um marco histórico no desenvolvimento da ciência tendo em vista que seus conceitos são muito diferentes daqueles apresentados pela Física clássica.

Lemos (2001) acrescenta que a equação $E=mc^2$ é a mais famosa da Física e que pessoas leigas já ouviram falar e que ela se faz parte da cultura de massa sendo assim obrigatória quando se ministra aulas sobre a introdução a teoria da relatividade.

2.1.1 ENQUADRAMENTO TEÓRICO DA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA: ABORDANDO A RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

Na III Conferência Interamericana sobre Educação em Física foi organizado um grupo para discutir o ensino de Física Moderna (BAROJAS, apud OSTERMANN; MOREIRA, 2000, p. 24) em que foram levantadas várias razões para que o estudo da Física moderna e contemporânea fosse introduzido no Ensino Médio. Dentre essas destacam-se:

- 1- O aluno não tem contato com o mundo da pesquisa atual da Física, pois só veem o que foi desenvolvido antes de 1900, o que é inaceitável em um período em que as ideias mudaram a ciência;
- 2- Despertar a curiosidade dos alunos e ajudá-los a compreender que a Física é um empreendimento humano e, portanto, próximo deles;
- 3- É mais divertido para o professor ensinar sobre temas mais recentes. O material didático influencia no entusiasmo que se tem ao ensinar. É importante não desprezar o efeito do entusiasmo para o ensino.
- 4- O estudo da Física Moderna é considerada difícil e abstrata, porém, resultados de pesquisa em ensino de Física tem mostrado que a Física clássica pode ser, em alguns casos complexa e abstrata, fazendo com que os estudantes tenham dificuldades para compreendê-la.

Ainda nessa linha de raciocínio, Torres (apud, OSTERMANN E MOREIRA, 2000, p. 25) vem citando outras razões que justifiquem a necessidade do ensino de Física Moderna no Ensino Médio, a saber:

- 1- Conectar o aluno com sua história;
- 2- Protegê-lo do obscurantismo e do charlatanismo das ditas ciências do mundo moderno;
- 3- Que ele possa localizar o ser humano na escala natural e da natureza;
- 4- As consequências tecnológicas do estudo da Física Moderna;

Para o desenvolvimento desse trabalho foi escolhido o estudo da Teoria da Relatividade (TR) com ênfase na energia de repouso expressa pela equação $E=mc^2$. A ênfase está posta na observação de como os alunos estão entendendo e se apropriando desse saber científico e como estão estabelecendo relações desse conhecimento com as aplicações tecnológicas e mudanças sociais correlatas.

O modelo teórico que explica a equação $E=mc^2$ é demasiadamente complexo para o entendimento de estudantes do Ensino Médio. Krapas e outros (1997) em seu artigo *Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências*

trazem a distinção de vários modelos propostos por Gilbert e Boulter (apud KRAPAS et al., 1998. p. 190),

[...]o modelo mental (uma representação pessoal, privada de um alvo), o modelo expresso (aquela versão de um modelo mental que é expressa por um indivíduo através da ação, fala ou escrita), modelo consensual (um modelo expresso que foi submetido a testes por grupo social, por exemplo, a comunidade científica, e que é visto, pelo menos por alguns, como tendo mérito) e modelo pedagógico (um modelo especificamente construído para auxiliar na compreensão de um modelo consensual).

Levando em consideração a descrição acima, para esse trabalho, foi utilizado como referência o modelo pedagógico, construído para tornar mais compreensível aos estudantes os modelos científicos. Esses modelos pedagógicos, produzidos a partir do modelo consensual científico, resultam de um processo de transposição didática assim definido por Chevallard e Johsua (1991, p. 39),

Um conteúdo de saber que tenha sido definido como saber a ensinar, sofre, a partir de então, 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.

Baseando-se no conceito de transposição didática, Almouloud (2011) define o processo de ressignificação e recontextualização do conhecimento científico a ser ensinado como

[...] o conjunto de transformações que sofre um saber dito sábio, para ser ensinado. Ou seja, refere-se às transformações que sofrem as teorias matemáticas [ou científicas] quando se tornam saberes escolares, em primeiro lugar nas propostas curriculares, depois nos livros didáticos e em sala de aula. O saber sábio é constituído e faz parte do patrimônio cultural do pesquisador. A sociedade solicita o ensino de uma parte desse saber por razões puramente sociais: formação profissional, por necessidades econômicas. É necessário então transformar esses saberes para que possam ser ensinados e, conseqüentemente, entendidos em dado nível (ALMOULOU, 2011, p. 194).

Almouloud (2011) ressalta ainda que não compete ao professor, por iniciativa própria transformar o saber sábio, científico, em saber escolar, mas trata-se de um processo

definido institucionalmente, regulado pelos atores que interagem no contexto escolar. Para o autor,

As transformações do objeto de saber em objeto de ensino devem ser necessariamente acompanhadas de uma análise epistemológica, das hipóteses de aprendizagem e do contexto social. O professor não transforma por iniciativa própria o saber sábio em objeto de ensino. A escolha dos objetos a ensinar é definida institucionalmente por meio de propostas curriculares, e é controlada de alguma forma pela sociedade (autoridades locais, pais de alunos, autoridades administrativas da educação) (ALMOULOU, 2011, p. 196).

Embora regulado coletivamente, cabe ao professor uma parcela significativa na adequação do saber a ser ensinado, tanto para contextualizá-lo à realidade dos alunos, como para assegurar que não se incorra em “deformações do objeto do saber” que transformem o objeto de ensino em um conteúdo pseudocientífico, conforme assinala Almouloud (2011, p. 197)

Geralmente, o professor só intervém no nível do saber ensinado. O saber a ensinar não se limita às propostas curriculares, seu ensino necessita de sua interpretação. O saber a ensinar é o que o professor acha que deve ensinar a partir da leitura de livros didáticos, do livro do professor, ou a partir de práticas tidas anteriormente. O texto do saber a ensinar não está completamente escrito em lugar algum. É indispensável examinar se a distância, a deformação entre o objeto de saber e o objeto de ensino não é, na pior das hipóteses, uma linguagem pseudocientífica.

É necessário que haja uma reformulação na metodologia empregada no ensino para que esse estudante possa, ao perceber um fenômeno, ser capaz de analisá-lo, buscar explicações, levantar hipóteses de modo a construir seu conhecimento, de modo a aproximar-se da cultura científica e do saber sábio (CARVALHO; SASSERON, 2011; MUNFORD; LIMA, 2007; GOUW, FRANZOLIN; FEJES, 2013; BELLUCCO; CARVALHO, 2014; CHEVALLARD, 1991).

Assim, para buscar indícios de aprendizagem do conceito de energia de repouso expresso pela equação $E=mc^2$, utilizamos como referência o conteúdo de um conceituado livro didático², adotado pela escola em anos anteriores. A seleção deste material justifica-se pelo fato do livro constituir-se uma das raras obras que apresentam esse conteúdo numa linguagem acessível aos estudantes da Educação Básica. Além de destacar a quase ausência desses conteúdos nos livros didáticos,

² SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. Universo da física. São Paulo: Atual, 2005. p. 463-469.

Ostermann e Moreira (2000) ressaltam a incoerência e a superficialidade dos conceitos relacionados à Relatividade nos materiais destinados ao ensino de Física no Ensino Médio.

Assim sendo, vamos tratar aqui, do processo de formação de conceitos sobre TR com ênfase na energia de repouso ($E=mc^2$).

2.1.2 Os postulados de Einstein

Nessa parte do trabalho, vamos tratar do enquadramento teórico da intervenção pedagógica proposta. Ainda que tais conceitos não sejam abordados no Ensino Médio com o nível de aprofundamento aqui apresentado, convém situar esses conceitos em seu contexto, a começar pela famosa equação $E=mc^2$ com a sua formulação matemática, seguida por uma breve discussão sobre a energia de repouso, assim como a controvérsia de sua autoria atribuída ao famoso cientista alemão Albert Einstein (fig.1).

Figura 1 - Albert Einstein (1879 – 1955)



Fonte: Moreira (2005, p. 5).

O objetivo aqui não é apresentar todos os argumentos físicos e matemáticos que permeiam a Teoria da Relatividade (TR), até porque, sabemos que a TR é dividida em duas partes, a saber, a Teoria da Relatividade Restrita (ou especial), publicada em 1905, e a Teoria da Relatividade Geral, publicada em 1916. A primeira trata da

relação entre tempo e espaço, quando medidos por referenciais diferentes, já a segunda, trata da discussão da teoria de gravitação. Vamos tratar aqui da equação $E=mc^2$ que será desenvolvida utilizando os argumentos construídos no artigo de Einstein, publicado em 1905.

Para iniciar essa discussão, vamos enunciar dois postulados que Einstein propôs em seu artigo publicado em 1905. O primeiro deles é o Postulado da Relatividade: “as leis Físicas são as mesmas em todos os referenciais inerciais. Não existe um referencial absoluto”. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2010, p. 147).

Com esse postulado, Einstein ampliou a ideia de Galileu. Esse dizia que as leis da mecânica eram as mesmas em qualquer referencial inercial. O postulado de Einstein generalizou o de Galileu afirmando que todas as leis da Física são invariantes e não apenas as da Mecânica. Isso não implica que os valores medidos das grandezas Físicas são os mesmos para todos os observadores inerciais, o que Einstein disse é que, essas leis Físicas, que demonstram as relações entre os valores experimentais de duas ou mais grandezas são as mesmas.

O segundo postulado de Einstein é o chamado Postulado da Velocidade da Luz: “a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c em todas as direções e em todos os referenciais inerciais” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2010, p. 148).

Com esse postulado, Einstein afirmou que existe uma velocidade limite no Universo, contrariando o que acreditava-se até então. Outra consequência é que a lei da adição das velocidades da mecânica não funcionaria para a luz. O valor da velocidade da luz é exatamente $c=299.792.458$ m/s.

A partir desses postulados, Einstein desenvolveu sua concepção de tempo, espaço, momento, energia e massa. Sendo que os dois últimos são os objetos deste trabalho.

Outro fator importante que está presente no desenvolvimento da equação $E=mc^2$ foi desenvolvido pelo físico neerlandês Hendrik Antoon Lorentz e ficou conhecido como “coeficiente de Lorentz” e que é representado pela letra γ . Sua formulação matemática é:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (2.3.1)$$

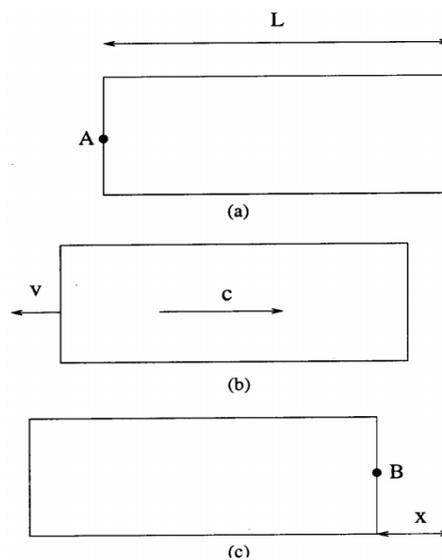
A partir de seus postulados e da equação 2.4.1, Einstein pôde desenvolver os argumentos físicos e matemáticos que o levaram a conclusão de que energia tem relação com a massa de um corpo.

2.1.3 Energia de Repouso

A relação massa energia foi proposta por Albert Einstein em 1905 com a publicação de um artigo intitulado “A inércia de um corpo depende de seu conteúdo energético?” (LEMOS, 2001, p.3). Nesse artigo Einstein chegou à conclusão que quando há uma variação de energia sua massa reduzirá em E/c^2 .

Essa conclusão acima mostra claramente a relação entre a massa de um corpo e seu conteúdo energético. Para demonstrar matematicamente Einstein propôs, em 1906, um “experimento mental” que consistia de um cilindro oco emitindo um pulso de luz (onda eletromagnética) de uma de suas extremidades e, esse mesmo pulso é absorvido pela outra extremidade. Como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Cilindro emitindo e absorvendo um pulso de radiação eletromagnética



Fonte: Lemos (2001).

Na figura 2, (a) temos um cilindro de comprimento L e massa M em repouso em relação a um referencial inercial, em (b) é emitido um pulso de radiação eletromagnética para a direita no ponto A, fazendo com que o cilindro recue com uma velocidade v para a esquerda, em seguida o mesmo pulso é absorvido na extremidade direita, em B fazendo com que o cilindro se desloque em um comprimento x .

Como se trata de uma onda eletromagnética podemos aplicar a teoria de Maxwell de que o pulso transporta um momento linear dado por $p = E/c$. Levando em conta o princípio de conservação linear e sabendo que o cilindro sofre um recuo com velocidade v ao emitir o pulso e admitindo M , a massa original do cilindro e m a massa que foi, segundo previsto, a massa que reduziu na emissão do pulso, dessa forma, teremos:

$$(M - m)v = \frac{E}{c}. \quad (2.3.2.1)$$

Agora, precisamos levar em consideração que o sistema está isolado, o que garante que antes da emissão o momento total era nulo. Já o tempo de recuo do cilindro pode ser expresso por:

$$t = \frac{x}{v}, \quad (2.3.2.2)$$

em que x é a distância de recuo do cilindro. Sabendo que o tempo de recuo do cilindro, dado por pela equação 2.3.2.2 e que o tempo para que o pulso saia da extremidade A e chegue na extremidade B é dado por:

$$t = \frac{(L - x)}{c}. \quad (2.3.2.3)$$

Como os tempos citados acima são iguais podemos igualar as equações (2.3.2.2) e (2.3.2.3), assim:

$$\frac{(L - x)}{c} = \frac{x}{v}. \quad (2.3.2.4)$$

Além disso, o centro de massa do sistema não pode mudar, pois estamos tratando de um sistema isolado, e isso exige que uma quantidade de massa seja transportada de uma extremidade a outra do cilindro. Para que isso seja satisfeito devemos ter:

$$(M - m)x = m(L - x). \quad (2.3.2.5)$$

Unindo as equações (2.3.2.1), (2.3.2.4) e (2.3.2.5) temos a famosa equação de Albert Einstein.

$$E = mc^2. \quad (2.3.2.6)$$

A Equação (2.3.2.6) é, sem dúvida a mais difundida da ciência, todavia, o seu significado é pouco discutido, o que pode levar a interpretações equivocadas. . Por essa razão, meu trabalho tem como objetivo de ensino o de trabalhar o significado dessa equação e como ela influenciou em mudanças significativas na ciência, tecnologia e sociedade. Uma das interpretações que se pode ter ao observar a equação é que podemos converter massa em energia e vice-versa, como afirma Sampaio e Calçada (2005), a massa de um corpo não pode ser interpretada como uma coisa, segundo os autores é uma propriedade, uma medida de inércia, logo, não pode ser convertida ou transformada em nada. Ainda segundo os autores, para haver conversão é preciso que alguma coisa desapareça para que algo novo tome seu lugar, entretanto, a energia continua lá.

Outro conceito que os autores também consideram como equivocado é o de equivalência. Para esses autores, equivalência indica igualdade e, como já citado a massa é uma medida de inércia relacionada com a resistência à mudança de velocidade, já energia pode ser definida, de maneira simplificada como a capacidade de realizar trabalho.

Esse equívoco está relacionado com um fenômeno de transformação de matéria em radiação. Nesse caso, um elétron, ao interagir com sua antipartícula, o pósitron, aniquilam-se, produzindo dois fótons. Nesse caso, algo desapareceu, logo podemos dizer que houve transformação, porém, no caso de uma reação nuclear, em que

podemos observar uma aplicação da equação o processo é diferente, assim, a interpretação é diferente.

Outra implicação importante decorrente da equação 2.3.2.6 é a ideia de que um corpo, mesmo em repouso em relação a um referencial possui energia que foi conhecida como energia de repouso dado pela seguinte expressão:

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (2.3.2.7)$$

A diferença em relação à equação 2.3.2.6 é o fato de considerarmos um referencial em que a partícula esteja em repouso.

Com a equação 2.3.2.7 Einstein mostrou que mesmo um corpo em repouso poderia ter uma quantidade de energia “armazenada” e que poderia ser utilizada. Na época que Einstein propôs a equação a tecnologia não permitia sua comprovação experimental, somente com os estudos das reações nucleares foi possível tal comprovação. Como exemplo temos a Bomba Atômica.

2.2 REFERENCIAL TEÓRICO

Buscar estratégias diversificadas que possam ser uma alternativa para facilitar o processo de ensino-aprendizagem em ciências tem sido o alvo de muitas pesquisas desenvolvidas nas últimas décadas. Essa busca se deve ao fato de que o ensino de ciências privilegia os fatos científicos, as definições de conceitos expressos em leis e fórmulas, que acabam sendo transmitidos diretamente pelo professor enquanto os alunos, passivos, observam demonstrações ou memorizam as informações mecanicamente (CARVALHO, 2013; SÁ; LIMA; AGUIAR JÚNIOR, 2011).

2.2.1 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

Segundo Carvalho (2013), o processo de ensino-aprendizagem sofreu duas influências importantes. A primeira foi o aumento em larga escala dos conhecimentos produzidos, o que gera a impossibilidade de que o estudante possa assimilar tudo. A segunda foi a constatação de que os conhecimentos são construídos não apenas no nível individual, mas também no nível interpessoal, ou seja, no coletivo.

Além disso, como afirma Munford e Lima (2007), há um distanciamento entre a ciência praticada nas escolas e a ciência desenvolvida nas universidades. Essa diferença é facilmente observada quando levamos em consideração que na escola, os conceitos são estudados sem levar em consideração o contexto em que foram produzidos.

Dentre as alternativas apontadas pelas pesquisas, podemos citar o Ensino por Investigação. Vertentes semelhantes são adotadas nos Estados Unidos e Europa com a denominação Inquiry Based Science Education (IBSE) ou simplesmente “*inquiry*”. Para compreender essa proposta, vamos traçar uma visão histórica de como o ensino por investigação evoluiu ao longo de décadas.

Essas estratégias de ensino de ciências tiveram forte influência do pedagogo norte-americano John Dewey. Dewey acreditava que a educação científica deveria ser baseada na experiência. Não estamos falando aqui de atividades experimentais como nos laboratórios formais das universidades, mas na forma como as pessoas se relacionam com o universo ao seu redor, refletindo e agindo conforme as experiências que tiveram. Uma criança, por exemplo, pode trazer consigo várias experiências de vida que lhe possibilitem novas reflexões sobre determinados fenômenos estudados em sala de aula. Segundo Dewey (apud, ZÔMPERO E LABURÚ, 2011, p. 70),

Uma árvore pode ser somente um objeto da experiência visual, pode passar a ser percebida de outro modo se entre ela e a pessoa se processarem outras experiências como a utilidade, aspectos medicinais, econômicos, etc. Isso fará o indivíduo perceber a árvore de modo diferente. Depois dessa experiência, o indivíduo e a árvore são diferentes do que eram antes.

Ainda segundo o autor, a educação científica é baseada no conceito de antecipação. As ideias podem gerar ações, que por sua vez, geram significados e valores e assim geram experiências.

Em meados do século XIX, alguns cientistas europeus e americanos começaram a defender que o estudo das ciências poderia fornecer ao estudante a prática de lógica indutiva, assim, estes deveriam ser capazes de observar o mundo ao seu redor e tirar conclusões a partir dessas observações. Foi nesse contexto que surgiram as práticas em laboratório. Alguns cientistas como Herbert Spencer acreditavam que as investigações desenvolvidas nos laboratórios poderiam fornecer mais informações sobre a natureza do que em livros didáticos.

Logo depois, com o crescimento populacional na primeira metade do século XX, ocorreu uma nova mudança nos objetivos da educação científica. Agora ela seria voltada para valores sociais, visando resolver problemas como de saúde pública, por exemplo. Assim, o *inquiry* se desenvolvem como uma forma de desenvolver as habilidades necessárias para que o cidadão tivesse condições de resolver questões relacionadas ao cotidiano social.

Mais tarde, na década de 50, começou um movimento para que a educação científica voltasse a ter o rigor acadêmico e que pudesse contribuir para o desenvolvimento intelectual dos estudantes. Esse movimento foi impulsionado pelo lançamento da nave Sputnik pelos russos. Assim sendo, houve uma reforma na educação no sentido de fazer com que os alunos pudessem aprender como os cientistas chegaram a determinadas conclusões e não receber essas conclusões do professor de forma pronta e acabada.

Na década de 80, ocorreu outra mudança nessa metodologia. Os estudantes deveriam aprender determinados procedimento que são próprios do método científico, como observa, anotar, manipular, descrever, fazer perguntas e buscar as respostas destas perguntas. Já na década de 90, houve uma proposta para que fosse enfatizado a Alfabetização Científica e a importância do ensino por investigação.

Percebemos com tudo isso, que o conceito de ensino por investigação teve algumas modificações ao longo dos anos em virtude de fatores como econômicos, políticos e sociais.

Atualmente, o ensino por investigação tem o objetivo de desenvolver as habilidades cognitivas dos alunos, fazer com que possam levantar hipóteses e desenvolver sua capacidade de argumentação com base nas hipóteses levantadas e na análise dos dados.

Assim sendo, segundo Maués e Lima (2006), na perspectiva do ensino por investigação os estudantes se envolvem nos processos investigativos, assim, participam diretamente de sua aprendizagem ao construir questões, levantar hipóteses, evidências e comunicar seus resultados.

De acordo com Tamir (apud, SÁ; LIMA; AGUIAR JÚNIOR, 2011), na maioria das metodologias adotadas no ensino, todos os procedimentos que levem à construção do conhecimento dos alunos estão nas mãos do professor. É ele quem propõe o problema, conduz o experimento e o procedimento de coleta de dados para que o aluno siga e, com o auxílio do professor, tire as conclusões da atividade. Na perspectiva investigativa, esses procedimentos estão nas mãos do estudante, cabendo ao professor atuar como mediador dessa construção. Entretanto, nem sempre é possível que o estudante tenha total autonomia no desenvolvimento da atividade investigativa. Em muitas situações haverá a necessidade de uma atuação mais ou menos diretiva por parte do professor. Desse modo, podemos constatar diferentes níveis de complexidade numa atividade investigativa, dependendo do nível de autonomia que os estudantes são capazes de exercer e também do grau de abertura do problema proposto. Tamir (apud, SÁ; LIMA; AGUIAR JÚNIOR, 2011) propõe uma classificação dos diversos níveis de complexidade de uma atividade investigativa, segundo o grau de abertura do problema:

Quadro 1 - Classificação das atividades práticas segundo seu grau de abertura do problema

| Níveis de investigação | Problemas | Procedimentos | Conclusões |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Nível 0 | Problemas fechados, propostos pelo | Dirigidos pelo professor | Conduzidas pelo professor |

| | | | |
|----------------|---|---|--|
| | professor | | |
| Nível 1 | Problemas fechados, propostos pelo professor | Dirigidos pelo professor | Em aberto, a serem elaboradas pelos estudantes |
| Nível 2 | Problemas fechados, propostos pelo professor | Em aberto, a serem propostos pelos estudantes | Em aberto, a serem elaboradas pelos estudantes |
| Nível 3 | Problemas abertos, a serem propostos pelos estudantes | Em aberto, a serem propostos pelos estudantes | Em aberto, a serem elaboradas pelos estudantes |

Fonte: Tamir (apud SÁ; LIMA; AGUIAR JÚNIOR, 2011, texto adaptado pelo autor).

De acordo com Carvalho e outros (apud, SÁ; LIMA; AGUIAR JÚNIOR, 2011), para que uma atividade seja considerada investigativa, não pode ser desenvolvida apenas pela mera observação e manipulação de dados, é necessário que o estudante seja levado a refletir sobre determinado problema, discutindo e buscando explicações, além de relatar o desenvolvimento de seu trabalho para a turma.

Assim sendo, Carvalho (2013), propõe algumas etapas que podem nortear o planejamento das interações entre os estudantes, seus pares e o professor em uma atividade investigativa. A saber:

- 1- Problema Inicial: O início de uma atividade investigativa deve ser orientada por um problema que, segundo a autora, deve ser bem planejado para que possa provocar interesse do aluno e, para isso, deve estar relacionado com a cultura social dele, ademais, deve exigir mais do que uma simples manipulação de uma equação na busca da solução. O aluno deve envolver-se de forma espontânea com condições de expor seus conhecimentos anteriormente adquiridos.
- 2- Etapa de distribuição de materiais, que pode ser um experimento ou um texto: Nesse momento o professor pede para que os alunos se dividam em grupos menores, distribui o material de apoio, propõe o problema e certifica-se de que todos entenderam o problema a ser resolvido.

- 3- Etapa de resolução do problema pelos alunos: A importância nessa etapa está nas condições que os alunos terão para que possam levantar suas hipóteses e testá-las, na tentativa de resolver o problema. Vale a pena ressaltar que o conceito físico a ser ensinado não é de grande importância nessa etapa, e sim as hipóteses levantadas pelos estudantes que poderão ou não ajudá-los na resolução do problema inicial. Outra característica importante é valorizar as hipóteses que não contribuíram para a resolução do problema. Segundo a autora, o erro pode ensinar mais do que dar a resposta pronta para o aluno e o professor atuará apenas no sentido de certificar-se que todos entenderam a proposta inicial.
- 4- Etapa de sistematização de conhecimentos: Nessa etapa, o papel do professor é muito importante. Esse deve recolher o material (experimento ou texto) dos alunos e distribuir a turma de tal forma que possam iniciar um momento de socialização. Pode ser feito com um grande círculo ou de outra forma, o importante é que todos devem poder observar como cada um resolveu o problema proposto. Por meio da exposição dos alunos, o professor pode intervir e começar a trazer os conceitos científicos a partir da fala dos estudantes é o que Lemke (apud, Carvalho, 2013) chama de “aprender a falar ciência”.
- 5- Etapa de escrever e desenhar: Esta última etapa, está relacionada com a sistematização individual do conhecimento. É nesse momento que o estudante poderá sistematizar o conhecimento construído ao longo da etapa de resolução do problema, de socialização com grupos menores e na turma.

