

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**TÍTULO:** DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO MÉDIO: A EQUAÇÃO  
RELATIVÍSTICA ENTRE MASSA E ENERGIA

**AUTOR:** David Elias da Silva

**ORIENTADOR:** Maria José Pereira Monteiro de Almeida

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pósgraduação da Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Educação, na área de concentração de Ensino e Práticas Culturais.

Campinas  
2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO


DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Título:** DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO MÉDIO: A EQUAÇÃO  
RELATIVÍSTICA ENTRE MASSA E ENERGIA


Autor: David Elias da Silva  
Orientadora: Maria José Pereira Monteiro de Almeida

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de  
Mestrado defendida por David Elias da Silva e aprovada pela  
Comissão Julgadora.  
Data: 07/08/ 2012

Assinatura Orientadora: \_\_\_\_\_



COMISSÃO JULGADORA:

\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA  
DA FACULDADE DE EDUCAÇÃO/UNICAMP  
GILDENIR CAROLINO SANTOS – CRB-8ª/5447

Si38d Silva, David Elias da, 1980-  
Divulgação científica no ensino médio: a equação  
relativística entre massa e energia / David Elias da Silva. –  
Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientador: Maria José Pereira Monteiro de Almeida.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Educação.

1. Einstein, Albert, 1879-1955. 2. Relatividade.  
3. Divulgação científica. 4. Mediação. I. Almeida, Maria José  
Pereira Monteiro, 1944- II. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Educação. III. Título.

12-179/BFE

Informações para a Biblioteca Digital

**Título em inglês:** Science popularization in high school: the relativistic equation  
between mass and energy

**Palavras-chave em inglês:**

Einstein, Albert, 1879-1955

Relativity

Science popularization

Mediation

**Área de concentração:** Ensino e Práticas Culturais

**Titulação:** Mestre em Educação

**Banca examinadora:**

Maria José Pereira Monteiro de Almeida (Orientador)

Carola Dobrigkeit Chinellato

Salette Linhares Queiroz

Pedro da Cunha Pinto Neto

José Cláudio Galzerani

**Data da defesa:** 07-08-2012

**Programa de pós-graduação:** Educação

**e-mail:** [davidquantico@hotmail.com](mailto:davidquantico@hotmail.com)

## **AGRADECIMENTOS**

À minha orientadora pelas broncas e por sempre acreditar que eu era capaz;

À banca de qualificação, pelas contribuições significativas que fizeram no momento mais importante da construção deste trabalho.

À banca de defesa, pelas sugestões e pelos elogios que me fizeram sentir que todo meu esforço tinha valido a pena.

Aos meus amigos do gepCE pelas angústias compartilhadas e por todas as discussões proporcionadas, acadêmicas ou não;

Aos meus pais por me ensinarem os verdadeiros valores da vida e por sempre me incentivarem a continuar lutando pelos meus ideais;

À minha irmã, meu cunhado e minha sobrinha pelo apoio e pela paciência em escutar meus desabafos;

À minha esposa por toda compreensão e carinho dados nos momentos mais difíceis, além da ajuda fundamental na revisão ortográfica e nos pitacos dados durante as várias leituras do meu trabalho;

Aos meus alunos pela colaboração, admiração e respeito profissional.

**De coração, obrigado.**



## RESUMO

É cada vez maior o número de publicações que abordam temas relacionados à área de Ensino de Ciências. Por outro lado, a física ensinada nas salas de aula ainda é considerada ultrapassada e desestimulante. Vários trabalhos nesta área apontam que a inserção de Física Moderna e Contemporânea (FMC) pode ser importante para estimular estudantes na aprendizagem da física. Uma maneira de facilitar essa inserção pode ser através da utilização de materiais de divulgação científica. Dessa forma, este estudo tem o objetivo de evidenciar que textos de divulgação científica, aliados à mediação do professor, podem contribuir significativamente para melhorar interpretações de estudantes a respeito de elementos da teoria da Relatividade de Einstein e suas implicações. Para isso, trabalhamos um capítulo do livro de divulgação científica, “Albert Einstein e seu universo inflável”, com alunos de diferentes turmas em todos os anos do Ensino Médio em duas escolas de Campinas, no interior do Estado de São Paulo. Aplicamos questões abertas, com a finalidade de obter uma maior reflexão dos estudantes sobre as informações contidas no texto. As respostas foram analisadas mediante categorização e com base em algumas noções da Análise do Discurso, desenvolvidas e divulgadas no Brasil por Eni P. Orlandi. Entre as mudanças na interpretação dos estudantes destacamos que houve deslocamentos no conhecimento sobre a figura do cientista Albert Einstein e sobre alguns pontos de sua teoria da relatividade. Além disso, nas respostas apresentadas, foi possível observar diferentes formas de repetição, da empírica à histórica (termos propostos por Orlandi), como indício de diferentes graus de aprendizagem.

## ABSTRACT

The number of publishings concerning topics related to the Teaching of Science is greater each day. On the other hand, the way Physics is taught in the classrooms nowadays is still considered old-fashioned and not stimulating. Research in this area shows that introducing Modern and Contemporary Physics can be important to stimulate students to learn physics. A way to facilitate this introduction may be through the use of science popularization materials. This way, this study has the aim of making it evident that science popularization texts, associated with the mediation of the teacher, can significantly contribute to improve the interpretation of students concerning the elements of Einstein's Relativity Theory and its implications. To do so, we have worked with a chapter from the science popularization book "Albert Einstein and his inflatable universe", with students from different groups in all the grades of secondary school in two schools in Campinas, State of São Paulo, and gave them narrative questions, with the aim of obtaining a greater reflection from the students about the information in the text. The answers were analyzed based on categories and some notions of Speech Analysis, developed and promoted in Brazil by Eni P. Orlandi. Among the changes in the students' interpretation, we highlighted that the students acquired knowledge about the scientist Albert Einstein and some aspects of his relativity theory. Besides that, in the presented answers, it was possible to observe different ways of repetition, from the empiric to the historical (terminology proposed by Orlandi), as an indicator of different degrees of learning.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
<b>1. EINSTEIN E SUA EQUAÇÃO</b>	
1.1 RELEVÂNCIA DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO.....	5
1.2 ELEMENTOS DA VIDA E OBRA DE ALBERT EINSTEIN.....	15
1.3 A EQUAÇÃO $E=MC^2$ .....	20
<b>2. UM TEXTO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: <i>EINSTEIN E SEU UNIVERSO INFLÁVEL</i></b>	
2.1 DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO FORMAL.....	25
2.2 CARACTERÍSTICAS DO LIVRO .....	34
2.3 ANÁLISE DO MATERIAL DE LEITURA .....	37
<b>3. SUPORTE TEORICO/METODOLÓGICO E CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO DAS ATIVIDADES EM AULA</b>	
3.1 ELEMENTOS DA ANÁLISE DE DISCURSO .....	43
3.2 MEDIAÇÃO DO PROFESSOR .....	49
3.3 COLETA DE INFORMAÇÕES .....	56
<b>4. CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE DADOS</b>	
4.1 RESULTADO GERAL.....	63
4.2 MANIFESTAÇÕES DOS ALUNOS .....	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	89
REFERÊNCIAS .....	93
ANEXOS .....	103

## INTRODUÇÃO

A física ensinada na escola vem, ao longo do tempo, esbarrando em alguns problemas como a defasagem curricular e o desinteresse dos alunos. Pesquisas da área de Ensino de Ciências, como as realizadas por Ostermann e Moreira (2000), apontam que a inclusão de Física Moderna e Contemporânea (FMC) nos programas escolares tem contribuído significativamente para atrair a atenção dos alunos e conscientizá-los sobre a importância da ciência no desenvolvimento de uma sociedade.

De acordo com trabalhos que vêm sendo apresentados, principalmente, na última década, como os de Brockington e Pietrocola (2005) e Ostermann e Ricci (2004), são inúmeras as dificuldades de introduzir a FMC no Ensino Médio. Talvez por isso vemos que, em geral, a pesquisa em ensino de ciências apresenta poucas propostas de trabalho testadas e/ou desenvolvidas em sala de aula.

Um recurso bastante defendido por autores como Terrazzan (2000) e Almeida (1998), e que pode se mostrar bastante eficaz nesta inclusão, é a utilização de textos de divulgação científica em situações de ensino escolar. Isso porque esses textos, geralmente, apresentam uma linguagem menos formal e mais atraente para o leitor. Além disso, sua estrutura é propícia à realização de discussões e argumentações (ALMEIDA, 1998).

No campo da Teoria da Relatividade existem muitos livros desse tipo, provavelmente impulsionados pela figura bastante conhecida de Albert Einstein. Essa teoria teve grande impacto na nossa maneira de ver os conceitos fundamentais do tempo e do espaço, e acabou tendo aplicações práticas e diretas na nossa sociedade como, por exemplo, o GPS (*Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global).

Apoiados nestas características e no fato da Teoria da Relatividade apresentar alguns aspectos com razoável nível de abstração dentre os conteúdos de FMC, resolvi trabalhar com estudantes do Ensino Médio o tema que trata da relação massa-energia, presente na obra de Einstein.

Para abordar esse e outros tópicos da Teoria da Relatividade, foi escolhido o livro de divulgação científica “Albert Einstein e seu Universo Inflável”, de Goldsmith (2002).

Esta obra conta a trajetória de um dos mais surpreendentes cientistas que já existiram, incluindo as suas mais famosas teorias, como as Teorias da Relatividade Restrita e Geral. Nele, o autor utiliza uma linguagem divertida e muito próxima da linguagem do cotidiano da maioria dos jovens, além de desenhos e *charges* engraçadas.

Apesar de notar certa dose de informalidade na apresentação dos assuntos deste livro, levei em consideração a grande possibilidade de sua aceitação pelos alunos, devido ao seu formato descontraído. Dessa maneira, acredito que a leitura motivada, aliada à mediação do professor, pode proporcionar situações relevantes de aprendizagem.

O livro de Goldsmith conta em ordem cronológica como foi a vida de Albert Einstein desde sua infância, incluindo episódios pitorescos. Alguns foram, inclusive, possivelmente exagerados pelo autor com a finalidade de tornar a leitura mais engraçada. Ainda sem fugir desse formato, ele conta quando e como as principais teorias de Einstein foram sendo criadas.

No capítulo 15, que foi o capítulo selecionado para ser abordado com os alunos, o autor explora as condições e as consequências da criação da famosa equação  $E=mc^2$ . Neste capítulo consta a possibilidade de conversão de energia (E) em massa (m), e vice-versa, sendo (c) a constante de proporcionalidade conhecida como a velocidade da luz no vácuo. O capítulo ainda aborda a consequência dessa descoberta que, aliada à experiência da reação em cadeia dos átomos (sequência de quebra de núcleos atômicos sucessivos que liberam energia), acabou sendo decisiva para a construção das primeiras bombas atômicas e para o rumo que o final da Segunda Guerra Mundial tomou, com a destruição das duas cidades japonesas, Hiroshima e Nagasaki.