Além disso, como afirma Munford e Lima (2007), uma atividade investigativa não precisa ser necessariamente experimental. As autoras afirmam que uma atividade não experimental pode ter características investigativas dependendo da abordagem proposta e ainda destacam a possibilidade de associação das atividades investigativas com outras possíveis formas de abordagem:

Finalmente, muitos acreditam que seria possível – e necessário – ensinar todo o conteúdo por meio de uma abordagem investigativa. A posição aqui defendida é de que alguns temas seriam mais apropriados para essa abordagem, enquanto outros teriam de ser trabalhados de outras formas. O ensino de ciências por investigação seria uma estratégia entre outras que o(a) professor(a) poderia selecionar ao procurar diversificar sua prática de forma inovadora (MUNFORD; LIMA, 2007, p. 81).

Embora seja um aporte teórico-metodológico importante, o ensino por investigação não é a solução para o ensino de ciências. Essa afirmação das autoras nos remete a assuntos desenvolvidos no ensino de Física em que outras formas de abordagem poderiam ser utilizadas. Neste estudo, optamos por associar ao ensino por investigação o enfoque CTS, entendendo que os conceitos abordados na sequência didática constituíam temas sócio-científicos de interesse e relevância social.

2.2.2 O ENFOQUE CTS E A ABORDAGEM DE TEMAS SÓCIO-CIENTÍFICOS NA ESCOLA

O avanço do estudo das ciências e o desenvolvimento de novas tecnologias acarretam mudanças significativas na política, economia e conseqüentemente, na sociedade atual. Esse avanço pode tornar a vida moderna mais confortável, por exemplo, temos o estudo da energia elétrica e suas aplicações, que nos permitiu desenvolver nossas indústrias, ou o estudo da termodinâmica que teve como uma das conseqüências o desenvolvimento de motores a combustão interna que facilitou, entre outras coisas o transporte de pessoas e mercadorias.

Por esses fatores, a sociedade passou a relacionar a ciência e a tecnologia como os propulsores do progresso, porém, essa confiança pode ser muito perigosa quando levamos em consideração que algumas tecnologias poderiam trazer mais malefícios do que benefícios ao homem ou mesmo quando questões éticas estão envolvidas nesse processo. O caso do desenvolvimento das bombas a partir do estudo dos processos nucleares ou mesmo o desenvolvimento de técnicas que permitiram o procedimento de clonagem, que nas últimas décadas tem dividido cientistas e religiosos, é um exemplo de como o desenvolvimento científico e tecnológico precisa ser encarado com cautela pela população. Reforçando isso, como diz Bazzo (apud PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2007, p. 72),

É inegável a contribuição que a ciência e a tecnologia trouxeram nos últimos anos. Porém, apesar desta constatação, não podemos confiar excessivamente nelas, tornando-nos cegos pelo conforto que nos proporcionam cotidianamente seus aparatos e dispositivos técnicos.

Isso pode resultar perigoso porque, nesta anestesia que o deslumbramento da modernidade tecnológica nos oferece, podemos nos esquecer que a ciência e a tecnologia incorporam questões sociais, éticas e políticas.

Apesar do exposto acima, podemos perceber que a maioria da população ainda não consegue opinar sobre questões que envolvem ciência e tecnologia e, conseqüentemente, não conseguem avaliar suas implicações. Essas pessoas podem ser facilmente enganadas com a promessa de melhorias em suas vidas enquanto as classes dominantes escondem outros interesses, como o lucro. Sendo assim, é necessário que a população possa, não apenas ter acesso às informações referentes ao avanço dos conhecimentos científicos e tecnológicos, mas também participar das decisões que venham trazer mudanças significativas seu meio social. Concordando com isso, Bazzo (apud PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2007) afirma que a população deve compreender que todo conhecimentos científicos e tecnológicos têm conseqüências e implicações, por essa razão, merece aprender a ler e assimilar o que a ciência e a traz de novo e participar das decisões que podem influenciar a sociedade e seu futuro.

Quando afirmamos aqui que a população deve ter acesso aos conhecimentos científicos, não estamos nos restringindo aos conhecimentos técnicos apenas, mas a relação entre esses conhecimentos e sua influência em questões políticas e econômicas. Assim, a população poderia perceber que o desenvolvimento científico não é neutro e carrega interesses que podem ser prejudiciais a curto e longo prazo para a sociedade em geral.

Analisando essas questões, alguns questionamentos têm sido elaborados com respeito ao desenvolvimento científico-tecnológico proporcionando uma crítica que deram origem a movimentos como o movimento CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Esse movimento vem ganhando muitos adeptos e, com isso, avançando nas correntes educacional.

Antes do surgimento do movimento CTS haviam pessoas que se preocupavam com o desenvolvimento científico e sua conseqüência no desenvolvimento tecnológico, porém, as discussões estavam voltadas para o método científico e que tinha como objetivo o desenvolvimento da ciência pura. O movimento CTS vem trazendo uma nova perspectiva a essa visão, a saber, nesse movimento os aspectos históricos da

construção da ciência, assim como as consequências sociais e éticas são agora importantes para o desenvolvimento científico e tecnológico. Seu surgimento tem início na década de 70, principalmente da Europa e no Estados Unidos, como consequência das reflexões feitas a partir do pós-guerra e como o homem percebeu como o desenvolvimento científico e tecnológico poderia afetar suas vidas. Concordando com isso Waks (apud, SANTOS; MORTIMER, 2002, p. 4) diz que

O agravamento dos problemas ambientais pós-guerra, a tomada de consciência de muitos intelectuais com relação às questões éticas, a qualidade de vida da sociedade industrializada, a necessidade da participação popular nas decisões públicas, estas cada vez mais sob o controle de uma elite que detém o conhecimento científico e, sobretudo, o medo e a frustração decorrentes dos excessos tecnológicos propiciaram as condições para o surgimento de propostas de ensino CTS.

No Brasil, devido nosso passado colonial, não houve uma preocupação em desenvolver cientificamente os cidadãos como ocorreu na Europa, por exemplo. As políticas eram voltadas para que nosso país continuasse a servir as grandes nações com matérias primas para suas indústrias. Um reflexo disso foi que a revolução industrial teve poucos reflexos em nossa nação.

Segundo MOTOYAMA (apud, AULER; BAZZO, 2001), no Brasil, assim como em muitos países latino americanos, a relação entre ciência e tecnologia sempre esteve ligada aos interesses estrangeiros, isso se reflete quando o país passou por um processo de industrialização baseada na importação de tecnologia e mão de obra e não na capacitação de técnicos nacionais. Ainda segundo esse autor, na década de 60 houve eventos importantes que poderiam influenciar na relação CTS no Brasil. Podemos citar a fundação da Universidade de Brasília em 1961 e a fundação do Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico (Funtec) em 1964. Apesar do clima de desconfiança devido ao golpe militar e o famigerado Ato Institucional Número 5 (AI5), a partir de 1967 o Ministério de Relações Exteriores iniciou um processo que viria a ser conhecido como “operação retorno”, que consistia em trazer de volta os cientistas brasileiros que estava trabalhando no exterior.

Em 1951, o conselho nacional de pesquisa (CNPq) começou a investir nos estudos da Física nuclear, porém, as pressões do governo americano fizeram com que, em

1969, houvesse uma ruptura nesse trabalho e conseqüentemente uma marginalização da comunidade científica nacional nos acordos nucleares.

Com tudo isso, podemos perceber que, devido às relações conturbadas entre governo e comunidade científica, a dependência da ciência nacional com a ciência europeia, nosso tardio processo de industrialização e os interesses das grandes nações em dificultar o desenvolvimento científico e tecnológico de países como o Brasil, acreditamos que é necessário um longo caminho para que a sociedade possa participar efetivamente das discussões envolvendo o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, mas as condições devem ser implementadas. É nesse contexto que o movimento CTS passa a ter cada vez mais destaque no âmbito educacional, pois, assim como afirma Pinheiro, Silveira e Bazzo (2007, p. 77),

Cabe ressaltar que o enfoque CTS que venha a ser inserido nos currículos é apenas um despertar inicial no aluno, com o intuito de que ele possa vir a assumir essa postura questionadora e crítica num futuro próximo. Isso implica dizer que a aplicação da postura CTS ocorre não somente dentro da escola, mas, também, extramuros.

Ainda segundo os mesmos autores, é a partir daí que o estudante pode desenvolver-se como um investigador, um questionador e não como um mero observador. Assim, esse aluno, ao ter consciência das implicações que os conhecimentos podem trazer podem ser capazes de tomar decisões sobre problemas que podem afetar sua comunidade.

Ao trabalhar com o enfoque CTS em sala de aula o professor passa a ser, junto com o aluno, colaborador da construção do conhecimento, entendendo que a ciência não é algo imutável e que está presente no cotidiano de todos em influência em nosso estilo de vida.

Assim, ao desenvolver uma estratégia de ensino com enfoque CTS, Pinheiro, Silveira e Bazzo (2007) também acrescenta que se deve fomentar habilidades que vão além dos conhecimentos científicos. A estratégia usada para o desenvolvimento dessas habilidades deve ser bem elaborada, em que deve levar em consideração os conhecimentos que o aluno traz. Os autores comentam que isso pode ser feito por meio da contextualização de temas sociais e, a partir de uma problematização social

os alunos são convidados a emitir suas opiniões mesmo antes de discutir os conhecimentos científicos envolvidos no tema. Os autores acrescentam que

Trabalhar com os alunos nesse sentido não se restringe a uma simples adequação de fatos descontextualizados da realidade, mas implica a redefinição de temas sociais próprios ao contexto nacional, local, ou adaptados à problemática brasileira. (PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2007, p. 77).

Pensando nessa estratégia de ensino Santos e Mortimer (2002) afirmam que a abordagem CTS podem ser melhores organizadas seguindo a seguinte estrutura: (1) introdução de um problema social; (2) análise da tecnologia relacionada ao tema social; (3) estudo do conteúdo científico definido em função do tema social e da tecnologia introduzida; (4) estudo da tecnologia correlata em função do conteúdo apresentado e (5) discussão da questão social original.

Além disso, os mesmos autores afirmam que uma sequência que segue esses moldes permite a introdução de problemas sociais, proporcionando que os alunos desenvolvam a capacidade de tomar decisões a partir da análise das alternativas que surgem ao longo das discussões geradas no estudo da ciência, da tecnologia e de suas implicações sociais.

3. METODOLOGIA

Abordaremos no presente capítulo os instrumentos metodológicos adotados na pesquisa, a descrição da instituição em que a Sequência Didática foi aplicada, os sujeitos da pesquisa (os alunos) e os instrumentos de coleta de dados.

Caracterizamos nosso trabalho como uma pesquisa intervenção, de natureza qualitativa, desenvolvido em sala de aula, sendo o professor também autor da pesquisa, com a colaboração dos alunos.

3.1 O CAMPO DE PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida numa Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio localizada no Bairro de Porto Canoa, no município da Serra, no Estado do Espírito Santo. Essa instituição funciona regularmente nos três turnos com um número total de 1180 alunos, no momento em que a intervenção foi realizada. Esses estudantes são bem diversificados com adolescente, jovens e adultos residentes em Porto Canoa, Parque Residencial Tubarão, Serra Dourada I, Serra Dourada II, Serra Dourada III, Taquara, El'Dourado, Nova Carapina, Barro Branco, Pitanga, entre outros bairros, mostrando assim sua diversidade socioeconômica.

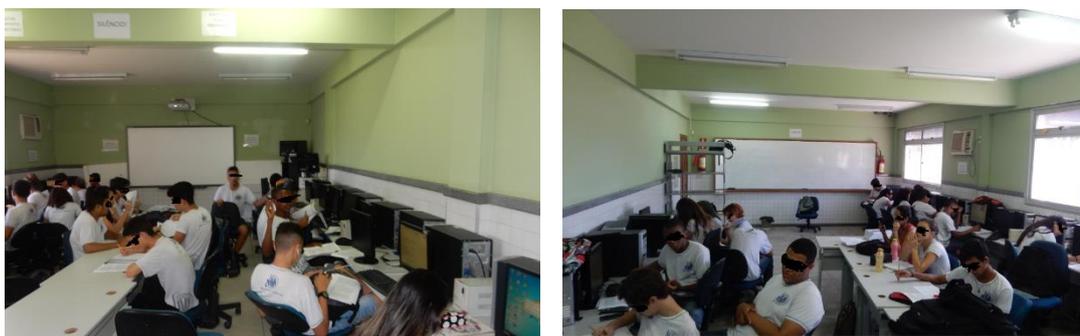
Atualmente possui 12 salas de aula, um laboratório de Biologia/Química e Física, dois Laboratório de Informática e uma Biblioteca, a maioria dos ambientes são climatizados. Além disso, possui sala de multiuso, sala para pedagogos, secretaria, direção, professores e uma quadra poliesportiva com arquibancada coberta na área externa.

3.2 OS SUJEITOS DA PESQUISA

A intervenção, que proporcionou os dados a serem analisados nesse trabalho, foi realizada em duas turmas do 2º ano do Ensino Médio (2V3 e 2i2). A escolha das

turmas está relacionada ao fato de já terem estudado as diversas formas de energia, o que traria conhecimentos prévios. Poderia ter escolhido alunos do primeiro ano, porém não dispunha de muitas turmas. O fato de não ter trabalhado com turmas do terceiro ano está relacionada à intervenção estar próxima do ENEM, o que poderia causar um desconforto por parte dos alunos, que estavam se preparando para essa avaliação.

Figura 3 – Turmas 2^ov2 (esquerda) e 2i2 (direita)



Fonte: do autor.

Todos os alunos e seus responsáveis foram informados a respeito da pesquisa. Em seguida receberam e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido em que foi especificado os objetivos desse trabalho. A fim de resguardar o anonimato dos sujeitos da pesquisa, os nomes dos alunos aqui mencionados são fictícios.

3.3 ORGANIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Para este trabalho foi desenvolvida uma Sequência Didática disposta em um conjunto de 8 aulas, com duração de 55 minutos cada. Nessas aulas foram desenvolvidas algumas atividades com características do Ensino por Investigação e seguindo a estrutura do enfoque CTS.

[...]a estrutura dos materiais de ensino CTS é sequenciada pelos passos: (1) introdução de um problema social; (2) análise da tecnologia relacionada ao tema social; (3) estudo do conteúdo científico definido em função do tema social e da tecnologia introduzida; (4) estudo da tecnologia correlata em função do conteúdo apresentado e (5) discussão da questão social original (SANTOS; MORTIMER, 2002, p. 12-13).

As aulas foram ministradas às segundas-feiras e quartas-feiras para uma das turmas. Na segunda turma foram ministradas às terças-feiras e quintas-feiras. Na primeira turma, foram ministradas aulas no turno matutino, já na segunda turma, as aulas foram dadas no turno vespertino, entre os dias 07 de novembro e 01 de dezembro de 2016. A data foi escolhida por já termos trabalhado diversos assuntos que poderiam servir de base para a resolução dos problemas apresentados na sequência. Cabe ressaltar que a aplicação da sequência poderia ocorrer perfeitamente com turmas do 1º ano ou do 3º ano, como citado anteriormente, desde que já tivessem noções acerca dos conceitos de energia e transformação de energia.

Antes do início da intervenção, foram realizadas reuniões com os alunos e o corpo pedagógico da escola, com o intuito de informá-los sobre as atividades dessa intervenção assim como da necessidade dos registros em vídeo e áudio. Na ocasião foi entregue o termo de consentimento livre e esclarecido para que os alunos e seus responsáveis pudessem assinar, autorizando a realização da pesquisa. Depois de recolhido o termo de livre consentimento a sequência teve início.

A metodologia da intervenção foi organizada em diferentes momentos delineados a partir da estrutura CTS proposta por Santos e Mortimer (2002).

a) 1º momento: Introdução do problema social

Nesse momento da aula, os alunos foram apresentados ao problema inicial, descrito da seguinte forma: “Descrevam o que vocês acreditam que poderia acontecer se uma bomba atômica caísse em São Paulo.” Foi instruído que os estudantes fizessem grupos de no máximo 4 componentes, para que pudessem discutir o que eles achavam que poderia acontecer.

Foi estipulado um tempo de 10 minutos para esse momento que, segundo Carvalho (2013), é o momento em que os alunos vão levantar as hipóteses acerca do problema social, apresentado no início dessa sequência. Ao final desse momento, os alunos socializaram as suas hipóteses com a turma.

A partir das respostas dos alunos, foi apresentado o vídeo com o título igual ao do problema inicial proposto para os alunos, a saber: *E se uma bomba atômica caísse em São Paulo.*

O vídeo, com duração aproximada de 8 minutos, foi apresentado logo após a discussão referente ao levantamento das hipóteses dos alunos, com o intuito de confrontar o que os alunos falaram com o que foi apresentado no vídeo.

Com base nas discussões feitas sobre bomba atômica, o tema energia nuclear surgiu e, a partir das indagações feitas com a intervenção do professor, foram exibidos dois vídeos, um sobre os trinta anos do desastre de Chernobyl e outro sobre o desastre de Fukushima, para que pudessemos discutir a relação entre a bomba atômica e a energia nuclear.

Com essas atividades, os alunos puderam ter a oportunidade de levantar as hipóteses sobre os efeitos da explosão da bomba atômica. Meu objetivo com essa atividade foi observar as concepções dos alunos em relação à bomba atômica e à energia nuclear.

b) 2º momento: Análise da tecnologia relacionada ao tema social.

Após a discussão inicial, foi feito um novo momento de problematização em que os alunos poderiam levantar hipóteses sobre o funcionamento da bomba atômica e da energia nuclear.

Com o seguinte problema em mente: “Como vocês acreditam que uma bomba atômica e uma usina nuclear funcionam?” os alunos se reuniram em grupos menores a fim de levantar as hipóteses deles de como funcionam uma bomba atômica e uma usina nuclear.

Ao final desse período de discussão, os estudantes socializaram as ideias que levantaram e, a partir dessa discussão foram exibidos dois pequenos vídeos, um sobre o funcionamento da bomba atômica e outro sobre o funcionamento de uma usina nuclear.

As exibições dos vídeos foram intercaladas por discussões a respeito do que estava sendo apresentado e o que eles trouxeram.

Nesse momento os alunos puderam confrontar as ideias trazidas no momento de levantamento de hipóteses com o exposto nos vídeos e retornar à questão inicial sobre a bomba atômica supostamente caindo na cidade de São Paulo.

c) 3º momento: Estudo da tecnologia correlata em função do conteúdo apresentado.

A partir desse momento, foram apresentados dois textos, nos quais são discutidos a importância de Albert Einstein na decisão da construção da bomba atômica e no início da corrida nuclear.

O primeiro texto trazia a carta escrita por Einstein, para o então presidente dos Estados Unidos da América, Franklin Delano Roosevelt. O segundo texto trazia algumas informações sobre o impacto da carta de Einstein e as reações desse cientista ao perceber como o conhecimento científico foi utilizado.

O professor pede aos alunos que se reúnam em grupos a fim de discutir as informações contidas no texto e responder às 10 questões que remetiam ao início da sequência.

Essa atividade tem por objetivo iniciar a discussão do conteúdo científico, trazendo a figura de Einstein, que até então não estava presente nas falas dos alunos, quando discutiam a bomba atômica.

d) 4º momento: Estudo do conteúdo científico definido em função do tema social e da tecnologia introduzida.

Nesse momento da sequência, é apresentado um novo texto sobre a equação $E=mc^2$, sem trazer os significados, apenas uma discussão inicial sobre a equação.

Na ocasião foi apresentado um simulador computacional³, com o intuito de retomar a questão inicial relacionando-a ao texto lido e ao conhecimento científico discutido no 3º momento.

Depois da leitura do texto e de sua discussão, os estudantes responderam a algumas questões em que puderam expressar suas ideias sobre a equação $E=mc^2$ e seu significado. Em seguida, houve um momento de socialização dessas ideias com a turma.

A partir das discussões, os alunos receberam outro texto, retirado do livro didático com os conhecimentos cientificamente aceitos e foi pedido que eles respondessem algumas questões, sempre fazendo relação com a discussão anteriormente proposta.

Essa parte da sequência teve por objetivo fazer com que os estudantes pudessem confrontar suas hipóteses com o que é apresentado no texto do livro didático, observando como os alunos se apropriam desse conceito e relacionam-no com o que foi trabalhado até esse momento.

e) 5º momento: Discussão da questão social original.

Com essa parte da sequência os alunos poderão expressar todas as informações discutidas nas aulas em uma atividade em que eles produziram um material multimídia com os seguintes temas:

Tema 1: Um Bomba Atômica poderá cair no município da Serra, especificamente no bairro de Porto Canoa e os estudantes deverão produzir material multimídia explicando para a população as possíveis consequências físicas, políticas, econômicas e sociais. Além disso, explicar o funcionamento da Bomba Atômica assim como devem relacionar a equação $E=mc^2$ com seu significado com a Bomba.

³ O simulador computacional utilizado está disponível em:
<http://www.nuclearsecrecy.com/nukemap/?t=06ce25b2c311f3190ed5630aedfb9fa6>.

Tema 2: Uma Usina Nuclear está prestes a ser construída na região da Serra e os alunos devem produzir um material multimídia de divulgação para a população com informações sobre o funcionamento de uma Usina Nuclear, assim como as consequências políticas, sociais e econômicas dessa construção e a relação da produção de energia com a equação $E=mc^2$, trazendo também, seu significado físico.

Com essa atividade os alunos retomam a questão inicial perpassando por todas as fases da sequência e, assim, fornecendo dados que poderão mostrar indícios de aprendizagem na construção do conceito de energia de repouso expresso na equação $E=mc^2$.

3.4 INSTRUMENTOS DE PRODUÇÃO DOS DADOS

Os dados utilizados para a análise foram produzidos durante a aplicação de uma Sequência de Ensino Investigativa com enfoque CTS. A partir desses dados buscaram-se indícios de formação de conceitos sobre a equação $E=mc^2$.

Para a análise foi utilizado:

- 1- Gravação em vídeo das aulas;
- 2- Gravação dos áudios das discussões dos alunos;
- 3- Produções escritas dos alunos;
- 4- Diário de campo do professor.

Nas gravações das aulas em vídeo utilizei um tripé, no entanto, como o áudio da gravação poderia se tornar distorcido precisei manusear a câmera em alguns momentos da aula.

As gravações dos áudios dos alunos foram coletadas durante os momentos de levantamento de hipóteses, no instante em que os alunos estavam buscando formas de resolverem o problema.

As produções escritas utilizadas na análise foram coletadas a partir das discussões registradas nas gravações de áudio e sistematizadas pelos alunos nessas discussões.

Ao final de cada aula o professor registrou o diário de campo que serviram como dado para analisar a construção e a apropriação de conceitos por parte dos estudantes. Esses diários também foram importantes, pois trazem informações do professor como pesquisador.

Para melhor compreensão do leitor o quadro abaixo representa os momentos desenvolvidos na Sequência Didática com a descrição e a contextualização das atividades desenvolvidas pelos alunos. Para a produção dos dados foram utilizadas as quatro formas acima citadas e sua transcrição está no capítulo de análise de dados.

Quadro 2 - Distribuição das atividades da sequência

| MOMENTOS | DATAS | OBJETIVOS |
|-----------------|--|--|
| 01 | 07/11 (2v3) e 09/11 (2i2) | Problematização inicial/Socialização das hipóteses |
| 02 | 07/11 e 09/11 (2v3), 08/11 e 10/11 (2i2) | Levantamento de hipóteses sobre a tecnologia/Socialização das hipóteses/Apresentação do simulador e discussão sobre a tecnologia |
| 03 | 16/11 e 21/11 (2v3), 17/11 e 22/11 (2i2) | Leitura e discussão em pequenos grupos sobre um questionário/Socialização das ideias apresentadas durante a discussão em pequenos grupos |
| 04 | 23/11 e 28/11 (2v3), 24/11 e 29/11 (2i2) | Leitura do texto “Discutindo a Equação $E=mc^2$ ” e levantamento de hipóteses/Socialização das hipóteses levantadas/Leitura e discussão do texto didático e resolução de questionário/ Socialização das respostas na turma |
| 05 | 30/11 (2v3) e 01/12 (2i2) | Apresentação das produções multimídias |

Fonte: do autor.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

4.1 METODOLOGIA PARA A ANÁLISE DOS DADOS

A coleta dos dados para fins de análise dessa pesquisa ocorreu durante o desenvolvimento de uma Sequência Didática (SD) com enfoque CTS e com características investigativas. As atividades foram desenvolvidas com o objetivo de fornecer evidências da evolução do entendimento por parte dos alunos do conceito da equação $E=mc^2$.

A análise dos dados produzidos na sequência didática será feita a partir dos argumentos desenvolvidos durante a aplicação da sequência didática por parte dos alunos e do professor. Entendemos que o argumento pode ser definido, segundo Carvalho e Sasseron (2011), como qualquer discurso que professores e alunos desenvolvem na sala de aula, apresentando opiniões, ideias ou mesmo hipóteses e evidências para justificar as ações e conclusões acerca de um problema analisado.

Assim sendo, buscaremos nos argumentos orais e escritos indícios de que a Sequência Didática com enfoque CTS e o ensino por investigação contribuem para uma aproximação gradual do significado dos conhecimentos científicos acerca da equação $E=mc^2$.

Para analisar a formação do conceito, foram propostos problemas para que os alunos pudessem pensá-los, debatê-los e resolvê-los.

Para Vygotsky (apud TRAZZI, 2015, p. 141), é nesse processo de reflexão, de discussão e de resolução que serão construídos os conceitos. Ainda, segundo o autor, o conceito não surgirá de forma mecânica e sim num processo longo e complexo de evolução do pensamento, além do mais, esse processo é mediado pela palavra que atuará como um meio para que o conceito seja formado. Nesse sentido, para que esse processo de elaboração de conceito seja efetivado, é preciso que o aluno seja orientado por um membro mais experiente, que pode ser o professor ou um colega, que o auxiliará a desenvolver habilidades e conhecimentos.