Em princípio, a divulgação científica não é elaborada para ser utilizada como recurso didático em trabalhos escolares. No entanto, ela pode ser uma opção bastante útil, principalmente com a mediação do professor, se pretendemos trabalhar com assuntos muito complexos, como os presentes em FMC, quando se considera a realidade do aluno de Ensino Médio.

Baseado nesta hipótese, a proposta central deste estudo foi:

*Compreender como a leitura de um capítulo de uma obra de divulgação científica pode ajudar estudantes do Ensino Médio na produção de sentidos sobre elementos da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein.*

Paralelamente, foram estabelecidas as seguintes questões de estudo:

*i) Como a leitura de um texto de divulgação científica pode contribuir para que estudantes do Ensino Médio compreendam a relação entre massa e energia, estabelecida por Einstein, e também algumas implicações dessa equação?*

*ii) Como a mediação do professor e o trabalho em grupo podem auxiliar os alunos a entender a equação  $E=mc^2$  a partir da leitura de um texto de divulgação científica?*

## 1. EINSTEIN E SUA EQUAÇÃO

### 1.1 A RELEVÂNCIA DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO

Uma revisão na literatura da área de Ensino de Ciências mostra que são inúmeras as pesquisas sobre a inserção de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na educação básica, sendo que se consideram como FMC os conteúdos de física surgidos a partir do século XX. Os próprios Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) sugerem sua inserção no ensino médio:

Para o ensino médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais. Para uma educação com sentido que se deseja imprimir, só uma permanente revisão do que será tratado nas disciplinas garantirá atualização com avanço do conhecimento científico e, em parte, com sua incorporação tecnológica. (BRASIL, 2000, p. 8)

Ainda procurando elementos presentes na legislação que questionam o formato atual do currículo de física, vemos que, no ensino formal,

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. (BRASIL, 2000, p. 22).

Além disso,

Deve-se evitar oferecer aos alunos conteúdos específicos fragmentados ou, em muitos casos, técnicas de resolução de exercícios, já que o retorno será isso mesmo: conteúdos reprodutivos, na melhor das hipóteses, de pouca utilidade fora dos bancos escolares. (BRASIL, 2006, p. 47).

Enfatizando o descompasso entre o que é ensinado na escola e o que é necessário para entender as tecnologias, Torre (1998) apud Monteiro et al (2009) apresentam algumas razões para a introdução de FMC no Ensino Médio, partindo do pressuposto de que o conhecimento é uma produção cultural:

- a) Conectar o aluno com sua história;
- b) Preservar os alunos dos obscurantismos pós-modernos (política contrária ao esclarecimento da massa, considerando-se este como um perigo social);
- c) Possibilidade de localização do ser humano na escala temporal e espacial da natureza;
- d) Propiciar o entendimento de múltiplas consequências tecnológicas;
- e) Possibilitar beleza e prazer pelo conhecimento, pois ele constitui parte inseparável da cultura, valorizando a humanidade.

Zanetic (2002) sugere que os conteúdos de física ensinados na escola devem contribuir para a formação do cidadão contemporâneo, independente da profissão que vai seguir e de suas motivações individuais.

Terrazzan (1992) defende a atualização do currículo de física como necessidade de criar cidadãos conscientes e capazes de transformar sua realidade tão afetada pelo desenvolvimento da ciência contemporânea.

Inúmeros são os problemas, as propostas e justificativas apontadas por pesquisadores no sentido de se trabalhar FMC na educação básica. Mencionarei alguns



destes, que foram publicados recentemente em alguns dos principais periódicos da área de Ensino de Ciências, entre os anos de 2005 a 2011.

Com o intuito de identificar possíveis problemas que a FMC enfrenta ao ser sugerida como parte do currículo do ensino médio, Rezende e Cruz (2009) apontam que sua implementação já começa a ser prejudicada devido à defasada estrutura curricular dos cursos de licenciatura que, na maioria dos casos, não preparam os futuros professores para utilizarem aspectos apropriados da física moderna no ensino básico.

Devido a isso, os professores têm que lidar com o conflito da escolha de uma abordagem formativa ou informativa dos tópicos de FMC, pois não existem materiais didáticos adequados. Além disso, não são muitos os trabalhos publicados que sugerem tópicos e formas de se aplicar a FMC no ensino formal.

Um tópico bastante sugerido em artigos publicados nos últimos anos é o da Teoria Quântica, que tem como apelo o fato de seus conteúdos serem responsáveis por boa parte das inovações científicas e tecnológicas do mundo moderno.

Silva e Almeida (2011) fizeram uma ampla revisão em artigos científicos, nacionais e internacionais, que tratam do ensino da Física Quântica (FQ) e concluíram que apesar de terem sido verificadas diversas contribuições da pesquisa em Ensino de Ciências para que a FQ possa ser trabalhada no Ensino Médio, ela ainda é muito pouco proposta na escola e há necessidade de realização de mais trabalhos que possam auxiliar o professor de Física na abordagem desse tema.

Na pesquisa citada, os autores encontraram vinte e três trabalhos nos principais periódicos da área de Ensino de Ciências, desde o primeiro número ao último do ano de 2010, com foco em questões associadas ao ensino de FQ no Ensino Médio. Estes trabalhos foram classificados em cinco categorias: três em “Revisão da literatura”, que reúnem e comentam trabalhos anteriores; um em “Análise curricular”, que analisa currículos que apresentam tópicos de FQ; um em “Análise dos conteúdos”, que analisa o conteúdo de FQ em livros voltados para o ensino; dezesseis em “Elaboração e/ou aplicação”, que

apresentam propostas desenvolvidas para o ensino de FQ; e um em “Concepções de professores”, que verifica as opiniões dos professores no ensino de FQ.

O que mais chama a atenção na pesquisa de Silva e Almeida (2011) é que mesmo a categoria “Elaboração e/ou aplicação”, que contém o maior número de trabalhos, com dezesseis artigos, apresenta uma quantidade muito pequena de propostas, se for levada em consideração a necessidade de alternativas e exemplos para os professores basearem sua prática. Além disso, dentre os vinte e três trabalhos encontrados, até 2010, nos periódicos consultados, apenas um deles estava preocupado com as concepções do professor, que é o principal elo entre os alunos e os tópicos de FMC. Parece muito pouco para quem acredita que os assuntos de FQ estão cada vez mais próximos de figurar entre os temas abordados no Ensino Médio.

Lobato e Greca (2005) depreendem que conteúdos de FMC, especialmente os conteúdos de física quântica, já estão presentes nos currículos de ensino secundário de diversos países de primeiro mundo. Apesar de identificarem que o ensino ainda está longe de acompanhar a evolução científica mundial e de não conseguir estabelecer um padrão sobre a forma e o momento de se inserir conteúdos de física moderna no ensino básico, fica claro que todos os países analisados pelas autoras (Portugal, Espanha, França, Itália, Reino Unido, Suécia, Dinamarca, Austrália, Canadá e Finlândia) se preocupam e possuem em seus programas escolares assuntos da física desenvolvida no século XX. Além disso, a abordagem destes conteúdos, em quase todos os casos, é integrada às consequências tecnológicas, sociais e ambientais, sendo vista em alguns casos de maneira teórica e, também, através de experimentos.

No entanto, as autoras ainda sugerem que mais pesquisas devem ser feitas a fim de se obter um melhor entendimento do momento mais adequado para a inserção de FMC e para uma melhor preparação dos professores no enfrentamento das suas dificuldades, seja devido à alta complexidade ou ao alto grau de abstração que estas teorias apresentam.

Fanaro et al (2007) também apontam a má formação universitária e a falta de conhecimento dos assuntos de física quântica, incluindo a complexidade da matemática

envolvida, como as principais dificuldades enfrentadas pelos professores para a sua utilização em aulas do ensino secundário.

Ciente destas dificuldades, os autores do artigo utilizaram um texto de Feynman como estrutura conceitual de referência que, aliado a ferramentas digitais como softwares que facilitam a visualização de conceitos abstratos, ajudaram alunos de uma turma de Ensino Médio, com idades entre 16 e 17 anos, a entender a transição de comportamentos de alguns fenômenos clássicos para o quântico, tais como o caráter ondulatório/corpuscular da luz.

Sob o ponto de vista do educador, Monteiro et al (2009) entrevistaram cinco professores de física do Ensino Médio da região nordeste do país, abordando-os sobre a importância e as possibilidades de introdução de FMC, mais especificamente da física quântica, em aulas do ensino médio. Os autores contaram que, apesar de terem sido unânimes quanto à necessidade de introdução de assuntos mais modernos, os professores não se consideram preparados para encarar esse desafio e por isso não o fazem.

A justificativa disso recai sobre o modelo curricular de formação profissional destes professores. O currículo universitário seguido pela maioria dos cursos de licenciatura em física prioriza a memorização de estruturas matemáticas e a resolução de exercícios por repetição, que são chamadas muitas vezes de “disciplinas de conteúdos específicos”. Estas são separadas das “disciplinas pedagógicas”, que geralmente tratam das questões de ensino e não são muito valorizadas no âmbito acadêmico.

Dessa maneira, inconscientemente, os professores adotam essa estrutura de ensino herdada da universidade e não são capazes de visualizar outras estratégias que levem seus alunos a terem uma visão cultural da ciência e a relacioná-la com questões sociais mais amplas. Assim, os autores defendem uma modernização urgente dos currículos das licenciaturas para que a FMC possa enfim ser pensada no Ensino Médio.

Brockington e Pietrocola (2005) analisam os pré-requisitos para inserção de elementos da física quântica no Ensino Médio com base na teoria de “Transposição Didática”, proposta por Yves Chevallard, com a intenção de listarem os possíveis motivos para essa inserção ainda não ter ocorrido efetivamente.

De acordo com essa teoria, um conjunto de saberes se torna objeto de ensino e merecedor de um espaço nos livros didáticos e no currículo escolar quando ele é considerado: “consensual”, para todas as pessoas envolvidas com a escola; “atual”, para a sociedade e para a comunidade acadêmica; “operacional”, em termos da capacidade de produção de exercícios e atividades escolares; “criativo didático”, contendo uma abordagem específica para o ensino básico; e “terapêutico”, que apresenta experiências comprovadas no ensino a ser inscrito.

De acordo com essas “regras”, segundo os autores, a física quântica esbarra na falta de operacionalidade, que está ligada à falta de criatividade didática e à terapêutica por não apresentar uma forma adequada para o Ensino Médio e por apresentar experiências de ensino ainda muito recentes.

Assim, ainda segundo os mesmos autores, a introdução da física quântica no Ensino Médio deve ser encarada como uma tarefa complexa, pois de um lado existe a exigência epistemológica inerente ao próprio campo de conhecimento, que é muito distante dos padrões de entendimentos forjados no mundo cotidiano, e por outro, as exigências do domínio escolar não são menores, pois ideologia, necessidade de natureza didática e tradição se entrelaçam na constituição de um domínio particular.