Para esse trabalho, foi desenvolvido uma Sequência Didática CTS com características investigativas que, segundo McKavanagh e Maher (apud, SANTOS; MORTIMER, 2002), deve apresentar os aspectos da abordagem CTS conforme descrito no Quadro 3:

Quadro 3 – Aspectos da abordagem CTS

| Aspectos de CTS | Esclarecimentos |
|--|---|
| 1. Efeito da Ciência sobre a Tecnologia | A produção de novos conhecimentos tem estimulado mudanças tecnológicas |
| 2. Efeitos da tecnologia sobre a sociedade | A Tecnologia disponível a um grupo humano influencia sobremaneira o estilo de vida desse grupo. |
| 3. Efeito da Sociedade sobre a ciência | Por meio de investimentos e outras pressões, a sociedade influencia a direção da pesquisa. |
| 4. Efeito da Ciência sobre a Sociedade | O desenvolvimento de teorias científicas podem influenciar a maneira como as pessoas pensam sobre si próprias e sobre problemas e soluções. |
| 5. Efeito da sociedade sobre a tecnologia | Pressões públicas e privadas podem influenciar a direção em que os problemas são resolvidos e, como consequência, promover mudanças tecnológicas. |
| 6. Efeito da Tecnologia sobre a Ciência | A disponibilidade dos recursos tecnológicos limitará ou ampliará os processos científicos. |

Fonte: McKavanach e Maher (apud SANTOS; MORTIMER, 2002).

Ainda tomando como referência os autores Santos e Mortimer (2002) temos que, para o ensino CTS, uma estrutura de sequenciada de passos: (1) introdução de um problema social; (2) análise da tecnologia relacionada ao tema social; (3) estudo do conteúdo científico definido em função do tema social e da tecnologia introduzida; (4) estudo da tecnologia relacionada em função do conteúdo apresentado e (5) discussão da questão social original.

O quadro abaixo temos as dimensões abordadas nesse trabalho utilizando as categorias acima:

Quadro 4 – Descrição das dimensões abordadas na sequência didática

| | |
|--|---|
| 1. Questão social introdutória | 1. É exibido em vídeo intitulado “E se uma bomba nuclear caísse em São Paulo?”. |
| 2. Uma tecnologia relacionada ao tema social é analisada | 2. Análise da bomba atômica e da energia nuclear. Exibição de dois vídeos sobre energia nuclear: “Chernobyl 30 anos” e “Energia nuclear, como funciona” |
| 3. A tecnologia é estudada em função dos conteúdos | 3. Um simulador sobre bomba atômica (disponível no endereço http://www.nuclearsecrecy.com/nukemap/) é apresentado juntamente com um texto sobre bomba atômica relacionando com a equação $E=mc^2$ e seu significado |
| 4. O conteúdo científico é trabalhado | 4. É apresentado a carta que Einstein escreveu para o presidente Roosevelt. Proposição de uma tarefa de leitura sobre a equação $E=mc^2$. Ao final da tarefa a classe responde algumas questões.. |
| 5. Retomada a questão social | 5. Discussão do material discutido no início da sequência e a proposição de um trabalho em que os alunos produzirão um material relacionado a bomba atômica e a energia nuclear e sua relação com a equação $E=mc^2$ |

Fonte: Santos e Mortimer (2002).

Além disso, utilizaremos os pressupostos do ensino por investigação que norteará as atividades aqui desenvolvidas neste trabalho e que possui características que segundo Sá (2009, p. 5),

[...] Assim sendo, para uma atividade ser investigativa é necessário haver uma participação ativa do aluno no processo de aprendizagem que se manifesta quando ele busca refletir, discutir, explicar e relatar o que lhe foi proposto.

Assim sendo, analisaremos também como o ensino por investigação pode ser um aporte teórico-metodológico que vem a contribuir no processo de formação de conceito de Física, nesse caso, a Física desenvolvida no século XX, também conhecida como Física Moderna.

Segundo Tamir (1999), é importante a discussão do tema ao ser estudado na proposição de uma atividade investigativa de tal forma que os estudantes se envolvam na tarefa de forma clara e que sua importância seja discutida com a finalidade de levantar as concepções preliminares da situação problemática por parte dos estudantes, permitindo assim, uma análise qualitativa que lhes ajudarão a observar o problema de forma mais precisa. Borges (2002) afirma que para que uma atividade seja investigativa o aluno deve ser colocado em uma situação em que ele não seja levado a manipular uma fórmula ou repetir uma solução já estabelecida, porém, deve ser levado a delinear um problema que suscite à investigação. Assim também, Carvalho (2004) afirma que para que uma atividade seja considerada investigativa não pode haver uma mera manipulação de dados e que o aluno deve refletir, explicar, discutir e relatar seu trabalho a seus colegas.

Ainda nessa linha, Azevedo (2004) afirma que nem toda atividade investigativa deve ser uma atividade de laboratório e que para ter características investigativas deve haver uma organização das atividades em torno de uma situação problematizadora, questionadora e de diálogo.

A atividade desenvolvida para este trabalho caracterizou-se como uma atividade investigativa não experimental, com enfoque CTS, que faz uso de recursos multimídia e de textos extraídos de revistas ou mesmo de livros didáticos para auxiliar o processo de investigação e formação de conceitos relativos à equação $E=mc^2$. As produções textuais dos estudantes consideradas para efeito de análise foram realizadas na última etapa da sequência didática, quando os alunos construíram materiais para uma campanha fictícia para esclarecer e advertir a população acerca de duas situações hipotéticas:

1. A previsão do lançamento de uma bomba atômica no município da Serra; 2. A instalação de uma usina nuclear nas proximidades de Porto Canoa no município da Serra.

4.2 ANÁLISE DOS DADOS

Levando em consideração as características do enfoque CTS e do ensino por investigação, a análise da sequência didática baseou-se nos registros das aulas

gravadas em vídeo, nas gravações em áudio da atividade dos alunos, nas produções textuais dos estudantes e nas anotações do diário de campo do professor.

4.2.1 Questão social introdutória

A problematização inicial foi desenvolvida a partir do vídeo intitulado “E se uma bomba nuclear caísse em São Paulo”. Com esse título podemos levar a uma discussão em um contexto tecnológico, social, econômico e político. Assim, podemos destacar uma característica de ensino CTS, tomando como referência o Quadro 4.1.2 acerca dos efeitos da tecnologia sobre a sociedade e observando como a tecnologia influencia o estilo de vida desse grupo.

As características CTS também estão presentes ao suscitar uma reflexão sobre as consequências do desenvolvimento da tecnologia e suas implicações no convívio social. Além disso, podemos explorar a questão ética do uso da tecnologia como o desenvolvimento de armas de destruição em massa ou que podem produzir poluição.

Antes da exibição do vídeo foi proposto que os alunos discutissem em grupos pequenos acerca do tema que iria nortear o vídeo a fim de observar as concepções que os alunos trazem e suas hipóteses em relação ao tema, assim como descrito por Sá, Lima e Aguiar Júnior (2011, p. 82), “[...] as hipóteses propiciam o surgimento de outras ideias cuja relação com o problema pode ser testada”.

Em seguida foi feita uma discussão com toda a turma do que os alunos acreditam que poderia acontecer se um evento como esse ocorre. Em um primeiro momento, os alunos não expõem suas concepções, porém ao serem indagados pelo professor sobre o que eles haviam discutido em grupos menores, aparecem algumas falas:

Quadro 5 – Problema de relevância social

| Turno | Enunciado |
|-------|---|
| 01 | Professor: Gostaria que vocês falassem o que discutiram em grupos acerca do problema “E se uma bomba atômica caísse na cidade de São Paulo?” |

| | |
|----|--|
| 02 | Aluno Renato: “Iria destruir tudo professor.” |
| 03 | Aluno Carlos: “Vai matar todo mundo.” |
| 04 | Aluno Renato: “Será que isso chega até aqui professor?” |
| 05 | Aluna Camila: “A explosão não.” |
| 06 | Professor: “Mas alguém fez diferente?” |
| 07 | Aluna Fabiola: “fizemos igual” |

Fonte: do autor.

Com a pergunta do aluno Renato (Turno 04), os outros alunos começam a expressar suas opiniões. Nesse primeiro momento todos relacionavam a explosão da bomba atômica apenas à destruição e não havia ainda nenhuma menção às possíveis implicações sociais desse acontecimento. O que podemos inferir é que os estudantes estão expressando as impressões de senso comum desse evento, em outras palavras, o discurso dos alunos está impregnado das impressões que trazem de filmes que já viram, em que só é enfatizada a destruição provocada pela bomba. Como o problema inicial foi proposto pelo professor, cabendo ao aluno analisá-lo e tirar suas conclusões, podemos, segundo Tamir (1990) classificá-lo como de nível 2, como descrito no Quadro 2.2.

Outro dado importante acerca desse primeiro momento foi extraído do diário de campo do professor:

Nesse início da aula eu estava bem nervoso, por essa razão, poderia ter feito melhor, ou seja, eu interferi muito nas falas dos alunos e a todo momento interrompia os alunos, mesmo assim, pude observar que o tema chamou a atenção a ponto de, apesar da minha intervenção de forma negativa para a proposta do trabalho, ter havido uma discussão por parte de alguns alunos.

Em relação às discussões que tivemos antes da exibição do vídeo, em nenhum momento os alunos relacionavam os efeitos da bomba atômica a alguma energia ou radiação, e sim à destruição que a bomba trouxe. O que pude perceber é que estão na mente do aluno as impressões trazidas pela mídia (filmes, documentários, entre outros) acerca da bomba, sem a preocupação em saber como a bomba funciona ou que conhecimento científico proporcionou sua construção (Diário de campo, 09/11/2016).

Podemos perceber aqui as apreensões de um professor que começa a questionar a própria prática e a refletir sobre os seus modos de mediação. A tensão entre os objetivos propostos para a sequência didática e os interesses dos alunos no primeiro

momento se mostraram um tanto conflitantes, gerando tensão em face das expectativas do professor. Os estudantes pareciam estar mais interessados em discutir os efeitos da bomba e não o conhecimento científico e tecnológico que possibilitou a sua construção. Esse fato pode ter sido induzido pela forma como o problema foi proposto para o aluno. Na problematização inicial os alunos deveriam discutir o que poderia acontecer caso uma bomba atômica viesse a cair na cidade de São Paulo. Em nenhum momento foi pedido a eles que argumentassem sobre as consequências políticas e sociais desse evento. Contudo, havia por parte do professor a intenção de observar se esses aspectos apareceriam já nesse momento. Podemos perceber, contudo, que o tema chama a atenção e gera uma discussão por parte dos estudantes. Esta pode ser uma forma do professor fazer o aluno refletir e ter uma postura crítica diante do problema. Apesar de o assunto ser instigante, no entanto é pouco conhecido pelos estudantes, o que pode ser evidenciado por suas falas. O aluno Renato (Turno 02) fala apenas que haverá uma destruição, o aluno Carlos (Turno 03) já menciona as vítimas geradas pela explosão.

Nos argumentos dos alunos ainda prevalecem ideias de senso comum, ou seja, que a bomba causa destruição, que se detonada pode matar muitos, apesar de não saberem ao certo qual o grau dessa destruição. Isso pode ser observado na fala do Aluno Renato (Turno 04) ao perguntar se a destruição pode chegar até a região onde ele mora. Os comentários dos outros alunos foram no sentido de concordar com os quatro alunos, cujas falas foram transcritas aqui. Ou seja, todos concordavam que a bomba causaria uma enorme destruição sem relacioná-la aos conhecimentos científicos (energia de repouso) nem à tecnologia envolvida na arma ou mesmo nas consequências sociais decorrentes desse evento.

Ao final dessa discussão, houve um momento em que foi exibido o vídeo intitulado “E se uma bomba nuclear caísse em São Paulo?”. Nesse instante, prosseguimos na etapa de levantamento de hipóteses pelos grupos. Os estudantes puderam observar se as hipóteses levantadas por eles poderiam ou não estar corretas.

Após a exibição do vídeo, os alunos retomaram a discussão feita antes do vídeo a fim de confrontarem as ideias prévias com as ideias suscitadas pela pelo conteúdo do vídeo. Eles deveriam explicitar as ideias que mais lhes chamaram a atenção.

Quadro 6 – Sistematização dos conhecimentos

| Turno | Enunciado |
|--------------|--|
| 08 | Professor: “O que chamou a atenção de vocês nesse vídeo?” |
| 09 | Aluno Carlos: “O negócio da radiação que pode causar câncer.” |
| 10 | Professor: “Mas alguém? Além da radiação o que vocês observaram?” |
| 11 | Aluno Chico: “Iria desestabilizar o país como um todo.” |
| 12 | Professor: “Desestabilizar em que sentido?” |
| 13 | Aluno Chico: “Economicamente” |
| 14 | Professor: “Levando em consideração isso que ele falou o que vocês acreditam que vai acontecer com o resto do país, por exemplo, com o Acre, ou o Amapá?” |
| 15 | Aluno Renato: “Todos fazem parte da nação, então, todos iriam se mobilizar para tentar ajudar.” |
| 16 | Professor: “Então vocês acreditam que os impactos seriam menores se a bomba caísse em outros estados?” |
| 17 | Aluna Fabiola: “Não, não seria da mesma forma como em São Paulo pelo fato de ter grandes indústrias.” |

Fonte: do autor.

Nas falas acima transcritas, podemos perceber claramente a elaboração de ideias que não tinham aparecido na discussão anterior, como na fala do aluno Carlos (Turno 09) que já relaciona a bomba atômica à radiação e conseqüentemente ao desenvolvimento de câncer. Aqui observamos que o aluno já consegue perceber que as conseqüências vão além de uma explosão e da destruição dela decorrente. Assim como afirma Santos e Mortimer (2002), a ampliação dessa compreensão é importante para que o aluno entenda a implicação social do tema abordado e possa com isso, desenvolver um pensamento crítico acerca do desenvolvimento do conhecimento científico. Já o aluno Chico (Turnos 11 e 13) propôs uma análise do ponto de vista econômico ao dizer que o país como um todo seria afetado

economicamente, assim como o Aluno Renato (Turno 15), que concordou e acrescentou que todos fazem parte da nação e, portanto, todos seriam afetados. Nesse ponto ressaltamos as opiniões da aluna Fabíola (Turnos 17), nas quais vemos uma certa contradição a respeito dos impactos da bomba, caso caísse em outros estados, o que mostra que é um problema controverso, que gera opiniões diferentes a seu respeito.

Nesse trecho podemos inferir que os estudantes estão começando a atribuir significado aos processos nucleares, embora ainda distantes da explicação cientificamente aceita, não estabelecendo nenhuma relação entre esses processos nucleares, o desenvolvimento tecnológico e sua aplicação na sociedade. Ainda que não tenha sido feita nenhuma referência à equação, observa-se que os alunos já mencionam termos como “radiação” e suas consequências como o câncer.

Para buscar indícios do desenvolvimento do conceito de energia de repouso, utilizaremos a metodologia de categorização dos dados proposta por Trazzi e Oliveira (2016), que descreve as seguintes categorias de enunciados: “de alto nível de generalização e integração conceitual, de nível intermediário de generalização e integração conceitual e de baixo nível de generalização e integração conceitual”. (TRAZZI; OLIVEIRA, 2016, p. 98).

Quadro 7 – Categoria das análises das respostas dos alunos

| |
|--|
| <p>i) Enunciado com alto nível de generalização e integração conceitual: Podemos entender que enunciados com alto nível de generalização e integração conceitual são aqueles em que encontramos nos argumentos dos alunos o entendimento da equação $E=mc^2$ em direção ao significado cientificamente aceito. Ademais, há a relação desta equação com os processos nucleares, suas aplicações no desenvolvimento tecnológico e as consequências desse desenvolvimento para a sociedade.</p> |
| <p>ii) Enunciado com nível intermediário de generalização e integração conceitual: Podemos entender que enunciados com nível intermediário de generalização e integração conceitual são aqueles em que os alunos mencionam a equação $E=mc^2$, compreendem que se trata de uma equação relacionada aos estudos da Física, porém, ainda não compreendem seu significado científico. Ademais, os estudantes não conseguem relacionar a equação com os processos nucleares, nem às suas aplicações tecnológicas e consequências para a sociedade. Contudo, já começam a apropriar alguns termos científicos aos seus argumentos, embora ainda prevaleçam as explicações do senso comum.</p> |
| <p>iii) Enunciados com baixo nível de generalização e integração conceitual: Podemos entender que enunciados com nível baixo de generalização e integração conceitual podem ser encontrados em argumentos dos alunos em que a equação</p> |

$E=mc^2$ não é mencionada para explicar os processos nucleares. O significado que os alunos atribuem aos processos nucleares baseiam-se no senso comum e estão distantes da explicação cientificamente aceita. Além disso, neste nível, os estudantes não conseguem estabelecer relação entre os processos nucleares, o desenvolvimento tecnológico e sua aplicação na sociedade.

Fonte: Trazzi e Oliveira (2016, p. 89-90).

O conceito de generalização e integração conceitual, discutido por Trazzi e Oliveira (2016) a partir das contribuições de Vygotsky, nos diz que o processo de desenvolvimento de um conceito não está relacionado apenas ao momento de aprendizagem, mas que se inicia nesse momento e se estende por um período e que vai se desenvolvendo num processo contínuo. Além disso, Vygotsky (2009) argumenta também que nesse processo de desenvolvimento conceitual, os conceitos espontâneos, que são aquelas concepções que o aluno elabora com base em suas vivências, abrem o caminho para o desenvolvimento dos conceitos científicos, tratando-se, portanto, de diferentes momentos do mesmo processo de formação de conceitos. Então, quando propomos níveis de generalização e de integração conceitual estamos buscando explicar o processo através do qual o estudante se apropria dos conceitos. Para Vygotsky (2009), o conceito em si é uma generalização, em um processo que resulta na integração de outros conceitos, construído na interação entre os estudantes e o professor, com o uso de ferramentas culturais dentro de um sistema de conceitos.

Dando prosseguimento ao processo de desenvolvimento conceitual, temos abaixo outro trecho importante, onde vemos algumas ideias acerca do conceito de Força que os alunos trazem, nesse caso relacionada à energia. Como o objetivo desse trabalho focaliza a energia de repouso, a compreensão do conceito de força mostrou-se necessária para evitar entendimentos equivocados por parte dos estudantes no que concerne ao conceito de energia.

Quadro 8 – Transcrição da fala dos Alunos: confusão entre os conceitos de força e energia

| Turno | Enunciado |
|-------|---|
| 18 | Aluno Renato: “O estrago da bomba é de quantos quilômetros? Em relação ao local onde a bomba caiu? Quantos quilômetros ela pode destruir?” |
| 19 | Professor: “Isso é uma boa pergunta. Nós vimos que o vídeo mostrou um epicentro onde o estrago é maior. O que acontece |

| | |
|----|--|
| | quando nos afastamos do epicentro?” |
| 20 | Aluna Karla: “Vai perdendo a...” |
| 21 | Aluna Fabiola: “A força” |
| 22 | Aluna Camila: “Vai perdendo a força, professor” |

Fonte: do autor.

Para analisar melhor esse trecho, lancei mão do levantamento das dificuldades que os estudantes apresentam sobre energia feito por Pozo e Crespo (2009) que é apresentado no quadro 9.

Quadro 9 – Resumo das ideias e dificuldade sobre energia

| DIFICULDADES | IDEIAS OBSERVADAS |
|--|---|
| Utilização do conceito de energia | O termo é muito pouco utilizado de maneira espontânea nas explicações e, quando utilizado, é de modo pouco consistente, acompanhado de ideias errôneas relacionadas às situações estudadas e ao contexto em que a pergunta foi feita. |
| Associação de energia com seres vivos e o movimento | Os alunos tendem a considerar a energia como algo inerente aos seres vivos, uma propriedade que os caracteriza e os diferencia dos objetos inanimados, que não teriam energia. Seria algo necessário para a vida e diretamente relacionada à atividade humana. Associação entre energia e a atividade ou o movimento. Por exemplo, um carro em movimento tem sempre mais energia que um carro parado. |
| Indiferenciação entre conceitos como energia e força | Muitos alunos utilizam de maneira indiferenciada os conceitos de força e energia, como se fossem sinônimos, inclusive após receberem instruções específicas. |
| Noção de energia | A energia é interpretada como um tipo de combustível que |

| | |
|--|---|
| como um tipo de combustível que pode se gastar | ajuda a tornar nossa vida mais confortável, que pode ser armazenada nos aparelhos ou nos seres vivos, e que se gasta com o uso e o transcorrer do tempo. É uma visão material de energia, segundo a qual os aparelhos ou as pessoas são vistos como armazenadores. A energia será algo que pode se gastar ou, inclusive, se recarregar. |
| Utilização do termo “produção” e “consumo” | É comum a utilização errônea do termo “produção” e “consumo” que são utilizados como sinônimos de criação e desaparecimento de energia. |

Fonte: Pozo e Crespo (2009, p. 198).

Podemos observar que os alunos estão relacionando o conceito de força ao de energia e empregando-os como sinônimos. Isso se evidencia quando a aluna Fabíola (Turno 21) conclui que a força liberada na explosão diminuiria com a distância. Percebe-se que a esta altura os alunos já começam a inferir que a energia se dissipa na medida em que aumenta a distância em relação ao epicentro o que nos mostra uma reflexão mais elaborada em relação aos argumentos desenvolvidos nos Turnos 02 ao 07.

Na transcrição abaixo, podemos ver como esse conceito vai evoluindo com a mediação do professor.

Quadro 10 – Transcrição da fala dos Alunos: Sistematização dos conhecimentos

| Turno | Enunciados |
|--------------|--|
| 23 | Professor: “Por que vocês acham que vai perdendo a força?” |
| 24 | Aluna Fabíola: “Já que vai se afastando, vai meio que dissolvendo, vai gradativamente...” |
| 25 | Aluna Karla: “Perdendo a força” |
| 26 | Aluna Fabíola: “Perdendo a força não, é um espaço maior que ela tem que tomar, então ela vai não diminuindo, mas ficar em um espaço maior.” |
| 27 | Professor: “E quando ela se espalha por um espaço maior o que acontece?” |

| | |
|----|---|
| 28 | Aluno Renato: “A energia diminui.” |
|----|---|

Fonte: do autor.

Aos poucos a Aluna Fabíola (Turno 26) já consegue perceber que há uma diferença entre o conceito de força e de energia, diferente da Aluna Karla (Turno 25) que continua com a concepção de que energia e força são sinônimos. Fabíola, por sua vez, começa a argumentar que a “força” não estaria diminuindo, mas sim se espalhando no espaço, na medida em que se distanciava do epicentro. Embora continue empregando erroneamente o termo “força” demonstrando ter ainda uma ideia pouco consistente da noção de energia, Fabíola começa a dar indícios de uma aproximação gradativa com o conceito.

O aluno Renato, que havia feita a pergunta que suscitou essa discussão (Turno 18) conseguiu compreender que estávamos tratando de energia e não de força. Isso se expressa em sua resposta à indagação do professor: “E quando ela se espalha por um espaço maior o que acontece?”. O aluno Renato responde: “A energia diminui” (Turno 28), demonstrando que ele começa a perceber a diferença entre força e energia. Observando o quadro 9, percebemos que o conceito de força e de energia pode gerar algumas dificuldades de entendimento e que essa dificuldade pode persistir mesmo com a instrução escolar.

A fim de buscar uma aproximação mais consistente entre a energia de repouso e a noção de energia que os alunos estão começando a elaborar o professor volta a problematizar, fazendo algumas indagações.

Quadro 11 – Transcrição da fala dos Alunos: Levantamento de hipóteses

| Turno | Enunciado |
|-------|---|
| 29 | Professor: “Vocês podem me dizer que tipo de energia é essa? Lembrem quais os tipos de energia que vocês viram no primeiro ano?” |
| 30 | Aluna Karla: “Cinética” |
| 31 | Professor: “O que mais?” |
| 32 | Aluna Fabiola: “Eólica” |

| | |
|----|--|
| 33 | Professor: “Aqui no segundo ano nós estudamos que tipo de energia?” |
| 34 | Aluno Caio: “Térmica” |
| 35 | Professor: “Nesse caso que tipo de energia temos?” |
| 36 | Aluna Karla: “Radiação” |
| 37 | Professor: “Mas essa radiação é produzida onde?” |
| 38 | Aluno Caio: “Na Energia Nuclear.” |
| 39 | Professor: “Mas o que é a Energia Nuclear?” |

Fonte: do autor.

Nesse momento da aula o Aluno Renato pegou o celular e pesquisou o conceito de energia nuclear, espontaneamente, os outros alunos riram, porém, interpretei essa atitude como uma demonstração de que o assunto fez sentido para o aluno e suscitou interesse a tal ponto que ele não pôde esperar pelo momento da sistematização da discussão.

Quadro 12 – Transcrição da fala do Aluno: Explicação do conceito de energia nuclear

| Turno | Enunciado |
|--------------|---|
| 40 | Aluno Renato: “Professor, é a energia liberada em uma reação nuclear, ou seja, em processos de transformação de núcleos atômicos.” |

Fonte: do autor.

Nesse instante o Aluno Renato (Turno 40) começa a relacionar os processos nucleares com a liberação de energia o que pode ser interpretado como um avanço no sentido de se aproximar ainda mais do nível intermediário de generalização e integração conceitual, ou seja, o aluno inicia o processo de aprendizagem se apropriando de termos científicos, que agora estão sendo usados corretamente. Isso não evidencia que o aluno formou totalmente a ideia desse conceito, mas que o processo de aprendizagem já foi iniciado, não apenas para esse aluno, mas para os demais, conforme observamos nas falas mais adiante.

Quadro 13 – Transcrição da fala dos Alunos: Levantamento de hipóteses

| Turno | Enunciado |
|--------------|---|
| 41 | Professor: “Então, pensando assim, eu consigo liberar a energia de qualquer átomo de tal forma que vai destruir, por exemplo, Porto Canoa? Vocês entenderam a pergunta?” |
| 42 | Aluna Fabiola: “Sim.” |
| 43 | Aluno Renato: “Como se eu pegasse um prego com pólvora na ponta e batesse?” |
| 44 | Professor: “Não, estamos falando do tipo de explosão de uma bomba atômica. Vocês conseguem pensar em outra situação em que é liberada a energia nuclear que o Renato falou a pouco?” |
| 45 | Aluno Caio: “Energia elétrica?” |
| 46 | Professor: “Energia elétrica a partir da energia nuclear? Me dê um exemplo de como podemos fazer isso.” |
| 47 | Aluno Vitor: “Nas usinas nucleares, como em Chernobyl” |

Fonte: do autor.