No entanto, parece que isso só será possível através da

(...) supressão de alguns conteúdos em benefício de outros, Millar (1996) (...) dando uma maior ênfase na argumentação de cunho filosófico, privilegiando o debate e as características mais qualitativas do conhecimento. (BROCKINGTON E PIETROCOLA, 2005, p. 401/402).

Além da física quântica, outro tema muito explorado pelos artigos que sugerem a aplicação de FMC no Ensino Médio é o da Teoria da Relatividade (Restrita e Geral). Este tema é considerado por alguns autores digno representante da ciência moderna, já que foi o primeiro a mostrar que as teorias, hoje chamadas de clássicas, eram limitadas e precisavam ser revistas. Além disso, a Teoria da Relatividade tem como seu criador o cientista Albert Einstein, considerado por muitos como um dos mais importantes cientistas de todos os tempos, em decorrência de suas produções científicas e de seu envolvimento em questões sociais, principalmente contra o antissemitismo e contra a proliferação de armas nucleares.

Karam et al (2007) apontam que uma das dificuldades enfrentadas pelos alunos de Ensino Médio para entenderem os princípios básicos da Relatividade Restrita está ligada ao fato de que os alunos não conseguem visualizar o movimento uniforme absoluto, também conhecido como princípio da relatividade, que diz que é impossível para um observador no interior de um móvel saber se ele está parado ou em movimento uniforme.

Segundo os autores, isso acontece porque esse princípio não é adequadamente e nem suficientemente abordado nas aulas regulares, ressaltando como fator agravante a patente disparidade entre o tempo destinado às questões de ordem conceitual e o dedicado à abordagem matemática, o que contribui para um distanciamento das questões mais significativas, suprimindo o interesse dos alunos pela física.

Depois de partir de concepções prévias dos alunos, os autores concluíram que o entendimento do princípio da relatividade pode ser uma excelente porta de entrada para uma abordagem de tópicos de FMC, mais especificamente da Relatividade Restrita de Einstein.

Em um trabalho anterior, os mesmos autores publicaram, em Karam et al (2006), um estudo no qual realizaram uma série de atividades, envolvendo alunos de Ensino Médio, com o objetivo de ampliarem seus perfis conceituais sobre a definição de tempo, com a finalidade de ajudá-los a entender noções da Teoria da Relatividade Restrita.

Utilizando vários recursos didáticos audiovisuais, juntamente com a mediação do professor, os autores aplicaram uma sequência de pré e pós-testes durante dez aulas de física em uma turma de 1º ano de uma escola pública de Florianópolis – SC e chegaram à conclusão de que o estudo que fizeram sobre o tempo pode ajudar alunos a compreenderem aspectos mais abstratos da teoria de Einstein.

Com objetivos semelhantes, Caruso e Freitas (2009), mostram uma atividade desenvolvida pela Oficina de Educação Através de Histórias em Quadrinhos e Tirinhas (EDUHQ), com sede no Instituto de Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, que ministra aulas e palestras sobre temas regulares e extracurriculares sobre diversos tópicos de ciência, articulando conteúdos cognitivos e produção artística.

Na atividade específica deste artigo, os autores mostram que as tirinhas podem contribuir nos processos de ensino e de aprendizagem para os assuntos de FMC, especialmente para a Relatividade Restrita. As tirinhas podem ser usadas como ponto de partida, atraindo a atenção dos alunos, devido ao seu caráter lúdico, ou até mesmo podem servir para ratificar conteúdos já estudados, permitindo que os alunos construam suas próprias histórias em quadrinhos.

De qualquer forma, as tirinhas podem ser consideradas como mais um recurso pedagógico no processo de ensino da ciência, pois permitem que qualquer assunto possa ser abordado de maneira recreativa e sem recorrer à matematização do fenômeno.

Além dos pressupostos já colocados até agora, outros conteúdos de FMC são frequentemente sugeridos e utilizados com alunos do ensino básico. Souza e Dantas (2010) defendem a física nuclear como um tema bastante relevante da FMC que pode ser implantado no Ensino Médio. Isso porque ela representa de maneira bastante satisfatória o desenvolvimento da ciência moderna e pode contribuir para tornar o estudante um indivíduo mais consciente e capaz de transformar o mundo onde vive.

Esse tema está sempre em destaque na imprensa por todo o mundo devido às suas questões políticas envolvendo: a geração de energia elétrica por usinas que utilizam

processos nucleares, a construção/utilização de bombas atômicas por nações envolvidas em guerras e inúmeras contribuições nos campos da medicina, astrofísica e cosmologia.

Dessa forma, os autores sugerem diversos pontos da física nuclear que podem ser trabalhados no Ensino Médio de forma conceitual filosófica, sem haver perda de qualidade e sem recorrer à complexidade das equações matemáticas. Com isso, eles esperam despertar os jovens para a realidade da sociedade tecnológica e incluí-los em seu meio social de maneira mais crítica.

Sorpreso e Almeida (2009) mostram que um grupo de licenciandos em física da Universidade Estadual de Campinas também é favorável à utilização de física nuclear no Ensino Médio, mesmo que a forma de aplicação desse conteúdo ainda não apareça de maneira clara nos periódicos e livros didáticos. Por isso, é importante que professores e pesquisadores reflitam sobre o funcionamento do imaginário e das condições de produção dos sentidos pelos estudantes, já que estes fatores são fundamentais nas mediações em sala de aula.

Outro tópico de FMC citado como alternativa no ensino de física é o dos raios-X. Oliveira et al (2007) destacam que apesar dos avanços científicos e tecnológicos despertarem o interesse dos jovens, o ensino de ciências dado a esses jovens não tem acompanhado essa evolução. Dessa forma, o ensino de conteúdos envolvendo raios-X poderia contribuir para diminuir a “lacuna provocada por um currículo de física desatualizado que resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno” (p.448). Isso permite que ele deixe de compreender a necessidade de estudar essa disciplina que, na maioria das vezes, se resume em aulas baseadas quase que exclusivamente em fórmulas e equações matemáticas, excluindo o papel histórico, cultural e social que a ciência desempenha no mundo.

Em uma entrevista com cinco professores de física, os autores encontraram respostas que mostravam um quadro favorável para a introdução de FMC no Ensino Médio. O material que resultou destas entrevistas serviu de base para a construção de uma proposta metodológica na qual os conteúdos sobre raios-X foram contemplados num enfoque CTS

(Ciência, Tecnologia e Sociedade). Essa proposta foi disponibilizada para os professores aplicarem com seus alunos, a partir da constatação de ser uma importante ferramenta de atualização curricular e de motivação para uma aula de física mais próxima da realidade dos alunos.

Apesar de a literatura indicar que alunos, professores e pesquisadores são favoráveis à inserção de FMC em aulas de física no ensino básico, aparentemente ainda não existe uma conjuntura adequada para que isso aconteça de maneira eficiente. Além disso, não parece haver consenso quanto ao núcleo comum de assuntos considerados mais relevantes para a formação dos estudantes. A forma como estes assuntos devem ser apresentados é outro ponto que não é unanimidade entre os pesquisadores da área. Uma apresentação filosófica e cultural muitas vezes é encarada pelos professores apenas como uma apresentação informativa, sendo considerada como motivacional ou introdutória para um ensino “formativo”, muitas vezes associado à resolução de exercícios matemáticos.

De acordo com os artigos analisados, a introdução de elementos da FMC no ensino básico é proposta, aparentemente, como um recurso bastante eficaz para tornar as aulas de física mais significativas e próximas da realidade social dos alunos. É possível notar que os artigos, apesar do alto grau de abstração e complexidade presentes nos temas, exploraram suas relações íntimas com as tecnologias e os principais avanços científicos da nossa sociedade moderna.

Já os artigos que analisaram a introdução de elementos da Teoria da Relatividade exploraram ainda o fato de esta ser uma teoria considerada por muitos pesquisadores como transitória entre os conceitos clássicos e modernos, que pode dar uma noção bastante satisfatória de que a ciência é um produto humano que está em constante construção. Além de tudo, ela também pode ser explorada através das inúmeras questões políticas e sociais decorrentes de algumas aplicações tecnológicas, além da possibilidade de utilizar o fato de seu criador, o cientista Albert Einstein, ser bastante reconhecido (SILVA E ALMEIDA, 2010). Estas são bases que fundamentam meu trabalho.



## 1.2 ELEMENTOS DA VIDA E OBRA DE ALBERT EINSTEIN

Albert Einstein nasceu em Ulm, na Alemanha, no dia 14 de março de 1879. Ele foi primeiro de dois filhos de Pauline e Herman Einstein (ISAACSON, 2007).

Vindo de uma família de comerciantes, segundo alguns biógrafos, Einstein teve uma infância difícil e chegou a apresentar o que cogitaram ser sinais de retardo mental. Quase sempre solitário, preferia brincadeiras mais calmas e que exigissem concentração e destreza mental. Aos quatro anos de idade ele ficou maravilhado com uma bússola, presente transformador dado pelo pai, conforme ele mesmo relata em uma de suas cartas: “Ainda me lembro – ou ao menos acredito lembrar – que aquela experiência provocou em mim uma impressão profunda (...) algo muito escondido devia estar por trás das coisas” (PAIS, 1995, p. 37).

Em 1885, iniciou sua vida escolar em uma escola católica do bairro, na periferia de Munique. Segundo seus biógrafos, Einstein nunca foi considerado um aluno brilhante por seus professores de educação básica, apesar de suas boas notas.

Já em 1889, ele foi transferido para a escola secundária, de disciplina muito severa. O abuso de autoridade praticado nesta escola foi fator determinante para que ele não concluísse seus estudos e fosse convidado a se retirar da escola. Anos mais tarde e já famoso, em uma entrevista, ele teria dito a um biógrafo: “Como punição do meu desprezo pela autoridade, o Destino fez de mim uma autoridade.” (HOFFMANN E DUKAS, 1972, p.24).

No ano de 1895, Einstein interrompeu os estudos e deixou Munique para se juntar à família, que havia se mudado para a Itália um pouco antes por motivos financeiros. Com os pais e longe do regime opressor vivenciado na Alemanha, ele foi dar continuidade aos seus estudos na escola preparatória da Província de Aarau.

No ano seguinte, após ser aprovado em um exame de admissão, Einstein entrou no Instituto Politécnico de Zurique, na Suíça, onde não era necessário diploma para ingressar.

Neste instituto, ele foi admitido em um programa de estudos de quatro anos que o qualificaria como professor de Ciências.