Os alunos mencionam tipos de energia estabelecendo uma relação clara com situações estudadas, tal como constata Pozo e Crespo (2009), no Quadro 9. Nesse ponto, observamos que os alunos estabelecem uma relação incipiente entre energia nuclear e energia elétrica. Isso é demonstrado quando o Aluno Vitor cita Chernobyl (Turno 47) como uma aplicação tecnológica dos estudos que levaram à construção dos artefatos nucleares, dentre os quais, a bomba atômica.

Após essa discussão foram exibidos dois pequenos vídeos⁴, um sobre os 30 anos de Chernobyl e outro sobre o desastre em Fukushima. Os vídeos não mostram como funciona uma usina nuclear. O seu objetivo é o de fomentar a discussão promovida

⁴ O primeiro vídeo está disponível no link <https://www.youtube.com/watch?v=jsIHCA19kWg> e fala sobre os 30 anos do desastre de Chernobyl e o segundo vídeo está disponível no link <https://www.youtube.com/watch?v=p7izrlfRhBs> e fala sobre o desastre de Fukushima. Durante a apresentação dos vídeos o professor interrompia em momentos que julgava importante a fim de dialogar com os alunos acerca das informações apresentadas.

na etapa de problematização inicial. A respeito deste momento, temos o trecho abaixo do diário de campo do professor que demonstra uma preocupação constante com a avaliação do desenvolvimento da sequência didática, que desde o início pretendia articular a construção de conceitos físicos à compreensão das implicações sociais dos conhecimentos científicos e das aplicações tecnológicas a eles relacionados.

Antes da exibição do vídeo os estudantes já tinham argumentos que indicavam uma preocupação econômica e social. Houve um entendimento da necessidade de consumo de energia e a compreensão dos perigos da utilização da energia nuclear.
(Diário de campo, 22/11/2016).

Com a exibição do vídeo os estudantes passaram a discutir com mais propriedade a necessidade da busca de novas fontes de energia para suprir à demanda crescente de energia no mundo. Veremos isso na evolução das falas mais adiante.

4.2.2 Uma tecnologia relacionada ao tema é analisada

Depois da exibição dos vídeos sobre Chernobyl e Fukushima começamos a investigar o funcionamento de uma bomba atômica e de uma usina nuclear a fim de discutir a relação entre a ciência e a tecnologia no contexto social em questão nessa atividade. Para isso, os alunos reuniram-se em grupos novamente para discutir como eles acreditam que seja o funcionamento de uma bomba atômica e de uma usina nuclear.

Quadro 14 - Orientação para a atividade de levantamento de hipóteses sobre o funcionamento da bomba atômica e da energia nuclear

Professor: “Agora vocês irão se reunir em grupos de 3 a 5 pessoas e vão discutir como funciona uma bomba atômica e uma usina nuclear? Como fazemos para que aquela energia que discutimos na última aula seja liberada?”

Fonte: do autor.

Nesse instante os estudantes discutem entre eles acerca das questões acima.

Quadro 15 – Transcrição da fala dos alunos: Sistematização dos conhecimentos

| Turno | Enunciado |
|--------------|---|
| 48 | Professor: “Gostaria agora que vocês falassem o que discutiram sobre o funcionamento de uma bomba atômica e a usina nuclear. Vocês podem falar à vontade, mas todos os grupos devem falar. Vamos começar pela bomba” |
| 49 | Aluna Fabiola: “É por causa do impacto, professor.” |
| 50 | Professor: “Então a energia é liberada por causa do impacto. Mas impacto de quem com quem?” |
| 51 | Aluno Caio: “Da bomba com o solo.” |
| 52 | Aluna Fabiola: “Não só com o solo....” |
| 53 | Aluno Renato: “Com o ar também.” |
| 54 | Aluno Caio: “A pressão do ar.” |
| 55 | Aluno Vitor: “Professor, assim, essas coisas de química aí que reagem um com outro e deve fazer alguma coisa. Eles devem colocar duas coisas que reagem uma com outra, só que separado, e quando colide no chão elas encostam e aí explode.” |
| 56 | Professor: “Gente, é preciso ter colisão no chão para haver essa explosão?” |
| 57 | Aluno Junior: “Não necessariamente.” |
| 58 | Aluna Fabiola: “Pela pressão no ar mesmo.” |
| 59 | Professor: “E sobre a usina nuclear, o que vocês fizeram?” |

Fonte: do autor.

Observamos que, apesar de termos falado nas últimas aulas em energia nuclear e discutido com os alunos sobre essa forma de energia e sua relação com a bomba atômica, em nenhum momento dessa discussão inicial observamos os alunos falando dessa energia. Os alunos relacionaram a energia liberada com produtos químicos, mas não com o núcleo atômico, explicado no ano letivo anterior, e

relacionaram com algo familiar. Isso sugere que eles não compreenderam ainda o funcionamento de uma bomba atômica e relacionam com algo familiar que é um artefato explosivo a base de pólvora. Isso pode ser visto na fala do aluno Vitor (Turno 55). Isso não quer dizer que o conceito de energia nuclear seja estranho para eles. Contudo ainda não se evidenciou até este momento uma relação clara entre esse conceito e a sua aplicação no mecanismo de ação da bomba nuclear. Como os estudantes estão associando a explosão com alguma reação química, suas explicações estão relacionadas com o impacto da bomba com o solo ou com os efeitos da pressão do ar. Vemos isso na fala do aluno Caio (Turno 51) ou da aluna Fabíola (Turno 58). Quando questionados sobre o funcionamento da usina nuclear os estudantes ficaram em silêncio no início e depois responderam que não sabiam. Podemos destacar que seria muito surpreendente que os alunos soubessem como funciona uma bomba atômica, tendo em vista que o que é abordado nos meios de comunicação são os estragos que esses artefatos podem causar e não seu funcionamento. Esta atividade teve, portanto, o objetivo de mobilizar a curiosidade e o interesse dos alunos, a fim de que pudessem confrontar suas hipóteses com as explicações do vídeo informativo que seria exibido na atividade seguinte.

A partir desse momento é apresentado ao aluno um vídeo em forma de animação⁵ sobre o funcionamento de uma bomba atômica. Nessa animação o professor dialoga com os alunos procurando estabelecer uma relação com o que eles falaram anteriormente. A seguir é apresentado outro vídeo⁶ sobre o funcionamento de uma usina nuclear. Dando prosseguimento ao diálogo com os alunos, o professor enfatiza a tecnologia empregada em uma usina nuclear e como a energia nuclear se transforma em energia elétrica. Para efeito de análise temos o trecho do diário de campo do professor abaixo:

Depois das discussões das aulas anteriores eu acreditei que os alunos poderiam indicar alguma relação entre a bomba atômica e a energia nuclear, porém, o que prevaleceu foi o senso comum. No caso da usina nuclear eles não conseguiram relacionar com nada. Como eles foram meus alunos ano passado e eu sei que tivemos uma aula em que discutimos o funcionamento de uma usina hidrelétrica, achei que eles poderiam buscar uma relação como esse tipo de usina, porém, isso também não aconteceu. (Diário de campo, 24/11/2016).

⁵ A animação está disponível no link <https://www.youtube.com/watch?v=jWUuKQGei2k>.

⁶ O vídeo está disponível no link <https://www.youtube.com/watch?v=nCmxLRUaR4w&t=28s>

O diário do professor mais uma vez retrata as tensões e os conflitos entre as expectativas do professor e os resultados efetivamente obtidos numa intervenção pedagógica. A ideia recorrente entre os professores de que “matéria dada é matéria aprendida” começa a ser desconstruída para dar lugar à constatação de que o processo de aprendizagem não é mecânico. Ele requer reflexão e a reflexão requer tempo. O professor constata que os estudantes não sabiam, até essa aula, como funciona uma bomba atômica e muito menos uma usina nuclear, tanto que ao serem questionados, buscaram explicações nas suas experiências concretas, mais familiares para eles, explicações essas impregnadas das imagens e ideias veiculadas pelos meios de comunicação.

4.2.3 A tecnologia é estudada em função dos conteúdos

Nessa parte da Sequência buscamos relacionar tudo o que foi trabalhado a partir da leitura de dois textos. Em um deles temos a carta que Albert Einstein escreveu para o presidente de Estados Unidos Franklin Delano Roosevelt falando sobre a possibilidade da construção de um aparato bélico com um grande poder de destruição e chamando a atenção para sua imediata ação no sentido de mobilizar o governo acerca do controle da matéria prima para a construção desse aparato. O segundo texto vem trazendo mais dados acerca da carta com o acréscimo de suas trágicas consequências: as duas bombas lançadas em Hiroshima e Nagasaki. Ao final da leitura foi solicitado que os alunos fizessem uma breve discussão e em seguida respondessem algumas questões em grupos menores. As questões referiam-se aos textos e retomavam o problema inicial sobre o lançamento hipotético de uma bomba atômica na cidade de São Paulo, agora com o entendimento correto do funcionamento de uma bomba atômica e de sua relação com o trabalho de Albert Einstein.

Quadro 16 – Sistematização dos conhecimentos

| Turno | Enunciado |
|-------|---|
| 60 | Professor: “A ideia agora é que vocês possam ter a |

| | |
|----|--|
| | oportunidade de falar o que os grupos de vocês acreditaram que é correto em cada uma dessas questões e confrontar com aquilo que os colegas de vocês colocaram. Pode ser que concorde ou pode ser que discorde, entenderam?” |
| 61 | Alunos: “Sim.” |
| 62 | Professor: “Vamos à questão: Com base nas conversas de vocês e no vídeo “E se uma bomba atômica caísse na cidade de São Paulo?” descreva as possíveis consequências desse acontecimento em São Paulo e no resto do Brasil como, por exemplo, na região onde você mora, do ponto de vista físico, social e político. Como vocês responderam? Um grupo de cada vez, por favor.” |
| 63 | Aluna Karla: “No aspecto econômico todos os estados seriam afetados, não só os estados do Brasil como os países que têm ligação com o Brasil tipo o Mercosul, tipo, os países que fazem parte também teriam que ajudar a reconstruir aquilo que foi destruído. No aspecto político, nossas condições já não são muito boas é lógico que teria uma queda muito grande, se agora estão querendo cortar grande parte da verba que é mandada para a sociedade eles iriam tirar todas as verbas praticamente, para reconstruir a cidade. Como São Paulo está perto daqui afetaria sim, mas, não como o Rio de Janeiro, que é mais próximo, mas afetaria sim, por exemplo, a radiação poderia chegar aqui. Não com a mesma intensidade como estava lá, porém, vai chegar aqui e devastar o que for possível.” |
| 64 | Professor: “Mas alguém gente? Alguém concorda ou discorda?” |
| 65 | Aluno Caio: “Concordo.” |
| 66 | Professor: “Todos fizeram a mesma coisa. Ninguém fez diferente?” |
| 67 | Aluna Caroline: “Nós falamos mais da radiação.” |
| 68 | Professor: “O que essa radiação afetaria? Afinal estamos a uma certa distância” |
| 69 | Aluna Karla: “Acredito que aqueles que sobrevivessem sofreriam mudanças em seu DNA, então os filhos deles poderiam sofrer mutações.” |

| | |
|----|--|
| 70 | Aluna Caroline: “Fora as doenças como o câncer.” |
| 71 | Aluno Junior: “Eles teriam uma expectativa de vida muito menor do que uma pessoa normal.” |
| 72 | Professor: “Eu pedi que vocês discutissem o que os estudos que levaram a construção da bomba atômica trouxeram de bom e de ruim para nossa vida hoje. Observem que não estou falando no que a bomba atômica trouxe de bom ou de ruim, mas dos estudos científicos que possibilitaram a construção da bomba atômica. O que vocês colocaram?” |
| 73 | Aluna Caroline: “O gasto de dinheiro pode ser visto como ponto negativo?” |
| 74 | Professor: “Pode. O que vocês acham?” |
| 75 | Aluna Karla: “Mas, se houve investimento e teve mais lucro do que gasto não foi um ponto negativo.” |
| 76 | Professor: “Mas, a questão aqui é o que os estudos, quer dizer, os conhecimentos científicos que levaram à construção da bomba atômica trouxeram de ruim ou de bom. Lembrando novamente, não estamos falando aqui da bomba atômica. A bomba atômica foi um aparato tecnológico desenvolvido a partir do conhecimento científico. Entenderam?” |
| 77 | Aluna Ana: “O conhecimento que é desenvolvido nesses estudos e podem melhorar nossas vidas. Isso foi o que vimos de bom. Como foi dito, a destruição foi ruim” |
| 78 | Professor: “Então o que vocês estão dizendo é que adquirir mais conhecimento foi algo positivo, aumentar o leque dos conhecimentos científicos. É isso?” |
| 79 | Aluna Ana: “Exatamente.” |
| 80 | Aluna Fabiola: “Professor, eu acredito que a tecnologia avança, isso é um ponto muito positivo.” |
| 81 | Aluna Camila: “O lado positivo também, é a descoberta de uma nova fonte de energia que pode, se for estudada com cuidado, ser usada para substituir as hidrelétricas, por exemplo.” |
| 82 | Aluno Fabio: “Ajuda na energia nuclear mas prejudica na |

| | |
|----|--|
| | radiação.” |
| 83 | Aluno Caio: “Em Chernobyl eles foram fazer um teste e explodiu.” |
| 84 | Aluna Camila: “Mas ali foi erro deles, se eles não tivessem errado não teria explodido.” |
| 85 | Aluno Robson: “O ponto negativo é que nas mãos erradas pode causar muita destruição.” |
| 86 | Professor: “Então, pensando assim, o objetivo no início do estudo não era a bomba em si. A bomba foi uma consequência do estudo.” |
| 87 | Aluna Camila: “Não era algo para a guerra, mas acabou sendo usado.” |

Fonte: do autor.

Nessa transcrição observamos que as características do modelo de ensino baseado no enfoque CTS ficaram bem evidentes principalmente no que diz respeito ao posicionamento crítico dos estudantes frente ao desenvolvimento científico, apesar dos estudantes ainda trazerem muitas concepções construídas a partir de informações veiculadas pela mídia, percebemos que suas ideias evoluíram no sentido de um posicionamento mais crítico. A resposta da aluna Karla (Turno 63) demonstra como seu grupo analisou o evento da bomba caindo na cidade de São Paulo, não como um evento isolado, mas que poderia trazer consequências não apenas para o Brasil, mas também para o Mercosul, o que traz uma dimensão política e conseqüentemente, social. Nessa fala (Turno 63), o posicionamento crítico da estudante começa a ser desenvolvido ao perceber que existe uma consequência que vai além da destruição causada pela explosão. Ela passa a perceber a crise política, econômica e social que a suposta catástrofe provocaria. Esse processo de desenvolvimento conceitual, segundo Vygotsky (2009), tem início com o aprendizado e estende-se até mesmo para fora do ambiente escolar, abrangendo não apenas o caso específico da bomba atômica, mas aplicando-se, de forma generalizada, a outras tecnologias, cujo uso requer os mesmos critérios éticos.

Podemos perceber que essa discussão começou a adquirir moldes CTS, isto é, passou a incorporar mais claramente a relação entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade. Conforme mostra o Quadro 3, percebe-se que os alunos já reconhecem o efeito da tecnologia sobre a sociedade, ou seja, a relação que se estabelece entre o desenvolvimento tecnológico (bomba atômica) e as suas consequências na sociedade, dentre as quais o aumento da ocorrência de casos de câncer (Turnos 67, 69, 70 e 71).

Outro ponto que podemos destacar nessa etapa é a questão levantada pela aluna Caroline (Turno 73) que é a questão financeira que o desenvolvimento tecnológico pode trazer. E nesse ponto percebemos uma reflexão interessante da aluna Karla (Turno 75) que está relacionada com o fato das pretensões de lucro muitas vezes justificarem e motivarem o desenvolvimento tecnológico. A aluna não questionou se o desenvolvimento tecnológico era justificável do ponto de vista ético, mas se o lucro poderia superar as despesas com as consequências nocivas desse desenvolvimento, o que poderia demonstrar que houve uma reflexão, o que não que dizer que essa não sofra modificações no futuro. É nesse ponto que a influência de colegas e do professor se torna importante, no sentido de introduzir o debate ético nessa discussão que envolve os interesses econômicos relacionados com o desenvolvimento da ciência e da tecnologia. Outros alunos, como a aluna Fabíola (Turno 80), destacam que o avanço da tecnologia é sempre positivo, levando-nos a presumir que ela não tenha levado em conta a possibilidade do uso prejudicial dos artefatos tecnológicos.

Já a aluna Camila (Turno 81) faz uma observação acerca da descoberta de novas fontes de energia chamando a atenção para o fato de ser desenvolvida “com cuidado” o que demonstra uma preocupação com os perigos que esse desenvolvimento pode trazer. Percebemos então um posicionamento mais crítico por parte desses alunos, que é um dos objetivos do enfoque CTS. A partir desse posicionamento mais crítico o estudante pode ser capaz de opinar a respeito do desenvolvimento da ciência e da tecnologia que afetem direta ou indiretamente o contexto social em que está inserido. Se compararmos os Turnos 02 ao 07 com os Turnos 75, 80 e 81, percebemos que os estudantes estão tendo um posicionamento mais crítico em relação às consequências do desenvolvimento da ciência e da tecnologia. Ainda que nesse caso estivéssemos tratando da bomba atômica e do

seu imenso poder destrutivo, espera-se que esse olhar crítico se amplie, abrangendo outras situações que digam respeito à ciência e à tecnologia.

Podemos perceber também outro aspecto do enfoque CTS que é o efeito da sociedade sobre a ciência (Quadro 3). A aluna Ana (Turno 77) argumenta que percebe que o desenvolvimento científico pode impactar a sociedade de forma positiva ou negativa, dependendo do modo como for apropriado e utilizado.

Outro aspecto CTS observado no trecho da fala da aluna Camila (Turno 84) e aluno Robson (Turno 85) é o questionamento da suposta neutralidade do desenvolvimento científico e tecnológico. Ou seja, quando eles falam que nas mãos erradas o conhecimento científico e tecnológico pode trazer malefícios, atribuem o catastrófico episódio de Chernobyl a uma falha humana, o que demonstra que os alunos percebem que o desenvolvimento científico não é o causador desses desastres, mas sim o uso que se faz dele.

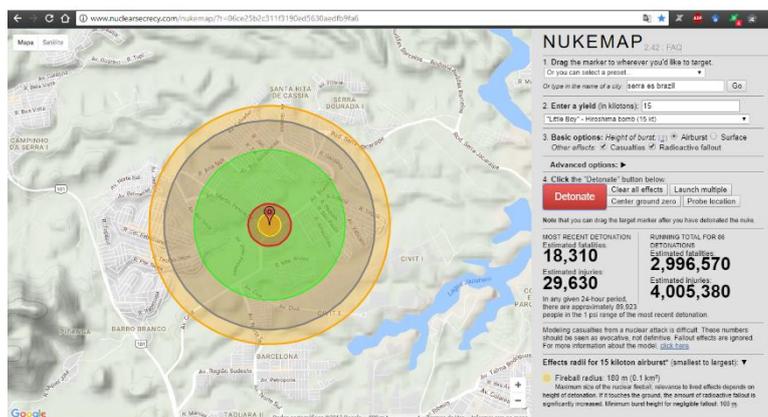
4.2.4 Um conteúdo científico é trabalhado

Após essa aula os alunos receberam um texto intitulado “Discutindo a equação $E=mc^2$ ”. Nesse texto os alunos começaram a relacionar gradativamente o que discutimos até o momento sobre a bomba atômica e a energia nuclear com a equação. Na ocasião foi apresentado também um simulador computacional disponível no site <http://www.nuclearsecrecy.com> para discutir o alcance de uma bomba atômica. Esse simulador apresenta uma possível detonação de um artefato nuclear com suas consequências, incluindo o número provável de mortos.

Com esse simulador foi possível retomar a discussão inicial e com isso explorar as dimensões CTS na construção do conhecimento científico desenvolvendo habilidades e valores necessários para que possam tomar decisões responsáveis em assuntos relacionados à ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões (SANTOS; MORTIMER, 2002).

Abaixo temos o diário de campo do professor referente a discussão desse simulador.

Figura 4 - Print do simulador utilizado na aula



Fonte: do autor.

Os estudantes ficaram a princípio surpresos com esse simulador, e puderam ter uma ideia do poder de destruição de uma bomba atômica. Foi feito várias simulações utilizando desde bombas menos potentes (20t) passando pela little boy (bomba que destruiu Hiroshima, 15kt) até a mais potente (500 kt). Com essas simulações pude notar que os discursos dos alunos acerca da utilização dos conhecimentos científicos se tornaram mais conscientes e críticos pois puderam observar as consequências da utilização inadequada dos conhecimentos científicos (Diário de campo, 29/11/2016).

Após a apresentação do simulador os estudantes receberam um texto⁷ onde leram e responderam a algumas questões a fim de levantar as concepções dos estudantes acerca da equação. Depois desse momento os estudantes socializaram suas respostas com o grupo maior.

Quadro 17 – Transcrição das falas dos Alunos: Levantamento das hipóteses

| Turno | Enunciado |
|-------|--|
| 88 | Professor: “Você leram os textos sobre a equação $E=mc^2$. Gostaria de saber se vocês já tinham visto essa equação antes dessa aula ou essa é a primeira vez que vocês estão vendo.” |

⁷ OSTERMANN, Fernanda; RICCI, Trieste dos Santos Freire. Relatividade restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de física. Cad. Brás. Ens. Fís., Porto Alegre - RS, v. 21, n. 1: p. 83-102, abr. 2004.

| | |
|-----|---|
| 89 | Aluno Victor: “Nunca tinha visto.” |
| 90 | Aluno Renato: “Eu já vi.” |
| 91 | Professor: “Onde você viu?” |
| 92 | Aluno Renato: “Em um livro do meu primo.” |
| 93 | Aluna Fabiola: “Eu vi na internet.” |
| 94 | Professor: “Vocês já discutiram com base no que leram e agora eu quero que cada grupo fale o que escreveu em suas respostas. Eu não quero que vocês se preocupem se suas respostas estão certas ou erradas. Então vamos à primeira questão. O que vocês entendem da equação $E=mc^2$, e o significado de cada termo?” |
| 95 | Aluno Caio: “Transforma massa em energia e vice-versa.” |
| 96 | Aluna Fabiola: “Representa que qualquer tipo de massa vai ter uma energia associada, independente da quantidade de massa. A letra “E” significa equivalência, a letra “m” significa a massa de um corpo e a letra “c” significa a velocidade da luz no vácuo.” |
| 97 | Aluno Tiago: “O que transforma a massa de um objeto em energia.” |
| 98 | Aluno Pedro: “Eu concordo, só que a letra “E” eu coloquei como energia.” |
| 99 | Aluna Karla: “É uma equação que determina uma relação da transformação da massa em objeto de energia e energia em massa.” |
| 100 | Professor: “Qual é a relação da velocidade da luz nessa equação?” |
| 101 | Professor: “Vocês disseram que essa equação determina a transformação de massa em energia e vice-versa. Porém, por que não retiramos essa energia de qualquer material?” |
| 102 | Aluna Karla: “Tem alguns tipos de energia que conhecemos e que podemos acessar mas tem outros tipos de energia que nós não sabemos como tirar de lá. Assim, todo corpo tem energia, seria algum tipo de energia diferente que não sabemos acessar.” |

Fonte: do autor.

O professor inicia a discussão perguntando sobre a equação e observa que poucos alunos a conheciam. A falta de familiaridade dos estudantes com a equação pôde ser evidenciada na fala dos alunos Vitor (Turno 89), na fala do aluno Renato (Turno 90) e na da aluna Fabíola (Turno 93). Percebemos que, dessa turma, apenas dois alunos manifestaram ter visto a equação em algum momento (Turnos 89, 92 e 93). Esse fato nos chamou a atenção pois essa é uma das equações mais importantes da ciência e que proporcionou uma mudança significativa dos paradigmas científicos que se referem aos conceitos de energia e massa, logo, poderíamos inferir que os estudantes teriam algum conhecimento a respeito. Constatamos assim que neste momento os argumentos dos alunos enquadravam-se no nível mais baixo de generalização e integração conceitual pois o conceito ainda precisava ser desenvolvido. Por exemplo, quando a aluna Fabíola (Turno 96) apresenta a sua compreensão acerca da representação matemática da equação, ela atribui ao termo “E” o significado de “equivalência” e o aluno Pedro (Turno 98) define como energia. Isso demonstra que apesar da Aluna Fabíola ter tido contato anterior com a equação isso não garantiu que ela tivesse entendimento do seu significado. As falas dos estudantes forneceram indícios que nos levaram a inferir a existência de uma concepção subjacente, a de que seria possível a obtenção e a consequente transformação de energia a partir da massa de qualquer material, o que não é correto do ponto de vista científico.

A partir da resposta dos alunos retomei o início da sequência, recordando os vídeos sobre o funcionamento da bomba atômica e da usina nuclear buscando a relação entre os acontecimentos descritos nos vídeos e a equação $E=mc^2$. O estabelecimento desta relação demandou uma mediação feita a partir da exibição de trechos do vídeo sobre o funcionamento da bomba atômica e a retomada da discussão sobre a equação, enfatizando a questão da energia liberada.

Foi apresentado aos alunos outro texto⁸, agora retirado do livro didático, que foi usado para apresentar a interpretação cientificamente aceita da equação $E=mc^2$. Esse texto foi lido pelos alunos e discutido entre eles com a mediação constante do

⁸ SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. Universo da física. São Paulo: Atual, 2005. p. 463-469.

professor que acompanhou as discussões nos grupos. Em seguida, as respostas dos alunos foram socializadas no grupo. Foi solicitado que eles não abandonassem as respostas anteriores a fim de compará-las com os textos produzidos nessa etapa da discussão.

Dentre as questões propostas selecionei para efeito de análise apenas aquelas que fazem referência ao significado da equação.

A questão número 3 solicitava que os alunos lessem o texto sobre “Conservação e variação proporcional” e, com base nas discussões anteriores explicassem a seguinte afirmação: “A energia pode ser convertida em massa e vice-versa?”.

Quadro 18 – Transcrição da produção escrita da Aluna: Sistematização dos conhecimentos

| Turno | Enunciado |
|-------|---|
| 103 | <p>Aluna Karla: Não há conversão de massa e vice-versa. A massa não é uma “coisa”, e sim uma propriedade, uma medida de inércia. Portanto, não pode ser convertida ou transformada em nada. Quando há conversão algo deve desaparecer para dar lugar a outra coisa, porém, quando fornecemos energia a um corpo, ela não desaparece, continua lá como energia.</p> |

Fonte: do autor.

A resposta da aluna Karla demonstra uma aproximação entre as concepções construídas durante a sequência didática e os conceitos cientificamente aceitos. Este enunciado demonstra um alto nível de integração conceitual, principalmente quando ela entende que para haver conversão de massa em energia algo deve desaparecer. A aluna consegue integrar o conceito que tinha de energia à situação descrita demonstrando que energia não se cria nem se perde. Nas discussões acerca de sua resposta, a aluna demonstrou que antes acreditava que a energia e massa eram iguais e que seria possível transformar qualquer massa em energia ou qualquer energia em massa, em quaisquer circunstâncias. Entretanto, depois da leitura e das discussões em aula, parece ter ampliado a sua compreensão, demonstrando assim maior nível de integração e generalização em relação ao conceito de energia de repouso. Isso pode ser evidenciado se compararmos as falas dessa mesma aluna nos Turnos 99 e 102.

A próxima questão tinha o seguinte enunciado: “Quando dizemos que a energia produz um aumento de massa, podemos afirmar que há conversão de energia em massa? Com base na sua resposta qual o significado da equação $E=mc^2$?

Quadro 19 – Transcrição da produção escrita dos Alunos: Sistematização de conhecimentos

| Turno | Enunciado |
|-------|--|
| 104 | Aluna Karla: Não há conversão de massa em energia. A equação mostra relação entre massa e energia. |
| 105 | Aluna Sílvia: Não podemos afirmar que energia tem massa e massa tem energia. |
| 106 | Aluno Ricardo: Não tem conversão de energia em massa nem de massa em energia. A equação determina a relação entre a massa e a energia. |
| 107 | Aluna Fabíola: Não há conversão nem transformação. A massa não é uma coisa e sim uma propriedade, é uma medida de inércia. Sua relação com a energia é dada pela equação $E=mc^2$. |

Fonte: do autor.

Observamos aqui uma aproximação das ideias dos alunos com os modelos teóricos cientificamente aceitos acerca do significado da equação, conforme podemos perceber na fala da aluna Karla (Turno 104) e na fala da aluna Fabíola (Turno 107). Apesar de tratar-se de um tema complexo, que demandaria muito tempo de discussão para que pudesse ser melhor compreendido pelos alunos, podemos ver nessas falas que houve um avanço significativo no nível de compreensão da equação e que os textos informativos e recursos audiovisuais utilizados tiveram uma contribuição muito expressiva como ferramentas mediacionais. Comparando a fala da aluna Fabíola no Turno 96, quando ela não conhecia os termos da equação com a fala no Turno 107, em que demonstra a compreensão de que a equação é uma relação de energia aproximando-se do conceito científico. Assim, podemos dizer que o processo de integração e generalização conceitual foi se desenvolvendo gradativamente, a ponto de podermos dizer que ela avançou de um nível baixo de integração e generalização para um nível intermediário.

Alguns alunos, apesar da instrução e das discussões continuaram com a concepção de que massa é igual a energia e de que podemos destruir massa para transformar em energia. Podemos observar isso nas respostas para a mesma pergunta transcritas abaixo:

Quadro 20 – Transcrição da transcrição escrita dos Alunos: Sistematização dos conhecimentos

| Turno | Enunciado |
|-------|---|
| 108 | Aluna Beatriz: “Qualquer massa possui energia expressa pela equação $E=mc^2$.” |
| 109 | Aluno Carlos: “Há conversão de massa em energia, porém, não é conversão de energia.” |
| 110 | Aluno Victor: “Existe conversão de energia em massa. A famosa equação determina a relação da transformação de um objeto em energia.” |

Fonte: do autor.

As ideias expressas nessas respostas caracterizam uma discreta, mas significativa evolução conceitual. Reconhecemos que o processo de formação de conceitos requer mais tempo, ainda mais tratando-se de um tema complexo. O fato de os alunos já identificarem a equação, lerem sobre o seu significado não nos permite afirmar que esses alunos avançaram para o nível intermediário de integração e generalização conceitual. Porém, também não podemos situá-los no nível baixo, já que houve um avanço motivado pelo processo de aprendizagem, ainda que em fase inicial, como se pode observar no caso da Aluna Beatriz, que fala que qualquer massa possui energia (Turno 108) ou do aluno Carlos, que afirma que há conservação de massa em energia (Turno 109). Já o aluno Victor (Turno 110) entende que existe a relação entre massa e energia, porém afirma que existe conversão, o que não está representado na equação. Ou seja, observamos o processo de desenvolvimento dos conceitos pode demandar muito mais tempo. A transcrição abaixo do diário de campo do professor referente a essa aula reflete que os alunos se aproximaram dos conceitos cientificamente aceitos.

Pelas respostas dos alunos para as questões do questionário procurei mais informações deles, por essa razão, fiz uma aula onde discutimos as

respostas que encontrei nos questionários. Nessa aula busquei relação entre a equação discutida e a bomba atômica e a energia nuclear. Percebi que de início, os alunos estavam entendendo essa parte da aula desconectada do restante da SEI, porém, na medida em que as discussões foram avançando eles conseguiram perceber essa relação. Observei também que as respostas poderiam ser melhor expressas se tivessem mais tempo. Nessa aula os alunos mostraram que compreenderam que a equação não significa que massa é igual a energia e que não podemos extrair energia de qualquer objeto e conseguiram perceber a relação da energia liberada na Bomba Atômica e na Energia Nuclear com a equação (Diário de campo, 30/11/2016).

4.2.5 Retomada da questão social

Nesta etapa foi proposto que os estudantes produzissem um vídeo sobre o tema bomba atômica e energia nuclear relacionando com a equação $E=mc^2$.

Os vídeos foram diversos, incluindo desde telejornais até palestras. Abaixo segue o print de trechos de alguns vídeos com a transcrição das falas dos alunos. Nesse ponto da análise buscamos, nas falas dos estudantes e nas imagens trazidas por eles nos vídeos, indícios de aproximação dos conceitos sobre energia de repouso expressa na equação $E=mc^2$ e sua relação com aspectos do enfoque CTS, além de informações que indiquem outras dimensões características do ensino por investigação, materializadas no fato dos alunos buscarem de forma autônoma novas informações, além daquelas trabalhadas em sala de aula durante a intervenção.

Figura 5 - Print da produção dos alunos acerca da bomba atômica



Fonte: do autor.

Nesse print de um dos vídeos temos a apresentação de um telejornal em que os estudantes discorrem sobre a bomba atômica. Nessa parte do vídeo as alunas estão explicando a tecnologia da bomba.

Quadro 21 - Transcrição da fala sobre o funcionamento da bomba atômica

Aluna Amanda: A bomba atômica funciona pela fissão nuclear, que é a quebra do núcleo do átomo liberando enorme quantidade de energia. Uma bomba contém três blocos separados de urânio enriquecido, dois detonadores que são duas cargas explosivas e produzem a compactação dos blocos de urânio fazendo com que esses atinjam a massa crítica de urânio para que ocorra a explosão.

Fonte: do autor.

No trecho transcrito acima temos a explicação do funcionamento de uma bomba atômica. Analisando esse trecho tendo como ponto de partida os turnos 02 ao 07 observamos que os estudantes já conseguem compreender a explicação sobre o funcionamento de uma bomba atômica, não como uma explosão a partir do contato com o solo, mas, da liberação da energia a partir de reações com um elemento radioativo que, nesse vídeo foi o urânio 235. Com essa parte do vídeo os alunos percebem que a energia liberada na bomba nuclear não pode ser retirada de qualquer material como foi expresso pelos alunos nos turnos 95 ao turno 101. Isso indica uma evolução significativa na compreensão dos alunos acerca da energia de repouso.

Figura 6 - Print da explicação dos alunos sobre reação em cadeia



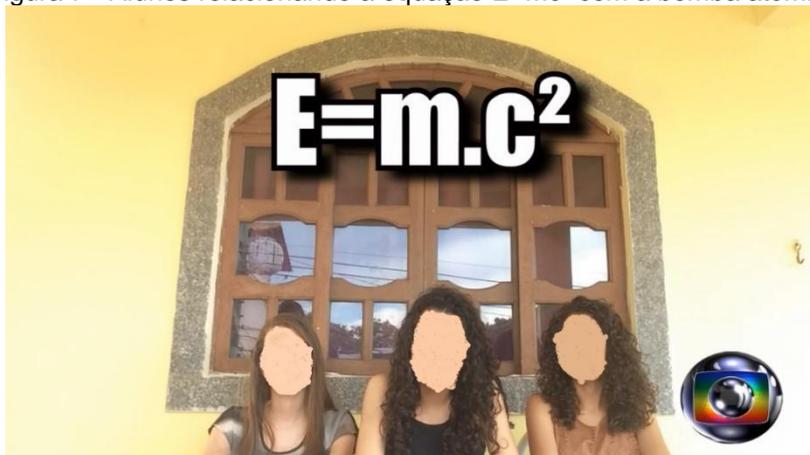
Fonte: do autor.

Quadro 22 - Transcrição da explicação sobre fissão nuclear

Aluna Karla: Na fissão um nêutron atinge um átomo dividindo em dois liberando mais nêutrons que continua dividindo os outros gerando uma reação em cadeia liberando uma enorme quantidade de energia e calor causando assim muita destruição.

Fonte: do autor.

O trecho acima evidencia que o processo de evolução conceitual, que observamos ao longo da sequência, contribuiu para que o aluno ampliasse sua compreensão da energia liberada em uma bomba e seus processos nucleares. Nessa parte do vídeo temos a explicação da reação em cadeia e a liberação de, segundo a aluna, uma quantidade enorme de energia. É importante ressaltar que o conceito de reação em cadeia não foi trabalhado na sequência com os detalhes descrito no vídeo produzido pelos alunos, apenas comentado, já nessa parte do vídeo os alunos trazem a explicação da reação em cadeia com as devidas consequências na liberação de energia. Fica evidente que houve um trabalho pesquisa por parte dos estudantes o que mostra que esse assunto se mostrou de grande relevância e despertou a curiosidade dos estudantes e espírito autônomo de construção de conhecimento, uma característica evidenciada no ensino por investigação.

Figura 7 - Alunos relacionando a equação $E=mc^2$ com a bomba atômica

Fonte: do autor.

Quadro 23 - Transcrição da fala da aluna sobre a equação $E=mc^2$

Aluna Fabíola: Essa energia que é liberada pelo núcleo do átomo pode ser expressa através da fórmula de Einstein $E=mc^2$. Onde E é igual a

energia, m é a massa e c^2 representa a velocidade da luz ao quadrado. Lembrando que essa massa é uma massa específica e a energia liberada vem na relação da equação de Einstein.

Fonte: do autor

Nesse episódio vemos como os alunos já conseguem relacionar a energia liberada na bomba à equação, demonstrando assim, que, ao contrário do que eles expressaram entre os Turnos 49 e 59, passam agora a relacionar a equação aos processos nucleares. Percebemos como a aluna Fabíola, que antes indicava que o termo “E” representava equivalência, e que agora parece compreender seu significado.

Figura 8 – Figura demonstrando a utilização do simulador sobre a bomba atômica



Fonte: do autor.

Quadro 24 - Sistematização de conhecimento

Aluna Silvia: Vamos avaliar aqui um pouco dos problemas sociais e econômicos que vamos ter nessa região se a bomba atômica cair. Como aqui tem várias indústrias que são importantes para o desenvolvimento do estado podemos prever um período de recessão econômica afetando assim a vida de toda a população.

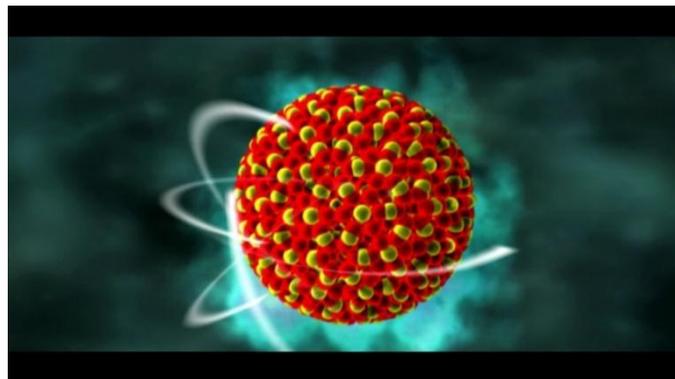
Aluno Renato: Caso a bomba atinja Porto Canoa terá um efeito, como mostra o simulador, atingindo uma área em círculo. Nós estamos no bairro Jardim Limoeiro e podemos observar que está fora do alcance da bomba, mas precisamos informar que toda a área deve ser evacuada devido a radiação.

Fonte: do autor.

Sobre a transcrição do Quadro 24, os alunos demonstraram que compreenderam as dimensões dos impactos sociais do desenvolvimento de determinada tecnologia. Na fala da aluna Silvia temos o entendimento de como a tecnologia pode influenciar a sociedade consequentemente o estilo de vida da população. Isso pode ser evidenciado quando ela chama a atenção para uma possível recessão econômica que poderia trazer com a destruição das indústrias. Ainda na mesma linha de raciocínio o aluno Renato, tem em seus argumentos uma preocupação de como a radiação poderia afetar a sociedade fazendo com que seja necessária uma evacuação da região atingida.

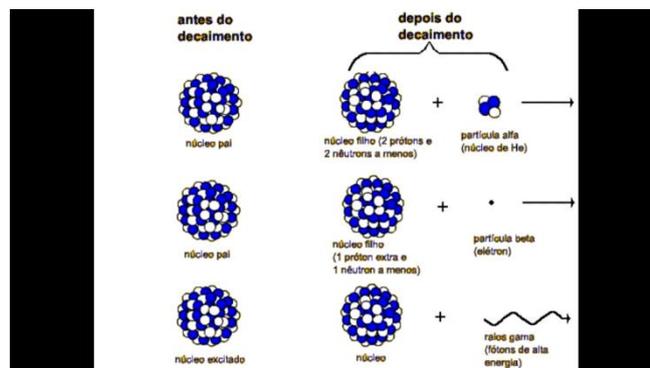
Abaixo temos a análise de outro trabalho onde analisam uma usina nuclear

Figura 9 - Representação do átomo pelos alunos



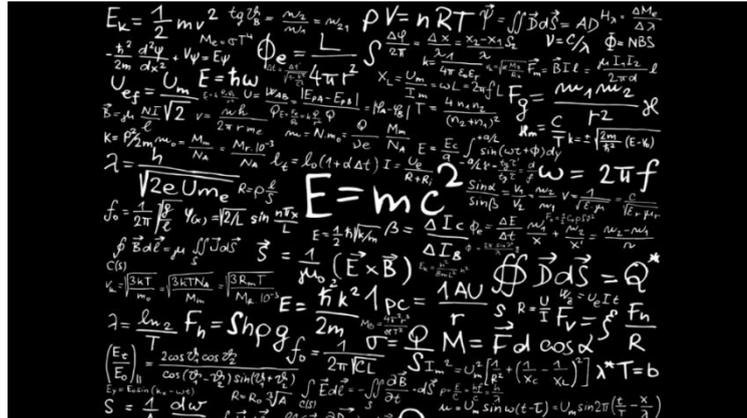
Fonte: do autor.

Figura 10 - Representação do decaimento de um átomo



Fonte: do autor.

Figura 11 - Representação da equação



Fonte: do autor.

Nas figuras acima temos algumas das produções dos estudantes com representações acerca da equação $E=mc^2$ e da energia nuclear. Na transcrição abaixo temos as explicações dadas pelos alunos.

Quadro 25 - Transcrição da transcrição escrita da Aluna: Sistematização do conhecimento

Aluna Camila: A energia nuclear está na força que mantem os prótons, elétrons e nêutrons unidos no átomo. É com a separação deles que uma grande quantidade de energia é liberada e pode ser calculada através da equação de Einstein $E=mc^2$ onde “E” representa a energia liberada, “m” representa a massa total do átomo e “c” é a velocidade da luz.

A maneira que as usinas nucleares tiram essa energia é através da fissão nuclear que é um processo em que o átomo é dividido em dois com o aparecimento de dois nêutrons. Esses nêutrons vou se chocar com outros átomos gerando uma reação em cadeia e assim gerar calor.

Fonte: do autor.

Começamos a análise do quadro 25 retomando as figuras 9, 10 e 11. A fala da aluna Camila está relacionada com a representação feita pelos alunos. Nesse caso eles relacionaram a energia com a “...força que mantém os prótons, elétrons e nêutrons unidos no átomo” e conseguem estabelecer um claro entendimento entre essa energia e a equação $E=mc^2$, representado por eles na figura 11. Outra informação que chama a atenção nessa fala da aluna é como ela consegue relacionar a energia liberada com a fissão nuclear, um processo que não foi explicado em sala de aula, como dito anteriormente, isso mostrou que houve uma pesquisa por parte desses

alunos também para entender o processo de fissão nuclear representado por eles na figura 10, exatamente como ocorreu no grupo anteriormente analisado. Vale a pena ressaltar que são turmas diferentes e de turnos diferentes o que pode evidenciar como o tema gerou nos alunos uma autonomia e comprometimento com a produção dessa atividade, na qual também foi fundamental a mediação do professor.

Devemos ressaltar aqui que, durante a sequência, temos dois processos de desenvolvimento conceitual sendo estabelecido, um relativo às características CTS e outro referente ao conceito físico em si ($E=mc^2$) e que vão se interligando no decorrer da sequência investigativa. São dois processos interdependentes e que contribuem para que o estudante possa desenvolver uma perspectiva conceitual e crítica do desenvolvimento da ciência e da tecnologia.

Percebemos que para alguns alunos a compreensão das implicações sociais do conhecimento científico e tecnológico se desenvolveram de forma mais perceptível, outros, conseguiram demonstrar um claro desenvolvimento conceitual com respeito ao conceito de energia de repouso ($E=mc^2$). Entretanto, de um modo geral, a turma demonstrou ter ampliado a compreensão dos fenômenos físicos abordados integrando-os numa perspectiva socio-ambiental.

Para concluir, com base nas análises acima, e levando em consideração que o conteúdo físico trabalhado (energia de repouso) tem um grau de complexidade alto e que se trata de um tema sócio científico relevante, podemos inferir que o processo de construção de conceito de energia de repouso expresso na equação $E=mc^2$, utilizando a articulação entre enfoque CTS e o ensino por investigação pode ser uma abordagem pertinente para o ensino não apenas desse assunto em particular mas na abordagem de temas de Física Moderna no Ensino Médio.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho, posso perceber a forma como os objetivos estipulados no início de meus estudos foram tomando forma. Trago neste capítulo, as considerações finais a respeito da minha intervenção e da forma como esse

mestrado modificou minha perspectiva em relação ao processo de ensino aprendizagem.

Em primeiro lugar, percebemos que a articulação entre o enfoque CTS e o ensino por investigação mostrou-se uma alternativa viável para o ensino de ciências. Isso fica evidenciado na participação ativa dos alunos nos debates ao resolver o problema inicial. Essa participação pode ser atribuída ao fato do estudante, primeiro, passar a participar das atividades de forma mais ativa e, segundo, ele conseguir relacionar o tema científico com uma aplicação concreta e com repercussão em outros ramos como economia sociedade.

Foi possível constatar que, aplicada a temas complexos como, no nosso caso, a energia de repouso expressa na equação $E=mc^2$, a abordagem que articula o Ensino por Investigação e o enfoque CTS pode ser muito apropriada ao Ensino de Física.

Os resultados mostram que a articulação entre o enfoque CTS e o ensino por investigação se mostrou uma possível estratégia de ensino de Física, especialmente de Física Moderna, tendo em vista que não apenas proporciona ao estudante a oportunidade de ter acesso a conteúdos mais recentes do desenvolvimento da ciência mas também de desenvolver opiniões críticas com respeito em relação a esse desenvolvimento nas relações sociais do cotidiano do aluno.

Evidenciamos isso enquanto acompanhávamos o processo de desenvolvimento conceitual por meio dos registros dos argumentos dos alunos. As observações nos permitem inferir a ocorrência de um duplo processo de desenvolvimento conceitual. Na medida em que foi se ampliando a compreensão acerca do conceito físico trabalhado, simultaneamente tornava-se mais abrangente a percepção das implicações sociais, políticas, econômicas e ambientais relacionadas às produções científicas e aplicações tecnológicas discutidas. Em outras palavras, os conceitos foram desenvolvidos, não apenas no que diz respeito ao conhecimento científico da Física, mas no caráter crítico que o enfoque CTS pode proporcionar às discussões.

Os alunos foram se apropriando de novas concepções ao mesmo tempo em que refletiam sobre a construção da ciência e da tecnologia do ponto de vista social e econômico, o que contribuiu para a desconstrução da concepção de neutralidade científica, que deu lugar a uma visão da produção do conhecimento condicionada

por fatores políticos e econômicos e que, dependendo das motivações políticas, pode ser benéfica, como no caso da produção de energia a partir dos processos nucleares, ou maléfica, como o caso da bomba atômica.

Outro ponto a ser destacado é como o significado da equação $E=mc^2$ foi evoluindo ao longo da sequência. Percebemos que a abordagem de temas relacionados à Física Moderna no Ensino Médio é muitas vezes prejudicado pela incompreensão por parte dos estudantes de conceitos que se integram na composição de conceitos bem mais amplos, como é o caso do conceito de energia de repouso. Durante as discussões em sala de aula, foi possível detectar que os alunos comumente confundem o conceito de energia e massa e por vezes entendem qualquer material pode ser convertido em energia e que o contrário também é válido. Esses processos só podem ser observados em núcleos atômicos. Ou seja, trata-se de modelos teóricos de alta complexidade, que no entanto, puderam ser melhor compreendidos por meio do uso de vídeos e debates que tornaram mais próximos da realidade dos alunos temas de difícil compreensão no Ensino Médio. Percebemos alguns indícios da evolução dessas concepções iniciais quando os estudantes passaram a explicar a relação entre massa e energia, entendendo que pelo modelo teórico expresso pela equação $E=mc^2$ não podemos afirmar que massa e energia são iguais e nem que é possível transformar massa em energia ou vice-versa.

A percepção mais clara do processo formação de conceitos por que passam os estudantes contribuiu, significativamente para o nosso desenvolvimento profissional. De acordo com Vygotsky (2009), esse processo de desenvolvimento vai além do momento da aprendizagem, sendo, portanto, gradual e contínuo, indo além dos muros da escola.

Ademais, ao longo do processo de pesquisa que teve como resultado esse trabalho, percebi uma nítida mudança em minha postura como professor. Essa mudança está relacionada à forma como percebo o processo de ensino-aprendizagem. Antes acreditava que os estudantes deveriam ser preparados para as avaliações externas e com isso, os conhecimentos que o aluno poderia trazer não eram levados em consideração. Assim sendo, meu aprendizado, que se iniciou neste mestrado, seguirá ao longo de minha vida profissional como um processo contínuo de aprendizagem e mudança de postura frente às adversidades da educação básica.

REFERÊNCIAS

AIKENHEAD, G. S. What is STS science teaching? In: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. S. **STS education: international perspectives on reform**. New York: Teachers College Press, 1994a, p.47-59.

ALMOULOUD, Saddo Ag. As transformações do saber científico ao saber ensinado: o caso do logaritmo. **Educar em Revista**, Curitiba – PR, nº Especial, 2011, p. 191-210.

AULER, Décio; BAZZO, Walter Antonio. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, Bauro - SP, v.7, n.1, p.1-13, 2001.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de ciências unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thoson Learning, p. 19-33, 2004.

BARCELLOS, M. E. ; ZANETIC, J. Abrindo a caixa preta da massa-energia. In: **XII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 2007, São Luis. XII Simpósio Nacional de Ensino de Física. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2007.

BELLUCCO, A.; CARVALHO, A. M. P. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, SC, v. 31, p. 30-59, 2014.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, SC, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

CARVALHO, A. M. P. Critérios Estruturantes para o Ensino das Ciências. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (Org.). **Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática**. 1ª ed. São Paulo: Pioneira Thosom Learning, 2004, v. 1, p. 1-17.

_____. Ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. (Org.). **Ensino de Ciências por Investigação**. 1ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013, v. 1, p. 1-20.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa; SASSERON, Lúcia Helena. Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões de proposta. Ensino de Física. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa (Coordenadora da coleção). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. P 107 – 139.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, Cristiane Rodrigues Caetano . Uma Oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no ensino médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Santa Catarina, v. 18, n.3, p. 298-316, 2001.

CHEVALLARD, Y.; JOHSUA, M-A. **La Transposition didactque**. Grenoble: La Pensée. Sauvage- Éditions, 1991.

GOUW, Ana Maria Santos; FRANZOLIN, Fernandes; FEJES, Marcela Elena. Desafios enfrentados por professores na implementação de atividades investigativas nas aulas de ciências. **Ciênc. educ.** (Bauru)[online]. 2013, vol.19, n.2, pp.439-454.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física** (Vol. 4). 8ª . ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

HANNUN, William H.; MARSH, Gerald, E.; STANFORD, George S. Lixo nuclear bem reciclado. **Scientific American Brasil**, ano I, nº 7, 2011, pp. 16-23.

KRAPAS, Sonia; QUEIROZ, Glória; COLINVAUX, Dominique; FRANCO, Creso. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, Belo Horizonte – V2(3), pp. 185-205, 1997.

LEMOS, Nivaldo A. $E=mc^2$: Origem e significado. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, SC, v. 23, n. 1, 2001.

MAUÉS, Ely Roberto da Costa; LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro. Atividades Investigativas nas séries iniciais. **Presença Pedagógica**, Belo Horizonte, MG, v.12, n.72, nov./dez. 2006.

MINAYO, Maria Cecília de Souza (Org.). **Pesquisa Social: teoria, método e criatividade**. 18ª ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

MOREIRA, Ideu de Castro. 1905: Um Ano Miraculoso. **Física na Escola**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, 2005.