Durante esse tempo de faculdade, ele se dedicou aos estudos de ciências naturais. Por conta própria, fazia muitas leituras e análises de obras de cientistas que trabalhavam com física. Por diversas vezes, estes estudos atrapalharam sua vida acadêmica, tornando-o pouco apreciado entre seus professores. Isso acabou sendo decisivo para ele não conseguir um cargo de professor assistente na própria instituição e ficar desempregado logo após graduar-se no ano de 1900.

Em 1902, depois de passar por um período difícil, em que experimentou problemas financeiros que colocaram em risco a sequência de seus estudos científicos, Einstein conseguiu ser nomeado perito técnico do Departamento de Patentes da Suíça, em Berna. Foi Marcel Grossmann, amigo da época de faculdade, que lhe escreveu dizendo sobre a possibilidade do surgimento de uma vaga de examinador no Escritório de Patente Suíço. “O pai de Grossmann conhecia o diretor e aceitara recomendar Einstein.” (ISAACSON, 2007, p.81).

Nesta época, já casado com sua colega de faculdade, a sérvia Mileva Máric, Einstein conseguiu encontrar tempo para se dedicar aos estudos da física e concluiu alguns de seus trabalhos mais importantes, como o artigo sobre o efeito fotoelétrico, que mais tarde lhe renderia o seu Prêmio Nobel. “De fato o prêmio só foi concedido a Einstein em 1922 e, então, não pelas teorias da relatividade, mas por suas contribuições à física matemática e especialmente por sua descoberta da lei do efeito fotoelétrico.” (BRENNAN, 1998, p.93/94).

Ainda nesta mesma época, no ano de 1905, Einstein publicou uma série de artigos que resultariam em uma de suas mais famosas teorias, hoje conhecida como Teoria Especial da Relatividade ou Teoria da Relatividade Restrita. O conteúdo dessa teoria questionava os principais pontos da mecânica de Isaac Newton, que até então tinham sido considerados praticamente incontestáveis por mais de três séculos.

Os conceitos de espaço e tempo, antes considerados absolutos pela teoria de Newton, já não têm essa interpretação na teoria de Einstein. Por outro lado, a velocidade da luz, que era considerada apenas como uma entre tantas outras velocidades não é só considerada absoluta como é o foco central da teoria da relatividade.

Segundo consta em muitos livros didáticos de física moderna, os pontos principais da Teoria Especial da Relatividade podem ser destacados como os seguintes:

- A velocidade da luz é sempre constante, para qualquer referencial inercial, parado ou em movimento.
- Em velocidades próximas à da luz é possível constatar a dilatação do tempo e a contração do espaço.
- A massa inercial de um corpo também pode sofrer um aumento à medida que sua velocidade se aproxima à da velocidade da luz.
- Existe uma relação muito íntima entre a massa ( $m$ ) e a energia ( $E$ ) que foi prevista por Albert Einstein através da equação  $E=mc^2$ , onde  $c$  representa a velocidade da luz no vácuo.

É importante salientar que a teoria da relatividade não refutou a mecânica clássica de Newton. Ela apenas restringe sua aplicação para fenômenos que acontecem com baixas velocidades, ou seja, que não se aproximam da velocidade da luz, que é de aproximadamente 300.000 km/s.

No entanto, esta limitação não diminui a importância que as teorias de Newton tiveram para a humanidade, conforme pode ser visto nas palavras do próprio Einstein:

A importância dos trabalhos de Newton consiste principalmente na criação e na organização de uma base utilizável, lógica e satisfatória para a mecânica propriamente dita. Estes trabalhos permanecem, até o fim do século XIX, como o programa fundamental de cada pesquisador. Todo o conhecimento físico deve ser

traduzido em termos de massa, e estes termos são redutíveis às leis do movimento de Newton (...). Toda a evolução de nossas ideias sobre a maneira pela qual até agora imaginamos as operações da natureza pode ser concebida como um desenvolvimento das idéias newtonianas. (EINSTEIN, 1981, p. 77/79)

Autores da área de Ensino de Ciências também destacam a importância dos estudos realizados por Isaac Newton:

A física newtoniana, uma teoria muito bem estabelecida há mais de 300 anos, não apenas permanece válida, ainda que sob certos aspectos impostos pela teoria quântica e pela teoria da relatividade, como tem uma relação forte com nosso contexto científico-tecnológico contemporâneo, além de ter seu campo de fenômenos de aplicação ampliado pelo desenvolvimento da cosmologia e astrofísica no século XX. (SILVA, 2004, p.35).

Após a publicação da Teoria Especial da Relatividade, as notícias se espalharam muito lentamente pelo mundo acadêmico. Uma evidência disso é que só depois de quatro anos, em 1909, Einstein conseguiu um cargo de professor associado na Universidade de Zurique e lá ficou até 1912, com uma rápida passagem pela Universidade de Praga. (ISAACSON, 2007).

Depois disso, aos 34 anos, ele aceitou um cargo de diretor de um novo instituto de Física, na cobiçada Academia Prussiana, em Berlim, onde concluiu, em 1916, um de seus maiores trabalhos, nomeado “O Fundamento da Teoria Geral da Relatividade”. Foi nomeado assim por ser uma espécie de complementação da Teoria Especial da Relatividade. A Teoria Geral da Relatividade é considerada por muitos como a maior teoria já elaborada por um único homem. De acordo com o físico James Hartle: “A idéia central

da Relatividade Geral é que a gravidade deriva da curvatura do espaço-tempo.” (HARTLE, 2002, p.13).

Além dessa teoria, ele publicou outros dois importantes artigos no ano de 1917.

Um deles tratava da emissão estimulada de luz, uma concepção que foi base para a descoberta dos lasers e o segundo artigo tratava da estrutura do universo e é geralmente considerada a base da cosmologia moderna. (BRENNAN, 1998, p.84).

Mesmo depois de publicar trabalhos que mudariam as bases da ciência moderna, Einstein só começou a ser reconhecido internacionalmente no ano de 1919. Nesta mesma época, Einstein se divorciou de Mileva e assumiu publicamente o relacionamento com sua prima de primeiro grau, Elsa Einstein.

Nesse ano, a ideia da curvatura do espaço-tempo pela gravidade foi respaldada por um grupo de cientistas ingleses que observaram o desvio da trajetória da luz oriunda de uma estrela pela gravidade do Sol em um dia de eclipse total, exatamente como Einstein previa em sua teoria.

Somente depois desse respaldo, Einstein ganhou status necessário para “merecer” (na opinião do comitê) o prêmio Nobel de Física. No entanto, os físicos suecos que integravam o comitê do prêmio não enxergavam a Teoria da Relatividade como uma “descoberta ou invenção importante” para a humanidade. “Pensou-se na época que o comitê do Nobel não conseguiu perceber como a teoria da relatividade havia melhorado a condição da humanidade, algo especificado por Alfred Nobel como condição para o prêmio.” (BRENNAN, 1998, p.94).

Assim, aparentemente, muito mais por uma pressão política, Einstein foi nomeado o ganhador do prêmio Nobel de 1921 pela “descoberta do efeito fotoelétrico”. O dinheiro desse prêmio foi integralmente doado para sua ex-mulher Mileva, conforme já estava

previsto no acordo de separação conjugal, o que reforça a ideia de que ela teve uma grande participação na elaboração de algumas de suas teorias.

Durante os 17 anos seguintes, Einstein viajou pelo mundo divulgando seus trabalhos sem deixar de lado seus compromissos acadêmicos em Berlim, cidade considerada por muitos como o maior centro mundial de física teórica da época.

Depois disso, aos 54 anos, fugindo da guerra e das perseguições aos judeus, Einstein mudou-se para os Estados Unidos da América. Na sua nova pátria, aceitou trabalhar na Universidade de Princeton no ano de 1933 e lá permaneceu até sua morte em abril de 1955, aos 76 anos.

### 1.3 A EQUAÇÃO $E=MC^2$

É possível afirmar, sem dúvida, que a equação  $E=mc^2$  é uma das mais conhecidas da física de todos os tempos. Com ela, é possível interpretar uma série de fenômenos envolvendo transformações de energia.

Esta equação foi deduzida por Albert Einstein em um dos cinco artigos sobre a Teoria da Relatividade Especial (LORENTZ ET AL, 1983) publicado no ano de 1905. Nestes artigos, Einstein propunha uma série de ideias revolucionárias sobre os conceitos de tempo e espaço, e indiretamente, sobre massa e energia.

A equação  $E=mc^2$  traz como ideia central que um corpo, mesmo parado, possui um conteúdo energético associado à sua massa. Uma consequência imediata dessa ideia é que as leis clássicas de conservação da massa e da energia, antes utilizadas separadamente, tinham que ser substituídas por uma única lei de conservação da energia relativística.

Assim, Einstein propôs que os conceitos, inicialmente distintos, de massa e seu conteúdo energético eram diretamente proporcionais e sua relação se dava através de uma constante de proporcionalidade denominada  $c^2$ . O valor de  $c$ , que é de aproximadamente

300.000.000 m/s, é conhecido como a velocidade da luz no vácuo, que, de acordo com a teoria da relatividade, é o limite superior de velocidade que qualquer corpo pode atingir no universo. A verificação experimental dessa equação demorou a ser feita devido à dificuldade de medir as pequenas diferenças de massas que eram efetivamente convertidas em energia.

Passados mais de vinte anos, começaram a surgir trabalhos de cientistas, como o do físico italiano Enrico Fermi que deram indícios fortes de que a equação proposta por Einstein estaria correta. Fermi realizou uma série de experiências em que foram produzidos vários núcleos radioativos pelo bombardeamento com nêutrons. Mais tarde, o resultado destes núcleos foi entendido como uma consequência da fissão nuclear dos átomos bombardeados e era explicado pela equação  $E=mc^2$ .

A primeira dedução desta equação feita por Einstein foi publicada em um artigo na revista alemã *Annalen der Physik* (Anais da Física), com o título “A inércia de um corpo será dependente do seu conteúdo energético?” (LORENTZ ET AL, 1983).

Nesta dedução, usando matemática básica, ele demonstrou que a diminuição de massa de um corpo que emite um feixe de luz é proporcional ao valor da energia de radiação do feixe dividido pelo valor da velocidade da luz ao quadrado. Este resultado demonstrava a relação entre massa, energia e a constante de proporcionalidade  $c^2$ , exatamente da forma da equação  $E=mc^2$ .

Depois de quarenta anos, diferentes formas de deduções desta equação já tinham sido apresentadas ao mundo científico pelo próprio Einstein e por outros físicos da época. No entanto, em 1946, Albert Einstein publicou na Revista “*Technion Journal*” (EINSTEIN, 1983, p.112) talvez a dedução mais compreensível e charmosa de sua famosa equação.

Nesta dedução, ele articulou a Teoria de Maxwell com a Teoria da Relatividade Restrita, calculando as propriedades de um corpo que emite dois feixes de luz em sentidos opostos, sob o ponto de vista de dois referenciais diferentes, um parado e outro em movimento uniforme e perpendicular à direção dos feixes de luz. A partir daí, criou

equações que relacionavam a massa do corpo com a energia da luz emitida. O resultado das equações mostrou que a diminuição da massa do corpo estava relacionada com o conteúdo energético carregado pelos feixes de luz emitidos por ele.