MUNFORD, E.; LIMA, M. E. C. C. Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo? **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, MG, v. 9, n. 1, p. 72-89, 2007.

OLIVEIRA, A. N. **Uma proposta para o ensino progressivo de Relatividade Restrita no Ensino Médio**. 100 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”, **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, RS, v5(1), pp. 23-48, 2000.

OSTERMANN, Fernanda; RICCI, Trieste F. Relatividade restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de física. **Cad. Brás. Ens. Fís.**, Porto Alegre - RS, v. 21, n. 1: p. 83-102, abr. 2004.

PINHEIRO, Nilcéia Aparecida Maciel; SILVEIRA, Rosemari Monteiro Castilho Foggiatto; BAZZO, Walter Antonio. Ciência, Tecnologia e Sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do Ensino Médio. **Ciência & Educação**, (Bauru) [online]. 2007, vol.13, n.1, pp.71-84.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A Aprendizagem e o Ensino de Ciências: do Conhecimento Cotidiano ao Conhecimento Científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RODRIGUES, C. D. O. **Inserção da teoria da relatividade no ensino médio: uma nova proposta**. 2001. 163 f. Dissertação (Mestrado em Educação) Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SÁ, Elaine Ferreira. **Discurso dos professores sobre ensino por investigação**. 203 f. 2009. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2009.

SÁ, Elaine Ferreira; LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro; AGUIAR JÚNIOR, Orlando Gomes de. As características das atividades investigativas segundo tutores e coordenadores de um curso de especialização em ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, Belo Horizonte – V16(1), pp. 79-102, 2011.

SALES, Vitor Cossich de Holanda. **Uma proposta para o ensino de hidrostática através de atividades investigativas com enfoque C-T-S**. 173 f. 2012. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física -, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SASSERON, L. H. ; CARVALHO, A. M. P. Carvalho. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13(3). p. 333-352, 2008.

STACHEL, J.; TORRETTI, R. **Einstein's first derivation of mass-energy equivalence**. Texto disponibilizado em julho de 1998. In: American Journal of Physics. Disponível em:< <http://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.12764>>. Acesso em: 29 agosto 17.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Universo da física**. São Paulo: Atual, 2005. p. 463-469.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Revista Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciência**, Belo Horizonte, vol. 2, n. 2, dezembro, 2002.

TRAZZI, Patricia Silveira da Silva. **Ação mediada em aulas de Biologia: um enfoque a partir dos conceitos de fotossíntese e respiração celular**. 2015. 187 f. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

TRAZZI, Patricia Silveira da Silva; OLIVEIRA, Ivone Martins de. O processo de apropriação dos conceitos de fotossíntese e respiração celular por alunos em aulas de biologia. **Ensaio: pesquisa em educação em ciências (online)**, v. 18, p. 85-106, 2016.

TERRAZZAN, E. A. Inserção de física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, SC, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

TOULMIN, S. E. **Os Usos do Argumento**. São Paulo: Martins Fontes, 2ª. Edição, 2006.

VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. Martins Fontes: São Paulo, 2009.

ZÔMPERO, Andreia Freitas; LABURÚ; Carlos Eduardo. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte – MG, v.13, n.03, p.67-80, set-dez, 2011.

WOLFF, J. F. S.; MORS, P. M. Relatividade no ensino Médio: uma Experiência com Motivação na História. **Experiências em Ensino de Ciências**, 1(1), pp. 14-22, 2006.

APÊNDICE A – A equação $E=mc^2$

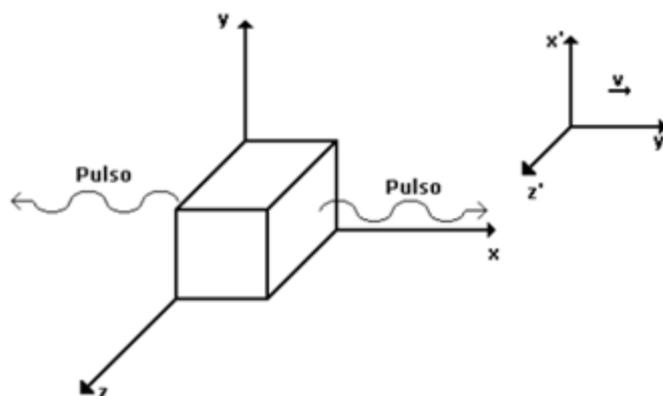
Sem dúvida a equação $E=mc^2$ é a mais famosa da Física, tendo sua representação associada à genialidade de um dos físicos mais famosos atualmente, Albert Einstein. Porém, essa simples representação matemática esconde um significado mais complexo do que ela se propõe.

Em 1905 Einstein publicou um artigo intitulado *Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*, nesse artigo ele discorreu sobre a sua Teoria da Relatividade Restrita, no mesmo ano, ele publicou outro artigo intitulado *A inércia de um corpo depende de seu conteúdo energético?* Nesse artigo, Einstein chegou à conclusão de que se um corpo emitir uma quantidade de energia na forma de radiação, sua massa deverá ser reduzida na ordem de E/c^2 .

Para chegar a essa conclusão, Einstein propôs um “experimento mental” relativamente simples. Consiste em considerar um corpo livre emitindo simultaneamente dois pulsos luminosos (ondas eletromagnéticas) de igual intensidade e em sentidos opostos. Para melhor representar o experimento, vamos admitir dois sistemas de referências com coordenadas inerciais, que chamaremos de $S(x,y,z)$ em que colocaremos o corpo, e $S'(x',y',z')$, que se move com uma velocidade v .

A figura 12 representa um corpo livre no sistema de referência S :

Figura 12 – Emissão dos pulsos luminosos de um corpo livre



Fonte: Ostermann e Ricci (2004, p. 92).

Pela figura acima, observamos que o corpo encontra-se em repouso antes e depois da emissão dos pulsos, para um observador no referencial \mathbf{S} . Tendo em vista que os pulsos são emitidos em sentidos contrários e têm a mesma intensidade o que nos leva a concluir que tem a mesma energia e mesmo momento linear. Apesar de ficar claro que a energia cinética do corpo é nula, pelo princípio de conservação de energia, haverá uma diminuição equivalente a energia transportada pelos pulsos de tal forma que ao final teremos:

$$E_1 = E_0 - E. \quad (2.3.3.1)$$

Vamos analisar agora o que ocorre se o observador estiver no referencial \mathbf{S}' . É fácil perceber que para esse observador o corpo livre possui energia cinética antes e depois das emissões. A questão agora é obter a energia transportada pelos pulsos medida pelo observador em \mathbf{S}' .

Para resolver esse problema, Einstein utilizou a relação que havia obtido no artigo sobre a Teoria da Relatividade Restrita em que ele propõe que se E é a energia da onda eletromagnética no referencial \mathbf{S} , sua energia medida em \mathbf{S}' será E' dado por:

$$E' = E\gamma \left(1 - \frac{v}{c}\right). \quad (2.3.3.2)$$

Podemos concluir que a velocidade na equação (2.3.3.2) é a mesma medida em \mathbf{S}' . Portanto, pela equação (2.3.3.1) e chamando de E_0 a energia inicial do corpo medida por um observador em \mathbf{S}' temos:

$$E'_1 = E_0 - \gamma E. \quad (2.3.3.3)$$

Subtraindo a equação (2.3.3.2) pela equação (2.3.3.4), podemos encontrar:

$$(E'_0 - E_0) - (E'_1 - E_1) = E(\gamma - 1). \quad (2.3.3.4)$$

Da equação (2.3.3.4), podemos concluir que, o primeiro parêntese do primeiro membro da equação expressa a diferença das energias mecânicas iniciais, medidas

em S' e S , enquanto o segundo parêntese representa a diferença entre as energias finais nos respectivos referenciais. Portanto, conclui Einstein, no referencial S , o corpo não tem energia cinética, nem antes e nem depois da emissão, sendo ele um corpo livre, $(E'_0 - E_0)$ é a energia cinética inicial medida no referencial S' , por analogia, $(E'_1 - E_1)$ é essencialmente a energia cinética final medida pelo mesmo referencial, logo, podemos reescrever a equação (2.3.3.4) da seguinte forma:

$$K'_0 - K' = (\gamma - 1). \quad (2.3.3.5)$$

Substituindo o coeficiente de Lorentz na equação (2.3.3.5), expandindo em série de potências e retendo somente os dois primeiros termos da potência, teremos a seguinte expressão:

$$K'_0 - K' = \frac{1}{2} \left(\frac{E}{c^2} \right) v^2. \quad (2.3.3.6)$$

A conclusão de Einstein, a partir da equação (2.3.3.6) é que, caso um corpo perca energia na forma de radiação, a sua massa sofrerá uma redução E/c^2 , ou seja, a massa de um corpo é uma medida do seu conteúdo energético.

Com a conclusão de Einstein, podemos deduzir a equação $E=mc^2$ tendo como ponto de partida sua interpretação do momento e da massa na relatividade.

Vamos agora desenvolver algumas equações que sejam invariantes em relação à transformação de Lorentz.

Para iniciarmos, vamos escrever as Leis de Newton em termos do momento \mathbf{p} de um corpo:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F}; \quad (2.3.3.7)$$

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}. \quad (2.3.3.8)$$

Admitindo a massa constante temos: $\frac{dm}{dt} = 0$.

Vamos agora determinar a velocidade do centro de massa de um sistema de corpos.

$$P = \sum_{i=1}^N m_i v_i; \quad (2.3.3.9)$$

$$M = \sum_{i=1}^N m_i. \quad (2.3.3.10)$$

Onde m_i é a massa da i -ésima partícula e v_i a velocidade dessa partícula. Assim sendo, a velocidade do centro de massa será:

$$V = \frac{P}{M}. \quad (2.3.3.11)$$

Segundo o teorema da mecânica Newtoniana, para um sistema isolado, o momento total é dado por $dP/dt = 0$ e P é um vetor constante. Usando esse raciocínio, como a massa é constante a massa total também é constante.

Tomando como base os postulados de Einstein, podemos concluir que as propriedades Físicas fundamentais não dependem de sua velocidade em relação a um observador em um referencial inercial. Logo, as conclusões que podemos tirar para analisar um sistema, leva em consideração o corpo como um todo ou suas partes. Com esse raciocínio em mente e as contribuições de Lorentz, temos elementos suficientes para determinar as fórmulas relativísticas para o momento, a massa e, nosso objetivo, a energia.

Substituindo as equações (2.3.3.9) e (2.3.3.10) na equação (2.3.3.11), temos:

$$V = \frac{P}{M} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i v_i}{\sum_{i=1}^N m_i}. \quad (2.3.3.12)$$

Nesse ponto, poderíamos nos deparar com um problema referente à velocidade V . Na mecânica não relativística, essa velocidade também é a velocidade do centro de massa do corpo, porém na relatividade a ideia de centro de massa não tem uma

importância direta como na Física não relativística, isso se deve porque na relatividade não há um ponto de centro de massa único, na qual dependa de um referencial. Então, vamos atribuir a V uma velocidade de sistema geral, considerando que todas as partículas formem uma única unidade total. Seu momento total será expresso por P , assim, podemos concluir que a equação (2.3.3.12) corresponda a uma velocidade média ponderada adequada, e que ela ainda terá as propriedades convenientes para representar a velocidade de um sistema geral.

Vamos considerar agora um sistema de duas partículas. Essas partículas serão observadas, primeiramente, por um observador em um referencial A e que sua velocidade de sistema geral seja nula, para esse referencial. Vamos admitir um caso particular em que levamos em consideração apenas uma dimensão.

Sendo m_1 e m_2 as massas dessas partículas e v_1 e v_2 suas respectivas velocidades, o momento total do sistema será:

$$P = m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0. \quad (2.3.3.13)$$

A massa total será:

$$M = m_1 + m_2. \quad (2.3.3.14)$$

Consequentemente a velocidade de sistema geral, nesse caso é:

$$V = \frac{P}{M} = 0. \quad (2.3.3.15)$$

Agora, veremos o sistema de duas partículas do ponto de vista de um referencial B em que, para esse referencial, a velocidade de sistema geral seja V' . Sendo m'_1 e m'_2 as massas dessas partículas e v'_1 e v'_2 suas respectivas velocidades.

Como estamos analisando do ponto de vista da relatividade, que permite que possamos estudá-lo em suas partes componentes, tanto no referencial A como no

referencial B, logo, o momento total das partículas deve ser escrito da seguinte forma:

$$P' = m'_1 v'_1 + m'_2 v'_2. \quad (2.3.3.16)$$

Da mesma forma a massa total será:

$$M' = m'_1 + m'_2. \quad (2.3.3.17)$$

Pelo princípio da relatividade, o que é observado no referencial A, também é observado no referencial B, portanto:

$$P' = M'V'. \quad (2.3.3.18)$$

Da equação (2.3.3.13), teremos:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}. \quad (2.3.3.19)$$

Das equações (2.3.3.16), (2.3.3.17) e (2.3.3.18), obteremos:

$$m'_1 v'_1 + m'_2 v'_2 = (m'_1 + m'_2)V'. \quad (2.3.3.20)$$

Daí:

$$\frac{m'_1}{m'_2} = \frac{(V' - v'_2)}{(V' - v'_1)}. \quad (2.3.3.21)$$

Vamos utilizar, nesse ponto, a lei relativística para a soma das velocidades $W = \frac{u+v}{1+(uv/c^2)}$, sendo que $W = v'_1 = v'_2$, $u = v_1$ e $v = V'$. Assim teremos:

$$\begin{aligned} v'_1 &= \frac{v_1 + V'}{1 + (v_1 V'/c^2)}; \\ v'_2 &= \frac{v_1 + V'}{1 + (v_2 V'/c^2)}. \end{aligned} \quad (2.3.3.22)$$

Substituindo as equações (2.3.3.22) na equação (2.3.3.21), podemos conseguir:

$$\frac{m'_1}{m'_2} = \frac{1 + (v_1 V'/c^2)v^2}{1 + (v_2 V'/c^2)v}. \quad (2.3.3.23)$$

Retornando à equação (2.3.3.19), se reduz a:

$$\frac{m'_1}{m'_2} = \frac{1 + (v_1 V'/c^2)m_1}{1 + (v_2 V'/c^2)m_2}. \quad (2.3.3.24)$$

A equação (2.3.3.24) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\frac{m'_1/m_1}{m'_2/m_2} = \frac{1 + (v_1 V'/c^2)}{1 + (v_2 V'/c^2)}. \quad (2.3.3.25)$$

Vamos obter agora outra expressão para o lado direito da equação (2.3.3.24) e, para isso, faremos $\beta = \sqrt{1 - (v_1'^2/c^2)}$, retornando nas equações (2.3.3.22), assim:

$$\begin{aligned}\beta &= \sqrt{1 - \frac{v_1'^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \frac{(v_1 + V')^2}{c^2[1 + (v_1 V'/c^2)]}} \\ &= \frac{\sqrt{1 - (V'^2/c^2)}\sqrt{1 - (v_1^2/c^2)}}{1 + (v_1 V'/c^2)}.\end{aligned}\quad (2.3.3.26)$$

Substituindo na equação (2.3.3.24), temos:

$$\frac{m'_1/m_1}{m'_2/m_2} = \frac{\sqrt{1 - (v_1^2/c^2)}/\sqrt{1 - (v_1'^2/c^2)}}{\sqrt{1 - (v_2^2/c^2)}/\sqrt{1 - (v_2'^2/c^2)}} = \frac{R(v_1, v_1')}{R(v_2, v_2')}.\quad (2.3.3.27)$$

Onde:

$$R(v_1, v_1') = \frac{\sqrt{1 - (v_1^2/c^2)}}{\sqrt{1 - (v_1'^2/c^2)}} \text{ e } R(v_2, v_2') = \frac{\sqrt{1 - (v_2^2/c^2)}}{\sqrt{1 - (v_2'^2/c^2)}}.\quad (2.3.3.28)$$

A equação (2.3.3.27) é válida para qualquer valor de v_1, v_2, v_1' e v_2' .

Vamos observar o que isso implica ao tomarmos o logaritmo em ambos os lados da equação acima citada:

$$\ln\left(\frac{m'_1}{m_1}\right) - \ln\left(\frac{m'_2}{m_2}\right) = \ln R(v_1, v_1') - \ln R(v_2, v_2').\quad (2.3.3.29)$$

Organizando para que de um lado da equação tenha apenas quantidades referentes a primeira partícula e do outro lado apenas da segunda, temos:

$$\ln\left(\frac{m'_1}{m_1}\right) - \ln R(v_1, v_1') = \ln\left(\frac{m'_2}{m_2}\right) - \ln R(v_2, v_2').\quad (2.3.3.30)$$

O fato de podermos alterar as velocidades das partículas uma em relação a outra nos permite inferir que a equação (2.3.3.30) só pode admitir solução se ambos os lados forem iguais a uma constante independente de todas as quantidades da equação, chamaremos essa constante de α . Então:

$$\begin{aligned}\ln\left(\frac{m'_1}{m_1}\right) - \ln R(v_1, v'_1) &= \alpha; \\ \ln\left(\frac{m'_2}{m_2}\right) - \ln R(v_2, v'_2) &= \alpha.\end{aligned}\tag{2.3.3.31}$$

Tomemos agora a exponencial das equações (2.3.3.31) com $l^\alpha = K$, temos:

$$\begin{aligned}\frac{m'_1}{m_1} = KR(v_1, v'_1) &= \frac{\sqrt[K]{1 - (v_1^2/c^2)}}{\sqrt{1 - (v'_1)^2/c^2}}; \\ \frac{m'_2}{m_2} = K(v_2, v'_2) &= \frac{\sqrt[K]{1 - (v_2^2/c^2)}}{\sqrt{1 - (v'_2)^2/c^2}}\end{aligned}\tag{2.3.3.32}$$

Vamos considerar um caso especial em que $v_1 = 0$, assim, teremos:

$$\frac{m'_1}{m_1} = \frac{K}{\sqrt{1 - (v'_1)^2/c^2}}\tag{2.3.3.33}$$

A massa m_1 é a massa da partícula quando está em repouso, que, nada mais é do que o caso não relativístico nas equações do movimento de Newton. Chamaremos essa massa de $m_{1,0}$ essa massa da partícula em repouso, temos:

$$m'_1 = \frac{Km_{1,0}}{\sqrt{1 - (v'_1)^2/c^2}}\tag{2.3.3.34}$$

Vamos considerar um caso especial em que $v'_1 = 0$. Teremos então que $m_{(v)} = m_0$ e, conseqüentemente, $K = 1$. Podemos a equação (2.3.3.34) válida para ambas as partículas:

$$m_{(v)} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}. \quad (2.3.3.35)$$

O momento fica então:

$$p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}. \quad (2.3.3.36)$$

Em notação vetorial, temos:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}; \quad (2.3.3.37)$$

$$p = m\mathbf{v} = \frac{m_0 \mathbf{v}}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}. \quad (2.3.3.38)$$

Vamos agora desenvolver a famosa equação de Einstein $E=mc^2$. Para isso tomemos a equação (2.3.3.37). Quando tomamos v/c pequenos podemos expandir m em uma série de potências de v/c , conservando até o termo v^2/c^2 . Assim como descrito:

$$m \cong m_0 \left(1 + \frac{v^2}{2c^2} + \dots \right). \quad (2.3.3.39)$$

Multiplicando a equação (2.3.39) por c^2 temos:

$$mc^2 \cong m_0 c^2 + \frac{m_0 c^2}{2} + \dots \quad (2.3.3.40)$$

Observando a equação (2.3.3.40), percebemos que $m_0c^2/2$ é a equação da energia cinética (E_c) para um caso não relativístico para um corpo que se move com velocidade v . Como o termo m_0c^2 é constante o que nos sobra dessa equação apenas:

$$mc^2 - m_0c^2 = E_c. \quad (2.3.3.41)$$

A equação acima pode referenciar-se a um caso não relativístico, porém pelo Princípio da Relatividade, a lei de conservação de energia total, que pode ser aplicada no caso de um sistema de vários corpos e que deve valer também para todos os referenciais. Portanto, a equação (2.3.3.41) deve representar a energia cinética do corpo em qualquer referencial. Para analisarmos melhor, vamos transferir m_0c^2 para o outro lado da equação e escreveremos E para a energia do corpo:

$$E = m_0c^2 + E_c = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}} \quad (2.3.3.42)$$

O procedimento de Einstein baseou-se em compreender que na teoria não relativística a energia é, essencialmente, não definida até uma constante qualquer, assim, define-se uma constante qualquer de tal forma que a energia de repouso seja:

$$E_0 = m_0c^2. \quad (2.3.3.43)$$

Isso sugere que mesmo que um corpo esteja em repouso, em relação algum referencial, deve haver uma *energia de repouso* expressa pela equação (2.3.3.43).

Energia de repouso pode ser descrita pelo movimento violento de todas as partes (moléculas, átomos, elétrons, prótons, etc.) de um corpo qualquer. Esse movimento é aparentemente inexistente macroscopicamente, pois na média, se anula. Porém,

todos esses movimentos estão, de certa forma, contribuindo para a massa das partículas constituintes.

A questão aqui é provar que o estado interno do movimento das partículas contribui de alguma forma para a sua massa. Na época de Einstein, isso era um desafio. Primeiramente podemos pensar em aumentar a temperatura de um corpo e verificar se sua massa aumentaria de Q/c^2 , onde Q é a energia térmica absorvida pelo corpo. O caso é que não temos instrumentos de medida tão precisos a ponto de medirmos uma diferença tão pequena. Se pensarmos em reações químicas que ocorrem com a liberação de uma quantidade de energia, recaímos no mesmo problema de medição.

A solução para esse problema só pôde ser possível quando os cientistas começaram a fazer experimentos com reações nucleares, em que as energias emitidas eram suficientemente grandes para que pudessem ser medidas com instrumentos da época. Assim, foi constatado que nas reações nucleares, a mudança da massa do sistema, como um todo, era igual a Q/c^2 .

Logo depois, algumas partículas foram descobertas, entre elas, o pósitron, que tem as mesmas características do elétron, porém de carga oposta. Foi observado que quando o elétron e o pósitron interagem, pode haver uma aniquilação das partículas e, como resultado a emissão de raios gama com energia total expresso pela equação $Q = m_e c^2$, assim, ficou provado que toda a energia de repouso é potencialmente transformada em energia.

Posteriormente, descobriu-se que um raio gama, ao colidir com um núcleo, pode ser absorvido, sua energia transformada em energia de repouso de um par elétron-próton.

Com essa simples equação, podemos entender que uma enorme quantidade de energia está presa na energia de repouso da matéria e que pode ser liberada, em parte em processos de fissão nuclear, como na bomba atômica e nas pilhas atômicas usadas em usinas nucleares, bem como em processos de fusão nuclear que ocorrem nas estrelas como no nosso Sol.

APÊNDICE B – Einstein versus Poincaré

Trago, neste apêndice, uma nota sobre a controvérsia histórica, a qual vale destacar neste trabalho. Ela se relaciona à autoria da Teoria da Relatividade que, supostamente, foi atribuída a Albert Einstein em seu artigo de 1905. Porém, de 1999 em diante tem surgido evidências, como documentos históricos, que sugerem a versão de que essa famosa Teoria foi desenvolvida não por Einstein em 1905, mas por Henri Poincaré em 1904.

Figura 13 – Henri Poincaré (1854 – 1912)



Fonte: Wikipédia

As conclusões aqui apresentadas foram desenvolvidas no artigo de C. Marshal com o título: *Poincaré, Einstein and the Relativity: the Surprising Secret* (Poincaré, Einstein e a Relatividade: O Segredo Surpreendente).

A questão levantada sobre a originalidade do trabalho de Einstein surgiu pelo simples fato desse cientista ter escrito seu artigo em poucas semanas antes de publicá-lo, sendo que ele não havia publicado nada sobre o assunto antes.

Além disso, outros dois elementos surgiram que sustentavam a teoria de uma conspiração, que foi arquitetada para dar a autoria da Teoria da Relatividade a Albert Einstein:

- 1) A falta de revisão de dois textos de Poincaré sobre a Relatividade no *Annalen der Physik* (Anais da Física), uma revista alemã de grande prestígio na época.
- 2) Ocorreu um seminário na Universidade de Göttingen, entre os meses de junho e julho de 1905, com o título *sobre a teoria dos elétrons*. Na ocasião, foram deixados de lado três trabalhos importantes, o primeiro foi uma nota de Poincaré a respeito das conclusões equivocadas que os físicos de Göttingen tinham a respeito do comportamento do elétron. O segundo foi um memorando de Lorentz, de maio de 1904, em que dava crédito às conclusões de Poincaré e, o terceiro foi o texto sobre o princípio da relatividade, que foi apresentado por Poincaré na Conferência Científica Mundial em Saint-Louis em setembro de 1904.

Pela falta desses textos no seminário acima citado, os físicos de Göttingen chegariam a conclusão de que o elétron poderia se mover mais rápido que a velocidade da luz, o que pelo princípio da relatividade não está correto.

Diante de tudo isso, a questão é: o que levou a Teoria da Relatividade a ter sido creditada ao então funcionário de um escritório de patentes em Berna e não a Henri Poincaré?

Para responder a essa pergunta, temos que entender a situação caótica em que se encontra o mundo no início de século XX.

Nessa época, a França passava por um momento de recessão devido ao fracasso na guerra Franco-Prussiana, que ocorreu entre 19 de julho de 1870 a 10 de maio de 1871. O conflito ocorreu entre o Império Francês e o Reino da Prússia, esse último apoiado pelos alemães, que teve como uma das consequências a perda, por parte dos franceses, da maior parte do território de Alsácia-Lorena.

Já a Alemanha, teve um crescimento impressionante em meados de 1900, não apenas em sua indústria bélica e técnica, mas também na filosofia e ciências.

Foi nessa época que o matemático David Hilbert lecionava na Universidade de Göttingen e dispunha de muita influência no meio acadêmico e que, segundo C Marchal, nutria uma certa hostilidade com Poincaré, o que contribuiu, junto com o

sentimento nacionalista, para que fosse arquitetado uma forma de dar a Alemanha a autoria de Teoria da Relatividade.