Assim, como esse resultado é uma relação válida para qualquer processo no qual uma energia  $E$  é emitida ou absorvida por um corpo, podemos generalizar da seguinte forma:

$$E=mc^2$$

onde  $m$  é a diferença de massa associada à energia  $E$  e  $c$  é a velocidade da luz no vácuo (300.000 km/s). Esta equação representa a Lei da Equivalência de Massa e Energia, que deve ser considerada para efeito da conservação da energia, (VIEIRA, 2004).

Com essa dedução, Einstein mostrou que é possível deduzir a relação existente entre a energia de um corpo com sua massa apenas usando matemática básica.

No entanto, a compreensão dessa relação não é tão simples quanto parece. Ela assume muitas funcionalidades dentro da física e seu significado conceitual apresenta algumas contradições (BARCELLOS E ZANETIC, 2007).

É preciso deixar claro que essa relação não representa uma fórmula de transformação direta de massa em energia, e vice-versa. Na física isso não faz muito sentido, da mesma forma que, na física clássica, não faz sentido afirmar que a quantidade de movimento ( $\mathbf{p}$ ) pode ser convertida em velocidade ( $\mathbf{v}$ ) na equação vetorial que define o conceito de quantidade de movimento ( $\mathbf{p}=\mathbf{m.v}$ ), cuja constante de proporcionalidade é a massa ( $m$ ); ou que a energia ( $E$ ) pode ser convertida em frequência ( $f$ ) na equação de energia de uma onda ( $E=h.f$ ), cuja constante de proporcionalidade é a constante de Planck ( $h$ ), (BARCELLOS E ZANETIC, 2007).

O que podemos afirmar com a equação de Einstein é que sempre existe uma energia  $E$  associada a qualquer massa  $m$ , e que o significado de um eventual processo em que ocorrem perda e ganho dessas grandezas pode ser explicado pela relação  $E=mc^2$ .



Assim, esta equação nos permite entender alguns processos atômicos, tais como a conversão de matéria em radiação eletromagnética de algumas partículas como a aniquilação de uma partícula pela sua antipartícula, formando radiação, ou mesmo a explicação da geração de calor a partir de algum tipo de reação nuclear.

Além disso, medições precisas de massas atômicas permitem calcular, através da equação  $E=mc^2$ , a energia liberada numa fissão ou fusão nuclear como as que ocorrem no interior do Sol ou nas bombas atômicas.

Baseado nessa enorme gama de explicações que a equação de Einstein é capaz de fornecer, Barcellos e Zanetic (2007) registraram que o físico experimental Jammer teria afirmado: “Não é exagero dizer que o desenvolvimento da física moderna nuclear teria sido impossível sem assumir a equivalência entre massa e energia.” (p.10).

No entanto, o próprio Einstein teria ficado muito decepcionado com os rumos que suas teorias tinham tomado. Segundo suas palavras:

Não me considero o pai da liberação da energia atômica. Minha parte no projeto foi absolutamente indireta. Na verdade não previ que seria liberada em meu tempo (...). Nunca houve a menor indicação de qualquer aplicação potencialmente tecnológica (...). Ela se tornou prática pela descoberta acidental da reação em cadeia. E isso era algo que eu não poderia prever. (EINSTEIN Aput CALLAPRICE, 1998, p.139/142).

No entanto, é importante dizer que Einstein não colaborou apenas com suas teorias no processo de construção da bomba atômica. Além disso, ele assinou uma carta ao presidente Roosevelt alertando sobre os perigos que o mundo estaria correndo se a Alemanha de Adolf Hitler conseguisse construir uma bomba atômica. Aparentemente, essa carta acabou sendo decisiva para que os Estados Unidos da América do Norte começassem seu próprio projeto nuclear, chamado de projeto Manhattan, (BRENNAN, 1998).

Esse projeto foi o responsável pela construção das primeiras bombas atômicas, inclusive as bombas que destruíram as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, no fim da Segunda Guerra Mundial.

O fato é que a equação contribuiu para que, décadas mais tarde, uma área totalmente nova da física moderna se consolidasse: a física nuclear. O avanço nesta nova área, teórico e experimental, foi responsável não só pela construção de bombas nucleares, mas também por uma série de avanços tecnológicos no campo da geração de energia elétrica e também na medicina. Por todos esses motivos é possível classificar a equação  $E=mc^2$  e o posterior surgimento da física nuclear como acontecimentos históricos que marcaram a recente história da humanidade.

## **2. UM TEXTO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: *EINSTEIN E SEU UNIVERSO INFLÁVEL***

### **2.1 DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO FORMAL**

Atualmente, as aulas de física do Ensino Médio são determinadas pela sequência didática estabelecida nos livros escolares e se resumem, basicamente, à resolução quase que automática de repetitivos exercícios através de equações matemáticas desprovidas de significados para o aluno, ficando para um segundo plano, conteúdos históricos da física e suas aplicações tecnológicas.

Levando em consideração as orientações da Secretaria de Educação Básica,

(...) a Física deve apresentar-se como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. (BRASIL, 2002, p.59)

Assim, a física deve preparar o aluno para a compreensão do mundo físico e instruí-lo a lidar com situações do dia a dia, tornando-o um sujeito mais crítico e reflexivo sobre as questões de ciência e tecnologia presentes na sua realidade social.

Uma maneira de ampliar a abordagem da física para atender essas necessidades atuais que o “novo” ensino requer, pode ser através da utilização de textos de divulgação científica. De modo geral, estes textos são de caráter informativo e servem de instrumento para manter a população atualizada sobre os acontecimentos da ciência e da tecnologia, (DIAS, 2009). Além de servir como um material de apoio ao livro didático, tais textos podem ajudar a aumentar o interesse dos alunos pela disciplina e podem contribuir para que

se faça uma abordagem mais humana, evidenciando aspectos históricos e culturais da física, tão necessários na produção de contextos de ensino.

No entanto, é importante salientar que a maioria dos textos de divulgação científica não é produzida com finalidade escolar. Segundo Salém e Kawamura (1996), os objetivos gerais dos textos de divulgação científica são:

- Atrair o leitor para o mundo da ciência,
- Divulgar a ciência para um público amplo,
- Esperar do leitor algo mais ligado ao prazer do que ao dever.

De acordo com Kaufman e Rodriguez (1995), esse tipo de texto tem a intenção de atrair o leitor, pois, de acordo com as regras gramaticais, eles possuem:

Orações com predicado não verbal, quebras deliberadas de sintaxe normal, ausência de conectores lógicos são alguns dos recursos usados com frequência para expressar a ironia, a zombaria, o duplo sentido, o enfoque humorístico ou o sarcasmo da realidade. (p.40)

Além disso, espera-se que esse tipo de texto possua uma linguagem simples e direta, (LANÇA, 2005), caracterizada pela pouca utilização de formalismos matemáticos ou gráficos e pela exploração de recursos alternativos como metáforas e histórias em quadrinhos para chegar ao conhecimento desejado.

No entanto, ainda segundo Salém e Kawamura (1996), alguns textos de divulgação científica podem apresentar algumas limitações quando pensados em situações de ensino, tais como: conhecimento pouco operacional, ausência de sínteses e de formalizações, além de não haver controle do aprendizado.

Entretanto, para seu uso no ensino formal, são fundamentais a escolha cuidadosa do texto a ser utilizado e a mediação do professor. O texto deve possuir os elementos necessários para que ocorra produção de sentidos próximos dos esperados, sobre os conhecimentos selecionados.

Além disso, Almeida e Queiroz (1997) ressaltam que para que o uso deste tipo de texto seja prazeroso e atinja o aprendizado esperado é preciso que sejam criadas “condições de leitura que modifiquem as práticas escolares usuais”, (p. 65), superando as práticas tradicionais que exigiam uma interpretação única e direta do assunto.

Já segundo Almeida (1998)

A substituição de texto de um tipo por outros de natureza diferente não muda a qualidade da mediação escolar. Um texto com características totalmente diferentes do manual didático pode ser trabalhado pelo professor e visto pelos estudantes segundo os mesmos “hábitos de leitura”, que um e outro foram construídos em anos e anos de escolarização. (p.54)

Além disso, a utilização de divulgação científica também contribui para uma maior interação entre professor e aluno e para o estabelecimento de hábitos de leitura, como ressaltado por Silva e Almeida (1998):

A instauração de um contexto de leitura que privilegie a produção de sentidos múltiplos nas aulas de física permite um maior conhecimento sobre os alunos por parte do professor, o que pode melhorar a qualidade das interações em sala de aula; contribui para o estabelecimento de continuidades e rupturas entre as idéias dos alunos e as da física, entre a linguagem comum e a linguagem científica, ou seja, media o saber científico; contribui para a (re)construção de uma história de leitura que possibilita o acesso ao saber após a saída da escola. (p.161)

Sob esse contexto, é possível dizer que a divulgação científica pode não ser apenas uma mera tradução dos conceitos científicos para um público que não domina essa linguagem, e sim o resultado de um funcionamento discursivo que se constitui a partir de condições de produção diferentes daquelas em que o conhecimento é feito pelos cientistas.

Por causa destas características, que revelam o grande potencial da divulgação científica como recurso complementar ao livro didático no ensino de ciências na educação básica, é cada vez maior o número de trabalhos acadêmicos que exploram sua utilização/reflexão como meio de apropriação de sentidos sobre o conhecimento científico.

Ferreira e Queiroz (2012) fizeram um mapeamento da produção acadêmica sobre divulgação científica (DC) e textos de divulgação científica (TDC) no Brasil até o ano de 2011, relacionado com a área de Ensino de Ciências. Um dos objetivos era “identificar e analisar, por meio de pesquisa bibliográfica, as principais características das pesquisas que relacionam TDC e ensino de ciências.” (p. 5)

As autoras encontraram, em periódicos e em atas dos Encontros de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), um total de 88 trabalhos que foram divididos em cinco categorias, conforme mostra a figura 1 elaborada pelas autoras:

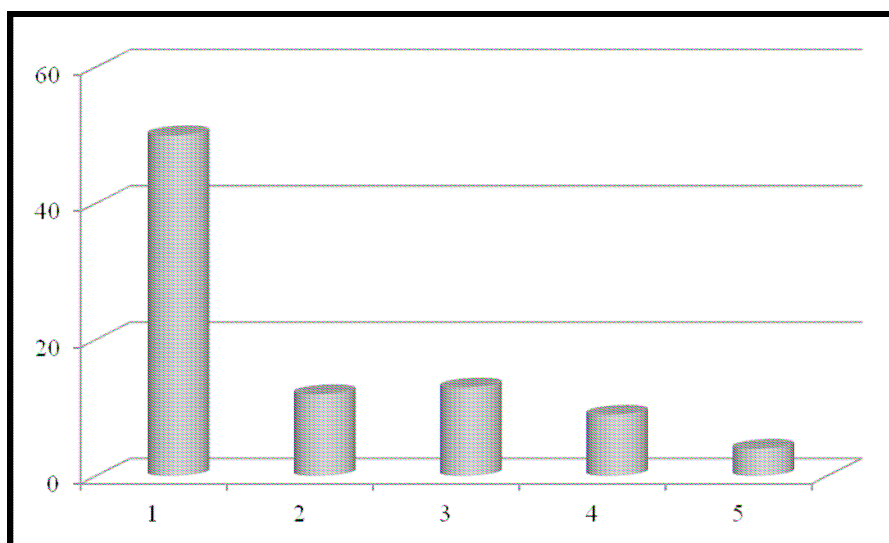


Figura 1.- Frequência dos tipos de trabalhos publicados no evento e nos periódicos pesquisados sobre o uso de TDC no ensino de ciências. Legenda: 1 - Seleção, caracterização e análise de TDC para fins escolares; 2 - Experiências em salas de aula de ciências com TDC; 3 - Formação de professores e o uso de TDC; 4 - Ponderações sobre DC e suas implicações no ensino de ciências; 5 - Estado da arte das pesquisas relacionadas à DC. (FERREIRA E QUEIROZ, 2012, p. 9)

De maneira geral, é possível notar pelo gráfico que a maioria dos trabalhos encontrados pelas autoras analisa textos propriamente ditos (categoria 1), enquanto que experiências em salas de aulas e formação de professores aparecem com menor frequência (categorias 2 e 3).

Apesar do estudo mostrar que as pesquisas que utilizam DC cresceram significativamente nos últimos dez anos, os dados das categorias 2 e 3 revelam uma necessidade de aprofundamento nas discussões e um baixo número de exemplos de estratégias didáticas que, além de poder servir de referência para que professores possam incorporar os TDC em suas aulas, de modo a favorecer a aprendizagem de conceitos complexos, possam contribuir multidisciplinarmente estimulando o hábito da leitura e promovendo maior interesse dos alunos em sala de aula, desenvolvendo nos estudantes habilidades de comunicação oral e escrita. Por isso, “a carência de pesquisas com esses propósitos precisa ser suprida, tendo em vista as importantes contribuições que podem trazer para a sala de aula.” (FERREIRA E QUEIROZ, 2012, p. 23)

Nascimento e Rezende (2010) também apresentam um levantamento da produção de divulgação científica no Brasil. No período de 1997 a 2007, em anais de eventos acadêmicos, revistas, dissertações e teses na área de educação em ciências, os autores apontam as principais temáticas e os principais referenciais teóricos utilizados.

Nesse levantamento foi feita uma análise quantitativa e qualitativa em que foi possível traçar um panorama geral de como a divulgação científica vinha sendo abordada naquele período.

Segundo os autores, em eventos científicos de ensino de ciências foi possível observar um aumento do percentual de trabalhos sobre divulgação científica, distribuídos

homogeneamente nas disciplinas de biologia e física. Em contrapartida, nos principais periódicos de cada área notou-se que a divulgação científica não tem estado presente com frequência em suas edições.

No entanto, o número de dissertações e teses mostrou-se proporcionalmente alto. Esse dado revela que os trabalhos acadêmicos defendidos não vêm sendo divulgados na forma de artigos, que são os principais meios de propagação de pesquisas e atualização dos pesquisadores.

Com esse estudo, os autores fazem notar que é cada vez mais comum o uso/estudo da divulgação científica entre os professores de ciências no ensino básico. Contudo, a apresentação desse tipo de atividade quase não é explorada no ensino superior, nem mesmo nos cursos de licenciatura.

Assim, é cada vez mais importante que o uso de textos de divulgação científica continue a ser estudado/pesquisado para se obter uma melhor compreensão do seu funcionamento em ambiente escolar e de suas representações simbólicas entre os leitores. Aliado a isso, é fundamental que sua utilização seja concatenada com a mediação do professor. Entretanto, ainda segundo os autores, a discussão sobre seu uso como material alternativo ao livro escolar tradicional deve ser feita desde a formação profissional do professor, ou seja, durante seu período de graduação, no ensino superior. Só assim, será possível “desmitificar a ‘ditadura’ do uso do livro didático e trazer questões de natureza não apenas metodológicas, mas principalmente epistemológicas” para a sala de aula. (NASCIMENTO E REZENDE, 2010, p.118).

Em outro estudo, Nascimento (2005) faz uma reflexão mais aprofundada acerca da divulgação científica, desde sua elaboração, caracterizando suas condições de produção que envolvem o universo de seus produtores (cientistas e jornalistas), até a sua inserção em sala de aula, comentando as implicações das mediações que podem desde facilitar até gerar obstáculos para a aprendizagem dos conceitos científicos.



De acordo com a autora, é preciso ter consciência de que a maioria dos materiais de divulgação científica não é feita para fins escolares. Seus produtores utilizam diversos recursos alternativos como: figuras, metáforas e analogias com o intuito de adaptar o conhecimento científico para um público leigo. O uso destes recursos, que inclui a eliminação de terminologias próprias do discurso científico, pode vir a constituir entraves para a aprendizagem de conceitos da ciência na educação formal.

Apoiada em noções da Análise de Discurso e na epistemologia de Fleck, a autora destaca a importância do professor na utilização de textos de divulgação científica em sala de aula a fim de reduzir deslocamento de sentidos indesejáveis, geralmente associados a diferentes compreensões estabelecidas por diferentes alunos na leitura de um mesmo material, e diminuir possíveis equívocos transcritos pelos autores do texto, decorrentes da grande dificuldade de transformação de linguagens e das diferentes “formações imaginárias e ideológicas que os autores fazem tanto de sua audiência quanto de seu objeto de escrita.” (NASCIMENTO, 2005, p.8).

Para dar um exemplo sobre a aplicação da divulgação científica em aulas de física no ensino regular pode-se citar Assis e Teixeira (2007). Neste estudo, as autoras sugerem a utilização de um texto alternativo como uma possível solução para o problema da falta de interesse dos alunos pelas aulas que se resumem à resolução automática de exercícios, geralmente, desvinculada de significados para os estudantes.

Dessa forma, as autoras analisaram a dinâmica discursiva entre professor, aluno e um texto de divulgação científica denominado “Nosso Universo”. Elas constataram que essa interação dialógica “propiciou a ocorrência de contextos de aprendizagem significativa crítica relativa aos conhecimentos abordados.” (ASSIS E TEIXEIRA, 2007, p.14).

Segundo esse estudo, nos argumentos dos alunos foi possível notar relações entre as informações novas e os seus conhecimentos prévios de forma crítica e reflexiva. Além disso, o texto utilizado mostrou ter contribuído para aguçar a curiosidade e o interesse dos alunos, o que, juntamente com a mediação do professor, resultou na facilitação de uma aprendizagem significativa.

Outro exemplo bem sucedido que pode ser citado é o de Zanotello e Almeida (2007). Neste trabalho, os autores analisaram a produção de sentidos por alunos do Ensino Médio a partir da leitura de um livro de divulgação científica sobre a vida e obra de Isaac Newton.

A atividade proposta pelos autores baseia-se nas respostas a um questionário respondido por alunos do primeiro ano do Ensino Médio. Este era composto por questões que estimularam os estudantes a expressarem o modo como interagiam com o livro, com a linguagem do autor e com os conteúdos de física presentes na obra.

Por ser uma atividade extracurricular, já que a escola tinha um material específico a ser seguido com formato tradicional, o qual visava à preparação para os vestibulares em geral, foi solicitado que os alunos lessem durante dois meses o livro escolhido e respondessem as questões propostas pelo pesquisador, que nesse caso também era o professor de física da turma.

A utilização desse livro mostrou ser um recurso didático diversificado e bastante adequado para o trabalho com o conteúdo do texto. A análise das respostas dadas pelos alunos revelou que a forma como os temas foram tratados no livro despertou o interesse e a curiosidade dos estudantes por assuntos que geralmente não apresentavam nenhum atrativo nas aulas tradicionais. Além disso, o levantamento das dúvidas e dos temas que mais chamaram a atenção dos alunos permitiu ao professor reconhecer alguns obstáculos e pensar algumas alternativas de ensino, possibilitando-lhe buscar estratégias para atuar sobre esses pontos.

Olhando para o ensino superior, Strack et al (2009) apresentam a percepção de cientistas e docentes universitários, que atuam na formação de professores, sobre a possibilidade de inserção de livros de divulgação científica em sua prática pedagógica com a finalidade de oferecer aos licenciandos o conhecimento deste recurso didático para uma possível utilização em suas futuras aulas.

Após uma entrevista semi-estruturada com dez professores universitários da área de química, na qual lhes foi pedido que lessem um livro de divulgação científica, foi constatado que a divulgação da ciência é extremamente valorizada “como um veículo de informação científica, mas não de formação científica.” (STRACK ET AL, 2009, p.437).

Segundo os autores, um dos obstáculos levantados pelos docentes, que dificulta a utilização da divulgação científica em aulas do ensino superior, é a falta de tempo. Isso porque as instituições e os órgãos financiadores exigem cada vez mais dos professores/pesquisadores a leitura e produção de artigos, além do tempo gasto na organização didática das disciplinas que lecionam e no curto tempo das aulas destinado para o cumprimento de extensos conteúdos curriculares.

Eles consideraram que a divulgação científica é fonte de informação tanto para especialistas como para a população em geral. A mídia, meio de transporte dessas informações, é algo que nos afeta, nos toca e nos constitui, todos os dias. Trabalhar divulgação científica em ambiente escolar é uma forma de contribuir para que o cidadão possa avaliar de maneira cada vez mais crítica as informações que chegam através dos diferentes meios de comunicação.

No entanto, afirmam que a utilização de divulgação científica “exige um tempo, uma certa conversão do olhar e uma mudança filosófica” (STRACK ET AL, 2009, p.440) e deve ser introduzida durante a formação dos professores para que haja “espaço para a inserção de novos saberes com ênfase no conceito, e não no conteúdo.” (IDEM, p.440).

Dentre muitos defensores da utilização de divulgação científica no ensino formal, Almeida (2004) afirma que se

(...) os estudantes que não se sentirem seguros no uso da linguagem matemática também não se sentirem capazes de aprender física, e os professores dessa disciplina acreditarem que saber matemática é um pré-requisito necessário para qualquer ensino, provavelmente por admitirem como única atividade nobre em

aulas de física a resolução de exercícios, a voz dos cientistas terá pouco espaço no ambiente escolar. (p.118).