Mas a hostilidade entre esses cientistas não foi o único fator que decidiria a autoria da Teoria da Relatividade. Os cientistas de Göttingen acreditavam que essa universidade era o polo mundial do estudo da matemática e ciências, especialmente a Física e ter suas ideias refutadas por um francês seria algo vergonhoso. Nesse período, alguns físicos desta universidade acreditavam que o elétron poderia se mover mais rápido que a luz, mas o trabalho de Poincaré sobre a relatividade demonstrava que as pesquisas daqueles estavam apontando para uma direção errada. O fato de Poincaré ser francês agravou esse sentimento.

Trabalhando nessa teoria de que o elétron poderia se mover mais rápido que a luz estavam cientistas renomados como Sommerfeld, Herglotz e Wiechert. Lembrando que foi esse cientista quem melhorou o modelo de Niels Bohr para o átomo de hidrogênio, para que estivesse de acordo com a Relatividade e a Mecânica Quântica e foi ele quem mais tarde admitiria que um elétron se movendo mais rápido que a luz era impossível.

No período de 5 de junho a 1 de agosto a Universidade de Göttingen organizou um seminário sobre a Teoria Eletromagnética em que David Hilbert, Hermann Minkowski e Emil Wiechert foram os organizadores. Nesse seminário foi apresentada a teoria do elétron se movendo mais rápido do que a luz, porém Poincaré emite um parecer no dia 05 de junho refutando essa ideia, que foi publicada no dia 09 de junho e chegou a Göttingen no dia 10 de junho desse mesmo ano. A questão estava encerrada, o elétron não pode se mover mais rápido que a luz.

O correto era reconhecer que Poincaré estava certo e dá-lhe o devido crédito, porém não foi o que ocorreu. Hilbert ignorou completamente os trabalhos de Poincaré, procurou um alemão que assumisse o risco de ser considerado o autor da Teoria da Relatividade. Foi aí que Einstein foi chamado. O mais arriscado passo desse esquema seria pedir a Max Planck, que era diretor da *Annalen der Physik*, na época, para que tirasse a nota de Poincaré dos Anais. A questão é que Max Planck era considerado um homem de grande integridade e, teoricamente jamais participaria dessa manipulação, porém temos que levar em consideração que Planck era

alemão e, por essa razão, não poderia perder a oportunidade de dar a Alemanha essa grande descoberta científica.

Só falta entender agora por que Albert Einstein, e não outro cientista mais conhecido foi escolhido?

Para responder a essa pergunta, temos que levar em consideração o perigo da França reagir a essa manipulação e, com isso, ter retaliações. Einstein estava em um momento difícil de sua vida, por isso não tinha muito a perder. Minkowski havia sido o professor de Einstein de 1896 à 1900, portanto ele o conhecia. Planck e Einstein trocaram muitas cartas sobre a teoria quântica.

Diante de tudo isto, com a França enfraquecida devido à guerra Franco-Prussiana, a Alemanha como uma potência da época e a modéstia de Poincaré, que o impediu de protestar, levou esse estratagema ao sucesso.

Logo depois, Max Planck organizou em outubro de 1905 um colóquio em que confirmava a autoria da Teoria da Relatividade para Albert Einstein e, até 1911, ano em que rompeu laços de amizade, o rendia louvores.

Os eventos mencionados aqui, devem ser interpretados do ponto de vista de autor C. Marshal que, como Francês, em seu espírito nacionalista, acredita que esses eventos aconteceram e, segundo ele, tem provas que sustentem seus argumentos. Porém, a história conta que Einstein, em 1905, publicou seu artigo intitulado “*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*” (Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento) em que trata da Teoria da Relatividade Restrita ou Especial e, para registro histórico é a versão aceita como original. Neste artigo, Einstein discorre a respeito dos dois postulados que mudariam o paradigma do espaço e do tempo, que até então era visto como absoluto. A partir desses postulados e das contribuições de Lorentz Einstein desenvolveu sua concepção de energia e massa.

APÊNDICE C –

Termo de consentimento livre e esclarecido



Universidade Federal do Espírito Santo
Centro de Ciências Exatas
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) para participar, como voluntário(a), do Projeto de Pesquisa sob o título **“Introdução a Energia de Repouso no Ensino Médio: uma abordagem investigativa com enfoque CTS”**. Após receber os esclarecimentos e as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa, você não sofrerá qualquer tipo de penalidade, de forma alguma. Em caso de dúvida sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com qualquer um dos responsáveis pela pesquisa: Prof. Marcos Azevedo Pedroso; email: santarem80@yahoo.com.br e com o orientador da pesquisa Prof.(a) Dr.(a) Mirian do Amaral Jonis Silva (UFES); e-mail: mirianjonis67@gmail.com.

Nesse trabalho, buscamos entender como os alunos se comportam, interagem, adquirem procedimentos típicos da ciência e constroem conhecimentos no processo ensino-aprendizagem ao estudarem o tema relacionado a Física Moderna e Contemporânea no assunto Energia de Repouso usando como aporte teórico metodológico intitulado ensino por investigação com enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). As aulas serão gravadas em vídeo e/ou áudio e, posteriormente, serão utilizadas unicamente com o intuito desta pesquisa, não havendo qualquer repasse a terceiros para efeito comercial/financeiro. Haverá também produção de dados na forma de textos, dissertações e quaisquer outros desenvolvidos por vocês durante as aulas.

Esclarecemos ainda que não haverá nenhum tipo de pagamento ou gratificação financeira pela sua participação. Garantimos também sigilo que assegura a sua privacidade quanto aos dados confidenciais envolvidos na pesquisa. E reiteramos mais uma vez que você tem toda liberdade de se recusar a participar ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado.

APÊNDICE D –**Consentimento da participação da pessoa como sujeito da pesquisa**

Eu, _____,
abaixo assinado, concordo em participar do estudo como sujeito. Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo pesquisador Marcos Azevedo Pedroso sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios, caso existam, decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data _____, ____ de novembro de 2016.

Assinatura do participante

Assinatura do Responsável Legal

Eu, Marcos Azevedo Pedroso, obtive de forma voluntária o **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido** do sujeito da pesquisa ou representante legal para a participação da pesquisa.

Aluno

Responsável Legal

**APÊNDICE E –
Produto do Mestrado**

GUIA DIDÁTICO DE ENSINO

APRESENTAÇÃO

Presado professor(a),

Este material é fruto de uma pesquisa de mestrado, e tem por objetivo auxiliá-lo nas suas atividades em sala de aula. Aqui, você vai encontrar uma Sequência Didática com enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e com características investigativas para tratar de assuntos relacionados a Física Moderna e contemporânea.

Para esse trabalho, foi escolhido o tema energia de repouso, expresso na equação $E=mc^2$, todavia, devo enfatizar que o assunto a ser utilizado nesta sequência pode ser aquele que melhor se adequar às suas necessidades, desde que seja direcionado para a educação básica, que é o foco desta atividade.

Utilizamos uma sequência CTS que tem sua estrutura descrita por Santos e Mortimer (2002) em que se parte de um problema de relevância social, uma tecnologia relacionada ao problema é analisada, é estudado o conhecimento científico relacionado ao tema e à tecnologia, em seguida a tecnologia é estudada em função do conteúdo científico e por fim, retorna-se ao problema inicial que gerou os questionamentos sociais ao longo da sequência. Além disso, a sequência também tem características do ensino por investigação que norteiam as atividades desenvolvidas pelos estudantes dentro das etapas dispostas por Carvalho (2013), a saber, etapa de proposição do problema pelo professor, etapa de resolução de problema, etapa de sistematização de conhecimentos e etapa de sistematização individual de conhecimentos. Em cada uma dessas etapas procuramos identificar formação de conceitos científicos assim como uma postura crítica perante a as relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

Com tudo isso, esperamos que esse material possa servir de apoio no desenvolvimento das atividades escolares e que possa despertar nos estudantes uma autonomia sobre o fazer ciência.

Boa leitura e bom trabalho!

INTRODUÇÃO

Esta Unidade Investigativa é fruto de uma pesquisa de mestrado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnFis) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e foi aplicada em uma Escola Estadual localizada no município da Serra.

A unidade é dividida em 5 partes:

- 1- Questão social introdutória: Uma questão social é introduzida com o objetivo de fomentar uma reflexão. O problema será: Se uma bomba atômica cair na cidade de São Paulo? Os alunos se reúnem em grupos menores para levantar as hipóteses sobre o problema, em seguida é feito um momento de socialização em que eles expõem suas ideias. Ao final, é apresentado um vídeo com o mesmo título do problema e uma discussão do que é apresentado no vídeo e as ideias que eles levantaram. Ao final dessa discussão é exibido dois vídeos, um sobre os trinta anos do desastre de Chernobyl e outro sobre o acidente de Fukushima.
- 2- Uma tecnologia relacionada ao tema é analisada: Os alunos são orientados a se reunirem novamente para levantar suas ideias sobre como eles acham que uma bomba atômica funciona e como uma usina nuclear funciona. Em seguida, é feita uma discussão com o grupo maior. Ao final é apresentado dois vídeos sobre o funcionamento de uma bomba atômica e de uma usina nuclear.
- 3- O conteúdo científico é trabalhado: É feita uma tarefa de leitura e ao final os estudantes respondem a um questionário. Os alunos leriam dois textos sobre a carta que Einstein escreveu para o presidente dos Estados Unidos Franklin Delano Roosevelt sobre os estudos e o desenvolvimento do estudo da energia nuclear que teria como consequência a construção da bomba atômica. Os alunos responderiam em grupo e depois é feito um momento de socialização com a turma.
- 4- A tecnologia é estudada em função dos conteúdos: É apresentado um simulador sobre a bomba atômica disponível no endereço <http://www.nuclearsecrecy.com/nukemap/?t=06ce25b2c311f3190ed5630a>

[edfb9fa6](#). A partir das discussões levantadas na observação do simulador é apresentado um texto em que é discutido a equação $E=mc^2$ e seu significado. Ao final, os estudantes discutem em grupo sobre o que eles acreditam que a equação representa e em seguida é feita um novo momento de socialização. Após esse momento é apresentado um novo texto em que a equação é discutida do ponto de vista do que é cientificamente aceito. Os estudantes respondem a um questionário e, em seguida, é feito um momento de discussão em grupo.

- 5- Retomada a questão social: A proposição de um trabalho em que os alunos produzirão um material que poderia ser um vídeo, ou uma palestra, direcionado pelo professor em que deveriam discutir o problema inicial relacionando com a tecnologia, no caso a bomba atômica ou a energia nuclear, com os conhecimentos científicos que, nesse caso, a equação $E=mc^2$ e suas implicações sociais.

Essa configuração é uma sugestão de como o professor pode abordar temas referentes a Física Moderna. Além das partes apresentadas acima, trago uma forma de trazer a dedução da fórmula de maneira bem simples, caso o professor queira trazer essa discussão. Sei que não são todos os alunos que podem se interessar pela dedução que irei propor, porém, da forma como estou apresentando essa parte, pode ser feito como uma unidade extra para aqueles alunos interessados por seguir na área de ciências exatas.

O enfoque CTS e o Ensino por investigação

Aqui apresentaremos uma breve introdução sobre o enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e o ensino por investigação a fim de fornecer ao professor as condições para pode utilizar esse material sem a necessidade de muita pesquisa. Devo ressaltar que o que apresentarei aqui é uma breve introdução, para melhor familiaridade com o enfoque CTS e o ensino por investigação aconselho que o professor visite o referencial teórico deste trabalho e as referências bibliográficas.

O enfoque CTS desenvolvido na educação teve início na reflexão sobre os avanços tecnológicos e como esses avanços poderiam influenciar positiva ou negativamente na sociedade moderna. Essa reflexão teve como consequência uma influência na forma como o ensino de ciências estava sendo desenvolvido. Sobre esse assunto temos

O agravamento dos problemas ambientais pós-guerra, a tomada de consciência de muitos intelectuais com relação às questões éticas, a qualidade de vida da sociedade industrializada, a necessidade da participação popular nas decisões públicas, estas cada vez mais sob o controle de uma elite que detém o conhecimento científico e, sobretudo, o medo e a frustração decorrentes dos excessos tecnológicos propiciaram as condições para o surgimento de propostas de ensino CTS (WAKS, apud SANTOS; MORTIMER, 2002, p. 4).

Assim sendo, o enfoque CTS veio como uma forma de fornecer aos cidadãos condições para que possam ter uma educação científica preocupada não apenas com a tecnicidade do desenvolvimento científico, mas com suas consequências na tecnologia, dessa forma, podem participar das discussões sobre a relevância do desenvolvimento científico e tecnológico no sentido de poder tomar decisões acerca de seu desenvolvimento.

Além disso, temos nesse produto, o aporte teórico-metodológico chamado Ensino por Investigação que veio como uma alternativa para o ensino de ciências e que traz algumas etapas que, quando desenvolvidas podem fazer com que a participação do aluno no processo de aprendizagem se torne mais efetivo.

Dessa forma, segundo Carvalho (2013), uma sequência de ensino investigativa deve iniciar com um problema que possa mobilizar o aluno, ou seja, não pode ser um problema que tenha uma resposta apenas, mas que possa fazer com que o estudante possa refletir, questionar e buscar mais de uma solução segundo a mesma autora:

Entretanto, qualquer que seja o tipo de problema escolhido, este deve seguir uma sequência de etapas visando dar oportunidade aos alunos de levantar e testar suas hipóteses, passar da ação manipulativa à intelectual estruturando seu pensamento e apresentando argumentações distintas com seus colegas e com o professor (CARVALHO, 2013, p. 10).

De acordo com a autora o Ensino por Investigação deve seguir uma série de etapas que possam fornecer ao aluno condições de observar o problema, levantar as hipóteses, comunicar essas hipóteses aos colegas e ao professor, passando da ação manipulativa para a ação intelectual e, para que isso ocorra, seguimos as seguintes etapas:

- 1- Problema Inicial: O início de uma atividade investigativa deve ser orientada por um problema que, segundo a autora, deve ser bem planejado para que possa provocar interesse do aluno e, para isso, deve estar relacionado com a cultura social dele, ademais, deve exigir mais do que uma simples manipulação de uma equação na busca da solução. O aluno deve envolver-se de forma espontânea com condições de expor seus conhecimentos anteriormente adquiridos.
- 2- Etapa de distribuição de materiais, que pode ser um experimento ou um texto: Nesse momento o professor pede para que os alunos se dividam em grupos menores, distribui o material de apoio, propõe o problema e certifica-se de que todos entenderam o problema a ser resolvido.
- 3- Etapa de resolução do problema pelos alunos: A importância nessa etapa está nas condições que os alunos terão para que possam levantar suas hipóteses e testá-las, na tentativa de resolver o problema. Vale a pena ressaltar que o conceito físico a ser ensinado não é de grande importância nessa etapa, e sim as hipóteses levantadas pelos estudantes que poderão ou não ajudá-los na resolução do problema inicial. Outra característica importante é valorizar as hipóteses que não contribuíram para a resolução

do problema. Segundo a autora, o erro pode ensinar mais do que dar a resposta pronta para o aluno e o professor atuará apenas no sentido de certificar-se que todos entenderam a proposta inicial.

- 4- Etapa de sistematização de conhecimentos: Nessa etapa, o papel do professor é muito importante. Esse deve recolher o material (experimento ou texto) dos alunos e distribuir a turma de tal forma que possam iniciar um momento de socialização. Pode ser feito com um grande círculo ou de outra forma, o importante é que todos devem poder observar como cada um resolveu o problema proposto. Por meio da exposição dos alunos, o professor pode intervir e começar a trazer os conceitos científicos a partir da fala dos estudantes é o que Lemke (apud Carvalho, 2013) chama de “aprender a falar ciência”.
- 5- Etapa de escrever e desenhar: Esta última etapa, está relacionada com a sistematização individual do conhecimento. É nesse momento que o estudante poderá sistematizar o conhecimento construído ao longo da etapa de resolução do problema, de socialização com grupos menores e na turma.

Outra característica que deve ser enfatizada no Ensino por Investigação é o que afirma Munford e Lima (2007), uma atividade investigativa não precisa ser necessariamente experimental, na verdade, as autoras afirmam que uma atividade não experimental pode ter características investigativas dependendo da abordagem proposta. Por essa razão, o trabalho aqui proposto, tem um viés teórico, ou seja, não envolve nenhum experimento. O que não descaracteriza-o como investigativo.

Sequência Investigativa para o trabalho do mestrado em ensino de Física: uma abordagem sobre Física Moderna em especial e energia de repouso expressa pela equação $E=mc^2$.

Orientadora: Prof.(a) Dr(a). Mirian do Amaral Jonis Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga

Mestrando: Marcos Azevedo Pedroso

Atividade: Sequência Didática CTS com metodologia do Ensino por Investigação.

Assuntos a serem estudados: Desenvolvimento da bomba atômica e da energia nuclear e sua relação com os impactos tecnológicos, econômicos e sociais;

Objetivo: Investigar a relação o desenvolvimento do estudo da bomba atômica com suas consequências físicas, políticas e sociais.

1ª Atividade: Problemática social

Nessa parte da sequência os alunos serão levados a refletir sobre o poder de destruição de uma bomba atômica e suas consequências políticas, econômicas e sociais, em seguida será apresentado o vídeo sobre a bomba atômica intitulado “E se uma bomba atômica caísse na cidade de São Paulo?”. Espero observar nas falas dos alunos concepções sobre energia liberada na explosão da bomba bem como o impacto político, econômico e social dessa explosão. A partir dessa

No início da aula será apresentado o problema pelo professor intitulado: *Se uma bomba atômica caísse em alguma cidade no Brasil, como, por exemplo, a cidade de São Paulo?* Os alunos serão instruídos a se reunir em grupos de no máximo 5 pessoas a fim de discutir o que eles acreditam que possa acontecer na cidade de São Paulo, caso sofresse ataque nuclear. É estipulado um tempo de 10 minutos para esse momento. Em seguida, os estudantes trariam suas ideias para a turma, a fim de socializar o observar se aparecem outras opiniões. A partir dessa discussão, apresentará o vídeo “E se uma bomba atômica caísse na cidade de São Paulo?”. O vídeo tem por objetivo mobilizar a discussão trazendo novos argumentos ou confirmando as ideias trazidas pelos alunos, isso pode levar os alunos a confrontar ou concordar com suas ideias iniciais sobre os efeitos da bomba e suas consequências na política nacional e na sociedade brasileira.

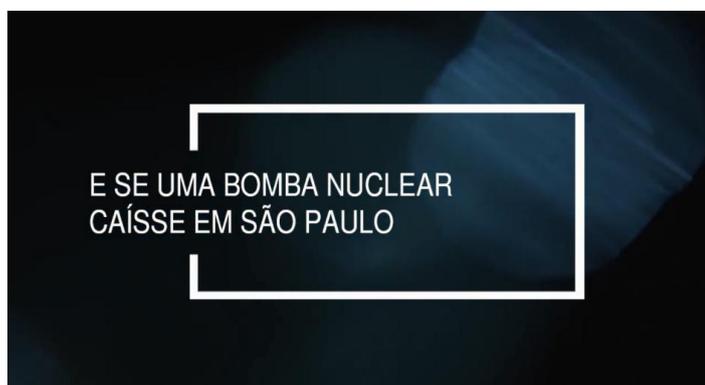
Nesse momento a mediação do professor é muito importante, pois os alunos podem trazer poucas concepções e, para que as ideias surjam, é necessário instiga-los a expressar e pensar. Abaixo segue algumas sugestões de perguntas a serem feitas:

- 1) A partir do problema: *Se uma bomba atômica caísse na cidade de São Paulo?* O que vocês discutiram que poderia acontecer.

- 2) Como podemos prever as consequências políticas e sociais em São Paulo? Essas consequências podem atingir o resto do Brasil, de que forma?

As perguntas acima têm por objetivo iniciar a discussão, a partir das respostas dos alunos o professor poderá fazer outras indagações que poderão ser uma forma de levantar as ideias dos alunos sobre o problema. Logo após esse momento, é apresentado o vídeo intitulado *Se uma bomba nuclear caísse em São Paulo*. O professor pode interromper a exibição do vídeo para destacar algumas partes e fomentar novas discussões.

Figura 14 – Vídeo “Se uma bomba nuclear caísse me São Paulo”



Fonte: do autor.

A escolha desse vídeo está relacionada com o conceito que devemos trabalhar, a saber a energia de repouso na equação $E=mc^2$.

Após a apresentação do vídeo, é feito um novo momento de discussão a partir das ideias apresentadas pelos alunos e as informações trazidas pelo vídeo.

O objetivo dessa discussão é trazer novos elementos que podem corroborar com as ideias dos alunos, ou não. Aí as características CTS podem ser observadas, como as contradições trazidas por um tema controverso que tem implicações sociais.

A partir da mediação do professor, poderá aparecer, nas falas dos alunos, outras utilizações da energia nuclear, como as usinas nucleares. Com isso, é apresentado dois vídeos, um sobre os trinta anos do desastre de Chernobyl e outro sobre o acidente de Fukushima. Esse momento também pode ser feito por meio de um texto. Abaixo segue algumas questões que podem fomentar a discussão dessa parte.

- 1) O que mais chamou a atenção de vocês nesses vídeos? (Conduzir a aula para que os alunos possam relacionar a energia liberada na explosão da bomba)

- 2) Observando o que foi retratado no vídeo, como podemos prever as consequências desse ataque para os outros estados no Brasil?

Observações: Devo ressaltar que a escolha do vídeo fica a critério do professor, nessa sequência, foi colocado esse vídeo que pode ser acessado no link <https://www.youtube.com/watch?v=X8YT-ICfE8>, contudo, o professor pode encontrar outros vídeos na internet e, se achar mais conveniente pode trazer a

discussão da Usina Nuclear primeiro. A escola de discutir sobre a Bomba Atômica no início se deve pelo fato de ser um tema que considero chamar a atenção do estudante.

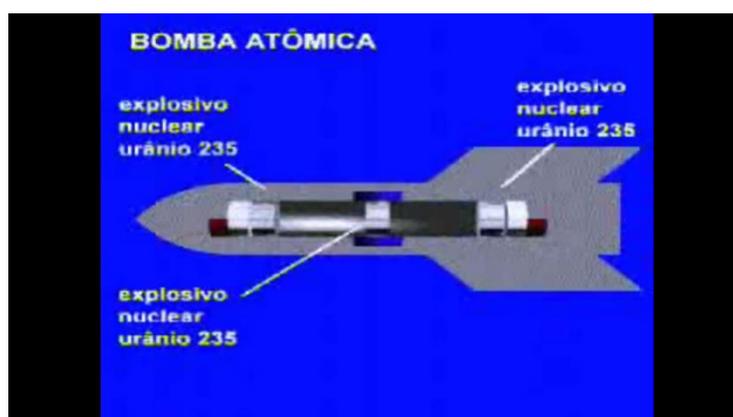
Atividade 2: Discutir a tecnologia relacionado com a problemática social

Situação Problema: A partir dos vídeos e das discussões das aulas anteriores como poderemos construir uma bomba atômica e uma usina nuclear?

Aqui haverá a discussão da tecnologia relacionada a bomba atômica e a usina nuclear. Espero que os alunos possam levantar hipóteses de como uma bomba atômica e uma usina nuclear funcionam. Deverão relacionar os elementos químicos que são usados para produção de energia nuclear e para a explosão da bomba atômica. Nesse ponto deve ser observado se os alunos conseguem relacionar o desenvolvimento da tecnologia e suas consequências na sociedade,

Novamente é solicitado que os alunos reúnam-se em grupos menores para levantar as hipóteses sobre o funcionamento de bomba atômica e de uma usina nuclear. É feito um momento de socialização das ideias iniciais e, posteriormente, apresentado dois vídeos sobre o funcionamento da bomba atômica e da usina nuclear.

Figura 15 – Funcionamento da bomba atômica



Fonte: do autor.

Figura 16 – Funcionamento de uma usina nuclear



Fonte: do autor.

É feito outro momento de conversa sobre as ideias apresentadas anteriormente e o que os estudantes viram nos vídeos. A utilização dos vídeos é importante para que os alunos tenham um apoio visual para melhor compreensão, é claro que pode ser feito por meio de textos, porém, os vídeos são mais ilustrativos.

As indagações serão voltadas para a tecnologia envolvida.

1) Como funciona uma bomba atômica?

2) Quais os processos estão acontecendo na bomba para que haja a explosão que observamos em Hiroshima e Nagasaki?

3) Como faço para construir uma bomba atômica?

4) Qual o princípio de funcionamento de uma usina nuclear?

5) E que a usina nuclear se difere de uma usina Hidrelétrica?

Essa atividade tem por objetivo discutir a tecnologia. Isso pode ser feito com o uso de um vídeo, um texto ou um simulador computacional. Para esse trabalho, foi usado dois vídeos: um sobre o funcionamento da bomba atômica disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=pDeNPLhn548> e outro sobre uma usina nuclear disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=nCmxLRUaR4w>. Novamente, os vídeos aqui apresentados são sugestões, o professor pode trabalhar por meio de textos que podem ser extraídos de livros didáticos, por exemplo, no livro Torres, et al (2013), tem uma discussão interessante na página 277 sobre a usina nuclear de Angra dos Reis, também, no livro Máximo e Alvarenga (2014), nas páginas 308 e 309 trazem uma discussão sobre a destinação do lixo nuclear nas usinas brasileiras, o que pode ser uma boa opção para desenvolver a consciência crítica do aluno. Temos também, seguindo mesma linha, o texto de Hannun, Marsh e Stanford (2001) publicado na revista Scientific American Brasil das páginas 16 à 23 temos uma discussão sobre uma usina nuclear e o lixo produzido.

Atividade 3: A Tecnologia é estudada em função dos conteúdos.

Situação Problema: O que desencadeou a construção da bomba atômica e como esse evento pode influenciar na sociedade atual?