Entretanto, em outro momento, Almeida (2010) destaca que “a Divulgação Científica é apenas um entre muitos recursos didáticos possíveis de serem utilizados na mediação do conhecimento escolar relacionado à ciência. Caberá ao professor a seleção e organização desses recursos.” (p.22)

O fato é que os textos de divulgação científica, além de aproximarem o aluno do conhecimento da ciência, através de uma linguagem mais próxima da usada em seu cotidiano, contribuem multidisciplinarmente com as outras áreas na formação de um leitor mais ativo e consciente de sua realidade social, como afirmam Ricon e Almeida (1991):

Bom leitor, o estudante continuará mais tarde, já fora da escola, a buscar informações necessárias à vida de um cidadão, a checar notícias, a estudar, a se aprofundar num tema, ou simplesmente, a se dedicar à leitura pelo prazer de ler. (p.9)

## **2.2 CARACTERÍSTICAS DO LIVRO**

O livro selecionado para as atividades de leitura sobre a relatividade de Einstein foi “Albert Einstein e seu Universo Inflável”, (GOLDSMITH, 2002), primeira edição, da coleção “Mortos de Fama”, da editora “Companhia das Letras”, de São Paulo. Este livro, considerado pela editora como um livro de divulgação científica voltado para o público jovem, foi escrito pelo inglês Dr. Mike Goldsmith e ilustrado pelo cartunista americano Philip Reeve.

A obra escolhida apresenta uma linguagem agradável e bastante informal, muito próxima da linguagem usada pelos jovens no seu cotidiano. Além disso, no discurso do autor existem muitas figuras de linguagem, analogias e histórias em quadrinhos, onde ele praticamente elimina o formalismo matemático presente nos conhecimentos científicos da física.

Além da linguagem descontraída, outro atrativo é o fato deste trabalho literário contar a história de um dos cientistas mais conhecidos do mundo: Albert Einstein, ou simplesmente “Beto”, apelido dado pelo autor, provavelmente, para tentar mostrar o lado humano do cientista, muitas vezes chamado de gênio.

O livro apresenta sua trajetória desde a infância, na Alemanha, até sua morte, quando estava morando nos Estados Unidos. O autor narra, em ordem cronológica, os principais acontecimentos da vida do Einstein, suas conquistas e frustrações nas escolas por onde passou, seus hábitos de estudo e as principais influências durante sua formação intelectual. Além disso, descreve suas teorias mais famosas, sempre utilizando uma linguagem bem humorada e supostamente acessível ao público em geral.

Ao decidir pelo uso deste livro, admiti que essa narrativa seria bastante apreciada pelo jovem leitor, que teria a possibilidade de conhecer o lado humano de um grande cientista e sua história de vida, e não apenas suas teorias prontas e sintetizadas através de fórmulas matemáticas, muitas vezes, privadas de sentidos práticos. Além disso, admiti que, conhecer sua trajetória escolar e ver que até mesmo os “gênios” enfrentam percalços para atingirem seus objetivos profissionais, pode servir como estímulo para que os jovens estudantes se tornem mais comprometidos com os estudos, independentemente de suas dificuldades ou cobranças que vierem a sofrer.

O autor ilustra que toda a rotina de estudos, vivida por Albert Einstein desde a sua infância, foi determinante para a construção de sua ideologia e de suas concepções de ciência, o que teria sido determinante para elaboração de todas as suas teorias, incluindo as Teorias da Relatividade Restrita e Geral que, segundo o autor, contribuem “para entender como o Universo funciona” (GOLDSMITH, 2002, p. 6).

Dentre os conteúdos tratados pela Teoria da Relatividade Restrita está o tema de leitura escolhido para ser trabalhado com os alunos e analisado nesta dissertação: a relação entre massa e energia. Usando a mesma linguagem e os mesmos recursos literários presentes na narrativa histórica da vida de Einstein, o autor descreve e exemplifica a possível conversão de massa em energia através da equação  $E=mc^2$ .

No mesmo capítulo, ele ainda comenta sobre a impossibilidade de qualquer objeto ultrapassar a velocidade da luz (300.000 km/s), sendo esta, então, considerada a maior velocidade no universo. Através de metáforas e desenhos ilustrativos, é comentado que quanto mais impulso (e conseqüentemente, energia) for dado a um corpo qualquer, mais difícil (pesado) será movimentá-lo, à medida que ele se aproxima da velocidade da luz. Assim, neste caso, uma suposta conversão de energia em massa estaria acontecendo.

Segundo o autor, este e muitos outros exemplos de conversão de massa em energia, e vice-versa, foram resumidos pelo cientista através da equação  $E=mc^2$ : “Suas descobertas se aplicavam a qualquer tipo de energia (não apenas a luz) e de objeto (não apenas a um objeto em movimento), e o levou à mais famosa equação do mundo:  $E=mc^2$ ”. (GOLDSMITH, 2002, p.167).

Assim, no capítulo escolhido ainda é possível encontrar situações que mostram que essa equação permite explicar as reações químicas e nucleares que, conseqüentemente, serviram de inspiração para a construção das bombas atômicas, que liberam grandes quantidades de energia a partir da quebra de pequenos fragmentos atômicos em sequência, a chamada “reação em cadeia”. Essa reação é ilustrada através de uma metáfora que mostra a queda sequencial de um conjunto de peças de dominó.

O capítulo utilizado termina com as conseqüências históricas da construção e utilização das bombas nucleares no fim da Segunda Guerra Mundial, as quais foram lançadas pela primeira vez sobre o Japão, nas cidades de Hiroshima e Nagasaki.

Apesar do livro apresentar versões bastante simplificadas das teorias científicas e de cometer alguns equívocos conceituais, como, por exemplo, o uso dos termos

“Rápido=pesado” ou “massa em movimento”, acredito que a forma como as ideias são apresentadas podem contribuir de maneira significativa na introdução de debates que envolvem os conhecimentos prévios dos alunos e os conhecimentos cientificamente aceitos pela academia.

A linguagem acessível e bem humorada apela à curiosidade e pode prender a atenção dos estudantes, principalmente daqueles que geralmente não se interessam pelas aulas de física. Além disso, pode contribuir para que a leitura se torne um hábito, estimulando-os a se tornarem leitores assíduos em busca de informações relevantes para sua vida, mesmo estando longe da escola. (GAMA, 2005). Neste trabalho, a autora desenvolveu uma pesquisa com o objetivo de analisar o funcionamento da leitura indicando possibilidades para o uso da divulgação científica no ambiente escolar.

### **2.3 ANÁLISE DO MATERIAL DE LEITURA**

O capítulo 15 do livro de Goldsmith (2002) lido pelos alunos, cujo título é “ $E=mc^2$ ”, traz informações gerais da época em que Einstein já havia se mudado para os Estados Unidos devido às perseguições aos judeus no final da década de 30 na Alemanha, sua terra natal.

Além disso, o capítulo tem um enfoque especial na relação entre massa e energia, sintetizada pela equação que nomeia o capítulo. O texto mostra que na teoria da Relatividade Especial, desenvolvida por Einstein, as grandezas do espaço e do tempo, e indiretamente, da massa e da energia, não são as mesmas que conhecemos para eventos em que a velocidade se aproxima da velocidade da luz no vácuo, valor hoje conhecido como 300.000.000 m/s, aproximadamente.

Para exemplificar, o autor sugere uma experiência imaginária onde um grão de areia é arremessado três vezes contra uma parede de uma casa. No primeiro arremesso, o grão é

lançado com incríveis 90% da velocidade da luz, causando apenas uma pequena marca na parede após a colisão. No segundo, o grão é lançado com o dobro da força do primeiro arremesso, porém o grão não atinge o dobro da velocidade, como seria previsto na teoria clássica de Newton, e sim 97,2% da velocidade da luz. Este impacto causa rachaduras na parede. No terceiro e último arremesso, lançado vinte vezes mais forte que o primeiro, o grão de areia atinge 99,97% da velocidade da luz e causa uma enorme explosão quando colide com a parede da casa. (Veja anexo I)

Este exemplo está constituído em linguagem escrita e quadrinhos, de modo a facilitar a visualização da situação hipotética. A explicação do autor também é acompanhada de ilustrações e sugere que a energia transferida ao grão não é toda transformada em movimento, mas parte dela é transferida para a massa, ou seja, é usada para torná-lo mais pesado. O autor ainda cita que isso acontece o tempo todo no nosso dia a dia “(...) a Teoria da Relatividade sustenta que isso acontece todos os dias: sempre que você atira uma coisa, parte do seu esforço torna a coisa mais pesada, parte a acelera.” (GOLDSMITH, 2002, p.166).

Para confirmar suas afirmações, o autor também lança mão das equações:

$$\text{MASSA EM MOVIMENTO} = \frac{\text{MASSA NORMAL}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad E = MC^2$$

Na primeira equação, ele sugere ao leitor que existem dois tipos de massa: “a massa normal”, que seria a massa do objeto parado, e a “massa em movimento”, que seria uma massa diferente da massa do objeto parado e que depende do valor da velocidade (v) do seu movimento e da velocidade da luz no vácuo (c). Já a segunda equação, segundo Goldsmith, serve para esclarecer “que todas as reações atômicas, todas as mudanças químicas e todos os processos vivos só ocorrem por meio da conversão da matéria em energia e vice-versa” (p.168), e ainda que a equação “ $E=mc^2$ ” foi o primeiro passo rumo ao poderio atômico” (p.169), que acabaria culminando nas terríveis bombas atômicas.



A partir do que é dito no texto podem ser feitos alguns questionamentos.

Primeiramente, o autor usa inúmeras vezes o termo “conversão” de massa em energia, e vice-versa. Entretanto, o surgimento de uma destas grandezas ocorre em função do desaparecimento da outra apenas em algumas situações particulares, como em reações químicas e nucleares. Além disso, é sempre mais coerente afirmar que existem situações, principalmente em escalas subatômicas, nas quais partículas podem ser convertidas em radiação, conforme pode ser visto trecho abaixo:

A afirmação de que massa pode ser convertida em energia envolve, talvez, a confusão entre os conceitos de massa e matéria, por um lado, e energia e radiação eletromagnética, por outro. Matéria é uma coisa. Radiação eletromagnética é uma coisa. Assim, matéria pode ser convertida em radiação eletromagnética como acontece, por exemplo, no processo de aniquilação de uma partícula pela sua antipartícula, com o conseqüente aparecimento de radiação. O processo inverso também existe. Agora, embora seja verdade que a matéria pode ser convertida em radiação eletromagnética e vice-versa, não é isso que a equação  $E=mc^2$  significa. (BARCELLOS E ZANETIC, 2007, p.2)

O que podemos afirmar com isso, é que nesta equação, a massa ( $m$ ) de um corpo está associada ao seu conteúdo energético ( $E$ ), e que esse valor é extremamente grande, pois a constante de proporcionalidade  $c^2$  representa a velocidade da luz ao quadrado. Além disso, em casos específicos não descritos pela equação, uma energia de radiação pode surgir através da aniquilação de duas partículas materiais elementares, uma partícula e uma antipartícula. Neste caso, a antipartícula é aquela que possui mesma massa e cargas opostas à da partícula.