No início da aula o professor discute os acontecimentos das últimas aulas, em seguida é apresentado dois textos relacionados à bomba atômica e sobre a importância de Albert Einstein para sua construção. Em um dos textos temos a carta que Einstein escreveu para o presidente dos Estados Unidos Franklin Delano Roosevelt sobre os estudos da energia nuclear e suas potencialidades e o outro é sobre a repercussão dessa carta e suas consequências. Os estudantes, em grupos de 5 pessoas, discutirão o seu conteúdo e, ao final do texto, responderão 10 questões onde investigarão a relação de Einstein nesses eventos. Nesse momento os alunos responderão apenas discutindo e expondo suas ideias e será feito um registro de áudio dessas discussões. A partir das discussões dos alunos eles sistematizam as respostas e produzem um trabalho escrito com as respostas das perguntas. Espero observar como os estudantes relacionam os avanços

tecnológicos com o desenvolvimento social e como as concepções dos estudantes se aproximam da científica, assim como os argumentos desses estudantes apresentam posicionamentos mais críticos perante o desenvolvimento da ciência, sua aplicação tecnológica e as consequências sociais.

Esse momento da aula os alunos podem se reunir em grupos menores para ler os textos e responder as questões. Sugere-se que os alunos discutam e respondam as questões conforme as contribuições de todos os componentes do grupo. Para esse trabalho, foi solicitado que os estudantes gravassem em áudio as discussões que tiveram, o que não é um requisito para esse momento, todavia, o professor deve ficar atento à participação de todos, uma recomendação é que o professor caminhe entre os grupos e converse com os alunos indagando sobre suas respostas e instigando aqueles alunos que não estão contribuindo na discussão. Segue abaixo os textos e as questões trabalhadas. É claro que são apenas sugestões, todavia, é importante retornar ao problema inicial e suas discussões até esse momento da sequência.

Einstein e a bomba atômica

No ano de 1939, mais precisamente em dois de agosto, Albert Einstein escreveu uma carta ao então presidente dos Estados Unidos, Franklin Delano Roosevelt, acerca da possibilidade da criação de uma bomba configurada a partir de uma cadeia de reações em uma grande massa de urânio (bomba atômica).

Dizia Einstein em sua carta que “nos últimos quatro meses tornou-se provável – através do trabalho de Joliot, na França, bem como de Fermi e Szilard, nos EUA – que seja possível desencadear, numa grande massa de urânio, uma reação nuclear em cadeia, que geraria vastas quantidades de energia e grandes porções de novos elementos com propriedades semelhantes às do elemento rádio”. Dizia ainda que essa reação permitiria a construção de bombas ao passo que “um único exemplar desse tipo, levada por um navio ou detonada em um porto, poderia muito bem destruir todo porto junto com uma grande área ao seu redor”.

Einstein pediu a Roosevelt que o programa nuclear se iniciasse o mais rápido possível. O presidente, por sua vez, reuniu cientistas, engenheiros, militares e funcionários do governo para juntos criarem o Projeto Manhattan, cujo objetivo final era produzir a bomba atômica.

Esse projeto custou aos cofres públicos mais de 2 bilhões de dólares, para a construção de 37 laboratórios especiais para pesquisas em 19 estados, bem como no Canadá. É curioso ressaltar que, apesar do montante de recursos e da quantidade de pessoas envolvidas no projeto, o segredo foi tão bem mantido que praticamente ninguém fora de um pequeno círculo seletivo sabia o que se passava.

Anos mais tarde, Einstein lamentou o papel que teve no desenvolvimento dessa arma destrutiva: “Eu cometi o maior erro da minha vida, quando assinei a carta ao Presidente Roosevelt recomendando que fossem construídas bombas atômicas”.

No dia 6 de agosto de 1945, o avião norte-americano Enola Gay lançou a primeira bomba atômica já usada em uma guerra sobre a cidade de Hiroshima, no Japão, matando cerca de 140 mil pessoas. Três dias depois foi a vez Nagasaki ser atingida por outra bomba. Este último artefato foi lançado cerca 1,5 km longe do alvo, que era o centro da cidade e, mesmo assim, matou 75 mil pessoas.

Hoje, apesar da existência do Tratado de Não proliferação Nuclear, assinado em 1961, vários países ainda têm interesse na construção de armas nucleares para se fortalecerem política e militarmente.

Após a construção da bomba atômica, surgiu a bomba H (hidrogênio), com poder de destruição dez vezes maior que a primeira bomba atômica, e hoje, pelo menos na ficção, estão tentando criar a bomba de antimatéria, infinitamente mais destrutiva do que a bomba de Hidrogênio.

Em 2009, a bomba atômica voltou a ser notícia no mundo inteiro, após o Presidente do Irã, Mahmoud Ahmadinejad, anunciar, no dia 23 de junho, novos testes com mísseis capazes de atingir Israel e as bases americanas no Golfo Pérsico. Recentemente, o presidente iraniano declarou ao mundo que retomará as pesquisas nucleares no país.

Franklin D. Roosevelt
Presidente dos Estados Unidos
White House
Washington, D.C.

Senhor:

Alguns trabalhos recentes realizados por Enrico Fermi e L. Szilard, dos quais fui informado em manuscritos, me levam a esperar, que o elemento urânio possa se converter em uma nova e importante fonte de energia no futuro imediato. Certos aspectos da situação produzida parecem requerer vigilância, e se for necessário, de uma rápida ação por parte da Administração. Por isso, acho que é meu dever chamar sua atenção sobre os seguintes fatos e recomendações:

No curso dos últimos quatro meses surgiram a probabilidade -através do trabalho de Joliot na França bem como o de Fermi e Szilard nos Estados Unidos- de que pudéssemos ser capazes de iniciar uma reação nuclear em cadeia em uma grande massa de urânio, por meio do qual seria possível gerar enormes quantidades de potência e grandes quantidades de novos elementos similares ao rádio. Agora parece quase seguro que é possível chegar a este objetivo no futuro imediato.

Este novo fenômeno poderia conduzir também à construção de bombas, e é concebível -ainda que com menor certeza- que possam construir bombas de um novo tipo extremamente poderosas. Somente uma bomba desse tipo, levada por um barco e lançada em um porto, poderia muito bem destruir o porto por completo, bem como o território que o rodeia. No entanto tais bombas poderiam ser muito pesadas para serem transportadas pelo ar.

Os Estados Unidos só contam com minas de urânio muito pobres e em quantidades escassas. Há minas muito boas no Canadá e na Checoslováquia, enquanto a fonte mais importante de urânio está no Congo Belga.

Em vista desta situação, você poderia pensar que é desejável estabelecer algum tipo de contato permanente entre a Administração e o grupo de físicos que trabalham em reações em cadeia nos Estados Unidos. Uma possível forma de

consegui-lo poderia ser colocar nesta função uma pessoa de sua inteira confiança, que talvez poderia servir de maneira extraoficial. Suas funções seriam as seguintes:

a) contatar com os Ministérios do Governo, mantendo-os informados dos próximos desenvolvimentos, e fazer recomendações para as ações de Governo, tendo particular atenção no problema que supõe assegurar um fornecimento de mineral de urânio para os Estados Unidos.

b) acelerar o trabalho experimental, que neste momento se efetua com orçamentos limitados dos laboratórios das universidades, mediante a contribuição de financiamento se for necessário, através de contatos com particulares do âmbito privado que estejam dispostos a fazer contribuições para esta causa, e talvez obtendo também a cooperação dos laboratórios industriais que possam ter a equipe necessária.

Entendi que a Alemanha deteve atualmente a venda de urânio das minas da Checoslováquia recentemente tomadas a força. Esta ação poderia ser entendida se levarmos em conta que o filho do Subsecretário de Estado Alemão, von Weizäcker, está atribuído ao Instituto Kaiser Guillermo de Berlim, onde alguns dos trabalhos com urânio realizados nos Estados Unidos estão sendo replicados.

Atenciosamente,

Albert Einstein.⁹

Acesso:<http://www.ndig.com.br/item/2010/08/einstein-e-a-carta-que-mudou-a-historia#ixzz4NI5LqN3k>

Franklin D. Roosevelt

Questões:

- 1) Faça um resumo dos acontecimentos que mais chamaram atenção nas discussões das últimas duas aulas.

⁹ Disponível em: <http://www.ndig.com.br/item/2010/08/einstein-e-a-carta-que-mudou-a-historia#ixzz4NI5LqN3k>. Acesso em: 12 de agosto de 2016.

-
-
- 2) Com base no vídeo “E se uma bomba atômica caísse na cidade de São Paulo” descreva as possíveis consequências desse acontecimento em São Paulo e no resto do Brasil como, por exemplo, na região onde você mora, do ponto de vista físico, social e político.

-
-
-
-
- 3) Discuta e elabore um pequeno texto mostrando o que teve de bom e de ruim **nos estudos** que levaram à construção da bomba atômica.

-
-
-
-
- 4) Quais as formas de energia que você consegue observar na bomba atômica?

-
-
-
-
- 5) Na carta que Einstein escreveu para o presidente Franklin D. Roosevelt observamos a menção das reações em cadeia em processos físicos. Como você descreveria uma reação em cadeia?

- 6) Alguns elementos químicos foram mencionados no texto como os Urânio, por exemplo. Já no vídeo sobre Chernobyl, foram citados outros elementos como Césio 137, Estrôncio 90 ou Iodo 131. Por que você acredita que esses elementos são essenciais para a bomba atômica ou para as usinas nucleares?

- 7) Qual a importância da carta do Einstein para o desenvolvimento do estudo da tecnologia nuclear?

- 8) Em sua opinião, porque Einstein disse “Eu cometi o maior erro da minha vida...”?

- 9) No contexto atual, em que se busca novas formas de energia para suprir as necessidades das indústrias e da população, a energia de usinas como a de Fukushima, no Japão, poderia ser uma solução? Justifique com os pontos a favor e contra.

10) Qual a real contribuição de Albert Einstein no desenvolvimento da bomba atômica e da energia nuclear?

Essa parte retomamos o problema inicial com embasamentos construídos durante a sequência. O desenho metodológico construído aqui é de sempre retomar as questões levantadas anteriormente, por isso as 10 questões sugeridas, contudo, seria necessário no mínimo duas aulas para que os estudantes possam discutir, responder e trazer suas respostas para o grande grupo, se o professor achar que é muito tempo para esse momento a solução é reduzir o número de questões. O professor pode trabalhar com vídeos também. Posso sugerir um trecho de um vídeo da History Channel em que apresenta as contribuições de Albert Einstein no desenvolvimento científico que levaram a construção das bombas atômicas que, em 1945 foram lançadas em Hiroshima e Nagasaki, disponível no link <https://www.youtube.com/watch?v=8v7X7NRckvk>.

Atividade 4: Os conhecimentos físicos envolvidos na tecnologia são discutidos

Nessa parte é apresentado um texto referente a equação $E=mc^2$ para levantar as ideias que os alunos tem sobre a equação. Pretendo levantar o máximo de informações sobre como os alunos entendem a equação deixando bem claro que os estudantes não se preocupem com o que está certo ou errado e sim eu eles falem o que eles entendem dessa equação. A partir dessa discussão é apresentado outro texto retirado do livro didático Sampaio e Calçada (2005) da página

Os alunos são conduzidos ao laboratório de informática e recebem um texto intitulado “Discutindo a equação $E=mc^2$ ” e são instruídos a reunirem-se em grupos menores, como foi feito nas outras partes da sequência, com o objetivo de lerem e resolverem

as questões apresentadas ao final dessa atividade. Logo após esse momento, é feita uma discussão com o grupo maior acerca das ideias que os alunos tiveram.

Após esse momento, é apresentado um segundo texto que tem por objetivo mostrar ao aluno o significado cientificamente aceito e comparar com as ideias que eles tiveram anteriormente. Sempre relacionando ao problema inicial.

Segue abaixo o primeiro texto com as questões:

DISCUTINDO A EQUAÇÃO $E=mc^2$

A massa de uma bola de sorvete pode ser convertida em energia? Basta substituir as 200g pelo m da expressão e obter o valor da energia. Mas o que realmente isso quer dizer? Que a bola de sorvete é energia? E porque não podemos acessar essa energia? Da mesma maneira posso dizer que luz pesa? De que massa estamos falando? Gravitacional? Inercial? Quantidade de matéria?

Leia os textos abaixo e responda as questões:

Matéria X massa e radiação X energia

Disponível em: < http://atomico.no.sapo.pt/08_10.html >

Frequentemente ouvimos dizer que a equação $E=mc^2$ tornou possível a Fabricação da bomba atômica. Porém, isso não é verdade, como veremos a seguir: Um dos tipos de bomba atômica é construído a partir da fissão (fragmentação) do núcleo do átomo de urânio. Um nêutron atinge o núcleo de urânio tornando-o instável. Com isso o núcleo de urânio se divide em dois núcleos menores com emissão de dois ou três nêutrons e alguns fótons. Nesse processo, uma parte da energia potencial armazenada no núcleo (elétrica e nuclear) transforma-se em radiação e energia cinética dos fragmentos que resultam após a fissão. Não há alteração no número total de prótons e nêutrons, isto é, não há conversão de matéria em radiação, mas apenas transformações de energia. Se quisermos, podemos calcular as variações

de massa e energia e, com isso, confirmar a validade da equação de Einstein. No entanto, não precisamos da equação para construir (e explodir) a bomba.

Generalização de $E = mc^2$

Disponível em: < http://www.feiradeciencias.com.br/sala23/23_R09.asp>

A expressão que relaciona massa e energia implica em que todo sistema que tem energia E , tem associado a ele uma massa $m = E/c^2$ e todo sistema que tem massa m , tem associado uma energia $E = mc^2$. Assim, energia pode ser medida em kg e massa em joules! (1 kg = 9×10^{16} joule.)

Fundamentos da Física – Ramalho, Nicolau e Toledo.

Uma das maiores consequências da teoria da relatividade especial é o fato de que a massa é uma forma de energia, ou seja, a energia tem inércia.

Segundo as próprias palavras de Einstein:

"toda energia E , de qualquer forma particular, presente em um corpo ou transportada por uma radiação, possui inércia, medida pelo quociente do valor da energia pelo quadrado da velocidade da luz (E/c^2) ;

"reciprocamente a toda massa m deve-se atribuir energia própria, igual a mc^2 , além da energia potencial que o corpo possui num campo de forças";

"assim, massa e energia são duas manifestações diferentes da mesma coisa, ou duas propriedades diversas da mesma substância física"

A equação estabelece que a energia total (em joules) de um corpo de massa m (em quilogramas) é o produto de sua massa pelo quadrado da velocidade da luz no vácuo (em metros por segundo).

Por essa equação, 1 kg de massa é equivalente a 9.10^{16} joules, ou seja, 2,5.10¹⁰ quilowatts.hora. Com essa energia, uma lâmpada de 100W poderia ficar acesa

durante $2,5 \cdot 10^{11}$ h, o que equivale a aproximadamente $2,8 \cdot 10^7$ anos (28.000.000 anos).

A conversão de matéria em energia ocorre continuamente em fontes de energia como o Sol e outras estrelas, e em todos os processos nos quais a energia é liberada como, por exemplo, nas bombas atômicas.

Observe que E é a energia total do corpo para um observador que mediu a massa m . Se o corpo está em repouso relativamente ao observador, a massa do corpo é a massa de repouso m_0 , e a energia é $E_0 = m_0 c^2$, é chamada energia de repouso do corpo.

That famous Equation and You (Brian Greene), The New York Times, 30 de September de 2005.

“As ilustrações padrão da equação de Einstein – bombas e usinas – perpetuaram a crença de que $E = mc^2$ tem uma associação especial com reações nucleares e, assim, está ausente da vida cotidiana.

Isso não é verdade. Quando você dirige um carro, $E = mc^2$ está em ação. Enquanto o motor queima gasolina para produzir energia na forma de movimento, ele faz isso convertendo uma parte da massa da gasolina em energia, de acordo com a fórmula de Einstein. Quando você usa seu MP3 player, $E = mc^2$ está em ação. Ao utilizar a bateria para produzir energia na forma de ondas sonoras, o tocador converte uma parte da massa da bateria em energia, como previsto pela fórmula de Einstein. Enquanto você lê este texto, $E = mc^2$ está em ação. Os processos no olho e cérebro, envolvendo percepção e pensamento, está baseado em reações químicas que intercambiam massa e energia, novamente de acordo com a fórmula de Einstein.”

1. O que você entende pela expressão $E = mc^2$? Qual o significado de cada termo da expressão?

2. Os textos acima mostram algumas interpretações para a equação de Einstein que possivelmente podem ser corretas. Em sua opinião qual ou quais textos apresentam a interpretação correta para a equação?
3. “Um corpo em movimento tem tanto massa como energia cinética. Resiste mais fortemente à alteração de velocidade do que um corpo em repouso” (Einstein). Quando Einstein fez a afirmação acima deu uma interpretação para a massa de um corpo diferente daquela aceita na época. Pesquise qual foi essa interpretação e sua relação com a sua equação de energia.
4. Quando observamos a equação $E=mc^2$ podemos afirmar que “A energia é convertida em massa, e vice-versa”? Justifique sua resposta.

É importante lembrar que nesse processo o aluno precisa ter a consciência de que não estamos buscando respostas corretas ou erradas e que eles devem ter liberdade de expor o que pensam. Logo, a figura do professor é muito importante, é ele quem vai fornecer segurança para que o estudante possa expressar suas concepções.

Atividade 5: Retomada do problema inicial. Atividade avaliativa.

Nessa parte da Sequência, será retomada a questão inicial relacionando todas as discussões feitas até então.

Será proposto um trabalho em que os alunos desenvolverão materiais multimídia contendo todas as informações trabalhadas na sequência. É feita duas propostas para que os estudantes possam seguir em suas produções. Além disso, a equação deve aparecer apresentando sua relação com os conceitos apresentados no vídeo. Os alunos se organizarão em grupos de no máximo 5 pessoas e terão duas propostas:

- 1) Uma bomba nuclear está prestes a cair na região de Porto Canoa. Crie uma campanha alertando a população dessa possível catástrofe. Nessa campanha deve constar as possíveis consequências físicas, sociais e políticas. Mostrar como funciona uma bomba atômica e sua relação com a equação $E=mc^2$.

- 2) Uma empresa decide construir uma usina nuclear na região de Porto Canoa. Sua tarefa é alertar a população quanto aos prós e contras dessa construção. O grupo deve explicar o funcionamento de uma usina nuclear, suas implicações políticas, sociais e ambientais, dando ênfase ao problema do lixo nuclear, assim como relacionar os processos envolvidos na produção de energia com a equação $E=mc^2$.

As propostas apresentadas como sugestões acima podem ser modificadas dependendo de como o professor desenvolveu as outras partes da sequência. Outra sugestão, para quem tiver alunos com habilidades de desenho, é pedir uma história em quadrinhos com o tema bomba atômica ou usina nuclear. Outros professores preferem que os alunos apresentem palestras informativas sobre o tema. O importante é que os estudantes possam, coletiva e individualmente, expor o que aprenderam até aqui.

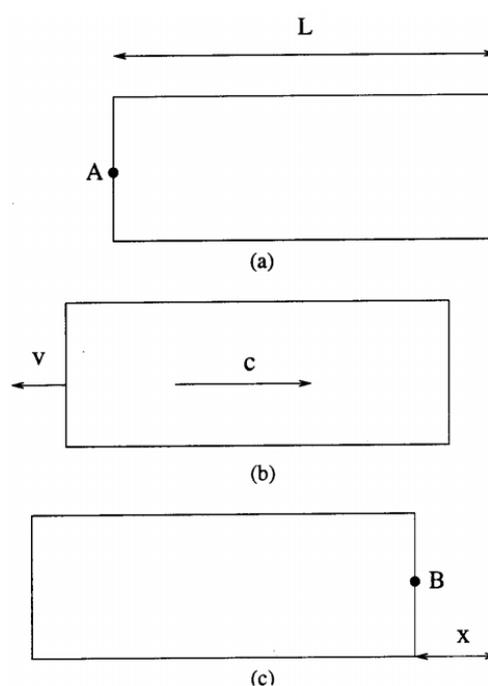
Atividade 6: Deduzindo a equação $E=mc^2$.

O objetivo desse trabalho de mestrado não foi a dedução da equação, todavia, como esse material de apoio ao professor tem por objetivo auxiliar na tarefa do cotidiano escolar, cabe aqui uma indicação de como proceder para trabalhar com a dedução dessa equação a nível do Ensino Médio. Devo lembrar que a dedução é quantitativa e, da forma como conduzi esse trabalho, seria necessário o acréscimo de duas a quatro aulas em comparação ao utilizado nesse trabalho, tendo em vista as dificuldades que os alunos geralmente apresentam ao se depararem com formalismo matemático, contudo, como essa parte foi pensada naquele aluno que tem aptidão para os argumentos apresentados minha sugestão é uma aula expositiva com a participação do aluno, além do mais, esse aluno deve ter um conhecimento razoável de Física como a noção quantidade de movimento, radiação eletromagnética e o princípio de conservação de energia e momento linear bem claros.

Para iniciar o professor pode lembrar os alunos que Einstein era famoso por seus experimentos mentais. Assim, o professor poderia iniciar com uma situação problema:

Imagine um cilindro que disponha de uma fonte luminosa em seu lado direito. Caso essa fonte emita uma onda eletromagnética (Luz) o que podemos esperar que aconteça com a posição desse cilindro? Se essa onda for reabsorvida pela extremidade oposta, o que acontecerá? (A figura 17 serviria como uma forma de ajudar o aluno a compreender melhor a proposta.)

Figura 17 – Cilindro emitindo e absorvendo um pulso de radiação eletromagnética



Fonte: Lemos (2001).

A figura 17 pode ser projetada utilizando um Datashow, por exemplo, ou disponibilizada no material fornecido a eles na tarefa de leitura. O professor, então, pode explicar que o pulso de luz é emitido da extremidade A e absorvido na extremidade B .

Nesse caso em particular, como estamos tratando de uma onda eletromagnética o aluno, provavelmente, imaginará que o cilindro não se moveria. Para resolver esse problema o professor tem a opção de elaborar uma tarefa de leitura sobre a teoria eletromagnética de Maxwell que afirma que uma onda transporta energia, devido sua natureza ondulatória, e momento linear, por sua natureza corpuscular. A famosa dualidade onda-partícula. Como não é nosso objetivo trazer nessa sequência essa

discussão, basta um texto em que o aluno possa observar e perceber que essa onda eletromagnética transporta momento dado por:

$$p = \frac{E}{c}, \quad (1)$$

onde p representa o momento linear, E representa energia e c a velocidade da luz.

Nesse momento o aluno deve ser convidado a abandonar suas concepções de que a luz é apenas uma onda, mas pode assumir características de uma partícula e, por isso, ao emitir a luz, transportará uma massa que chamaremos de m .

Nesse instante da aula o professor deve apresentar, ou lembrar ao aluno, o princípio de conservação de momento linear total, que, aplicado a esse caso, como se trata de um sistema isolado, e sabendo que o momento antes da emissão é nulo teremos:

$$(M - m)v = \frac{E}{c}. \quad (2)$$

Onde M é a massa do cilindro, m é a massa transportada pelo pulso, v é a velocidade do cilindro após a emissão, E é a energia e c é a velocidade da luz.

Podemos, nesse momento, voltar à questão proposta no início dessa atividade juntamente com os argumentos desenvolvidos até aqui. A conclusão pode ser conduzida pelo professor por meio de perguntas simples como:

- 1) Como vimos, a massa do cilindro diminui após a emissão, como vimos. Quais os efeitos que podemos esperar com essa diminuição da massa?
- 2) Imaginando a luz não apenas como uma onda, mas como um corpo, será que podemos imaginar, como analogia, um canhão atirando uma bola? O que acontece com o canhão ao atirar essa bola? Será que podemos imaginar que isso também pode ocorrer nesse nosso caso?
- 3) O que podemos dizer sobre o tempo de recuo e o tempo de voo da onda eletromagnética?

Seguindo o raciocínio que os alunos desenvolverem, o professor pode levá-los a conclusão que o cilindro recua ao emitir essa onda eletromagnética e retorna à sua

posição ao absorver essa onda. A partir dessa conclusão o professor pode passar para a próxima parte dessa análise.

Quanto a terceira pergunta, o aluno pode não conseguir responder. O professor deve então conduzir o raciocínio, a fim de que o aluno possa chegar à conclusão que os tempos são iguais. Para isso ele pode usar a figura 1 como referência. Com essa explicação clara para o estudante e lembrando da noção de velocidade média, temos que o tempo de recuo do cilindro pode ser expresso por $t_c = x/v$ ao passo que o tempo de voo do pulso é $t_p = (L - x)/c$, onde x é o recuo do cilindro, L o tamanho do cilindro, t_c é o tempo de recuo do cilindro e t_p é o tempo de voo do pulso. Assim, como os tempos são iguais, teremos:

$$\frac{x}{v} = \frac{(L - x)}{c} \quad (3)$$

Como foi concluído, o centro de massa desse cilindro não pode ter se deslocado no processo de emissão e absorção do pulso, logo, esse pulso transporta uma certa massa do ponto A ao ponto B.

Essa conclusão é uma conclusão que o aluno, sozinho, teria muita dificuldade de chegar, portanto deve ser conduzida pelo professor.

Lembrando que a massa do cilindro é M e que a massa transportada pelo pulso é m , para que o centro de massa não mude de posição teremos:

$$(M - m)x = m(L - x) \quad (4)$$

Agora, teremos uma álgebra bem simples, podemos unir as equações 2, 3 e 4. O processo pode ser feito por substituição. Isolamos $(M - m)$ da equação 2 e $(L - x)$ na equação 3. Depois substituímos na equação 4 e organizamos. Como resultado temos:

$$E = mc^2 \quad (5)$$

Lembrando que essa forma de dedução não exige muito conhecimento matemático, porém, como foi mencionado alguns conceitos físicos devem ser trabalhados para que o aluno entenda essa dedução.

Vale lembrar também, que essa dedução pode fazer parte de uma sequência investigativa, tendo em vista que em algumas sequências, quando lidamos com questões mais complexas no desenvolvimento dos objetivos de ensino podemos desenvolver outras atividades sem que estas descaracterizem o ensino por investigação. Ainda nesse assunto, Azevedo (2004, p. 27) completa:

Após as discussões e reflexões, é a vez do professor sistematizar as explicações dadas ao fenômeno, preocupando-se em enfatizar como a ciência descreve e, algumas vezes, quando necessário, chegando às representações matemáticas que descrevem o fenômeno.