Outro equívoco surge quando o autor afirma que ao adicionar energia a um objeto com a finalidade de movimentá-lo, sempre uma parte dessa energia é convertida em

massa, gerando uma “massa de movimento”. Na sua explicação isso fica corroborado com o uso da primeira equação mostrada anteriormente.

É importante enfatizar que o próprio Einstein nunca usou os termos “massa em movimento” ou “ massa relativística” em nenhuma de suas publicações. Esse tipo de notação pode sugerir ao leitor que matéria será criada à medida que sua velocidade for aumentando. O que se pode afirmar é que a inércia de um corpo aumenta à medida que sua velocidade se aproxima da velocidade da luz e sua inércia pode ser medida a partir da sua massa inercial e não da sua quantidade de matéria.

Veja o que o próprio Einstein disse em uma carta que ele escreveu a Lincoln Barnett em 19 de junho de 1948:

Não é bom introduzir para um objeto móvel, o conceito de massa  $M=m\sqrt{1-v^2/c^2}$  para o qual nenhuma definição clara é fornecida. É melhor não introduzir qualquer outra massa além da ‘massa de repouso’  $m$ . Em vez de introduzir  $M$ ; é melhor mencionar as expressões para o momentum e a energia de um corpo em movimento. (OKUN APUT OSTERMANN, 2004, p.100)

Além de mencionar o aumento de massa à medida que a velocidade aumenta, ele diz que isso acontece sempre que você atira um objeto, citando ainda que ao ser atingido por um objeto em movimento, ele vai “machucar muito mais porque a energia não é toda consumida na aceleração da coisa, mas também a torna mais pesada.” (p.166)

Assim, além de não citar claramente que estes efeitos ocorrem apenas para velocidades próximas à da luz, Goldsmith induz o leitor a acreditar que a força do impacto nas colisões é causada pelo aumento de massa, o que é um grande equívoco! A força do impacto é fruto da alta desaceleração devido à rápida queda de velocidade no momento do choque. Ela pode ser medida através do produto da massa do objeto pela desaceleração

sofrida por ele, que é proporcional à queda de velocidade (que vai a zero no momento do impacto) e inversamente proporcional ao tempo de interação durante o choque.

Mais uma vez é importante ratificar que, em velocidades experimentadas no nosso cotidiano, não é possível observar nenhum efeito relativístico na massa e nem em qualquer outra grandeza física. Isso porque, as velocidades observadas no dia a dia são muito menores que 300.000.000 m/s, que é a velocidade da luz no vácuo.

Os equívocos mais relevantes foram comentados com os alunos em aula. Essa mediação do professor (4ª aula) foi posterior à aula de leitura da primeira parte do capítulo. Nesta aula, além de ouvirem minhas explicações referentes ao que haviam lido no texto, eles puderam manifestar algumas de suas concepções prévias e confrontá-las com o que estava sendo discutido em sala.

### **3. SUPORTE TEÓRICO/METODOLÓGICO E CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO DAS ATIVIDADES EM AULA**

#### **3.1 ELEMENTOS DA ANÁLISE DE DISCURSO**

Como apoio teórico para este estudo, utilizei algumas noções da Análise de Discurso (AD) publicadas no Brasil por Eni Orlandi. Essa vertente da AD foi iniciada por Michel Pêcheux na década de 70, na França.

Estes autores tratam a linguagem como não transparente e associada a uma memória discursiva construída histórica e culturalmente.

Orlandi (2005) afirma que a AD

(...) considera os processos e as condições da linguagem pela análise da relação estabelecida pela língua com os sujeitos que a falam e as situações em que se produz o dizer. Desse modo, para encontrar as regularidades da linguagem em sua produção, o analista de discurso relaciona a linguagem à sua exterioridade. (p.16).

Em outro momento a mesma autora afirma que para a AD:

- a) A língua tem sua ordem própria mas só é relativamente autônoma.
- b) A história tem seu real afetado pelo simbólico (os fatos reclamam sentido).
- c) O sujeito de linguagem é descentrado, pois é afetado pelo real da língua e também pelo real da história, não tendo o controle sobre o modo como elas o afetam. Isso

redunda em dizer que o sujeito discursivo funciona pelo inconsciente e pela ideologia. (ORLANDI, 2005, p.20)

Com isso, é possível afirmar que a relação das palavras não é garantia de transmissão de ideias ou de comunicação. O que se deve considerar é o mecanismo do discurso. O analista de discurso deve compreender os mecanismos que funcionam na construção dos discursos conhecendo as condições em que são produzidos e a ideologia dos envolvidos.

Assim, é possível afirmar que a interpretação de um discurso está relacionada com as condições imediatas de produção e construção do discurso e com o contexto histórico dos interlocutores.

Orlandi (2004) comenta isso:

A interpretação é o vestígio do possível. É o lugar próprio da ideologia e é “materializada” pela história. Esta, finalmente, é uma característica importante da interpretação. Ela sempre se dá de algum lugar da história e da sociedade, e tem uma direção, que é o que chamamos de política. Desse modo, sempre é possível apreender a textualização do político no gesto da interpretação. (p.18/19).

Ainda segundo Orlandi (idem),

(...) as três noções – o político, o histórico e o ideológico – da interpretação estão ligadas. O político é o fato de que o sentido é sempre dividido, tendo uma direção que se especifica na história, pelo mecanismo ideológico de sua constituição (p. 25).

Dessa forma, a AD é considerada uma teoria do discurso que foca a determinação histórica dos processos de significação e a relação dos sentidos produzidos.

Admitindo que a linguagem seja uma produção humana, nem natural e nem transparente, em que os sentidos não estão fixos, é preciso compreender o movimento dos sentidos a partir das condições de produção dos discursos.

De maneira geral, as condições de produção estão associadas ao contexto histórico, à ideologia dos interlocutores, aos locais onde se situam e às suas memórias discursivas ou interdiscurso.

Segundo Orlandi (2005), não há discurso sem sujeito e nem sujeito sem ideologia. A ideologia é entendida como a relação existente entre o indivíduo e suas condições materiais de existência. É a partir da ideologia que se torna possível o dizer.

De acordo com Orlandi (1994):

Pela ideologia se naturaliza o que é produzido pela história; há transposição de certas formas materiais em outras. Há simulação (e não ocultação de conteúdos) em que são construídas transparências (como sua linguagem, sua materialidade, sua opacidade) para serem interpretadas por determinações históricas que aparecem como evidências empíricas. (p.57).

Muitas vezes essa memória é chamada de interdiscurso e segundo Maingueneau(1997):

O interdiscurso consiste em um processo de reconfiguração incessante no qual a formação discursiva é levada a incorporar elementos pré-constituídos (ou seja,

produzidos em outros discursos anteriores a ele e independente dele), com eles provocando sua redefinição e redirecionamento, suscitando, igualmente, o chamamento de seus próprios elementos para organizar sua repetição, provocando também, eventualmente, o apagamento, o esquecimento, ou mesmo a denegação de determinados elementos. (p.113).

Para Pêcheux (1999), a memória discursiva não deve ser entendida como “memória individual”, mas nos sentidos entrecruzados da memória mítica, da memória social inscrita em práticas, e da memória construída do historiador entendida como dialética de repetição e regularização.

Em Orlandi (2005), a memória discursiva, ou interdiscurso, é considerada como aquilo que fala antes e em outro lugar, ou seja, “é o saber que torna possível todo o dizer e que retorna, sob forma do pré-construído, o já dito que está na base do dizível, sustentando cada tomada da palavra.” (p.31).

Pensando nos processos de ensino e de aprendizagem, pode-se avaliar a forma de repetição. Para Orlandi (2004), embora o autor de um discurso o faça a partir de repetições que fazem parte de sua história, estas repetições podem ser meros exercícios mnemônicos ou podem trazer formulações do interdiscurso que historicizam seu dizer, produzindo um evento interpretativo.

Assim, a autora distingue três tipos de repetição e avalia suas formas de interpretação, os quais podem ser usados como indício da natureza da aprendizagem. São eles:

- a) A repetição empírica – exercício mnemônico que não historiciza.
- b) A repetição formal – técnica de produzir frases, exercício gramatical que também não historiciza.

- c) A repetição histórica – a que inscreve o dizer no repetível enquanto memória constitutiva, saber discursivo, em uma palavra: interdiscurso. Este, a memória (rede de filiação), que faz a língua significar. É assim que sentido, memória e história se intrincam na noção de interdiscurso. (ORLANDI, 2004, p.70).

Na repetição empírica, o sujeito produz seus enunciados a partir de repetições literais do que ele viu anteriormente. Na repetição formal, ele o faz através de repetições que contenham outras palavras, geralmente sinônimas das contidas no texto original visto anteriormente. Já na repetição histórica o sujeito usa referências anteriores para complementar seu dizer. Ele faz uso de elementos históricos de sua vida, demonstrando deslizamentos de conhecimentos no momento que exprime sua própria opinião sobre o tema.

Orlandi (1998) remete essas noções de repetição em situações escolares:

A repetição empírica é a que na escola chamamos de efeito papagaio: o aluno repete sem saber o que está repetindo. Esquece logo depois, pois o que diz não lhe faz sentido. A repetição formal já é uma elaboração da forma abstrata da língua, e temos neste caso o que em geral é considerado um bom aluno: ele repete com outras palavras. No entanto, como não há historicização, o dizer não sai do lugar. Finalmente, na repetição histórica teríamos um aluno com real trabalho de memória: ele inscreveria assim o dizer em seu saber discursivo o que lhe permitiria não só repetir, mas ao fazê-lo produzir deslizamentos, efeitos de deriva no que diz. (p.14).

A autora afirma ainda que esse trânsito de modos de repetição, da empírica para a histórica, é o movimento “ideal” da aprendizagem, criando condições para que o aluno trabalhe a relação entre sua memória e suas filiações de sentido, produzindo deslizamentos



de conhecimentos passados, trazidos de vivências anteriores, e que passaram por um processo de resignificação devido à apropriação do conceito aprendido.

Quanto à produção da linguagem, Orlandi (1998) faz uma articulação de dois grandes processos para estruturar seu funcionamento: a paráfrase e a polissemia. Na paráfrase o aluno reproduz o discurso, reescrevendo com suas palavras as principais ideias presentes no texto, geralmente utilizando uma linguagem mais longa, mas que sempre retorna no mesmo espaço dizível. Já na polissemia o aluno se destaca pelo uso de expressões que dão novo sentido ao original, produzindo assim um deslizamento de sentidos.

Como um dos objetivos deste trabalho é o de compreender o funcionamento da leitura em sala de aula de um texto de divulgação científica sobre um tema de física moderna e também verificar como atua a mediação do professor, é importante ter em conta que um texto tem diferentes possibilidades de leitura.

Para Orlandi (2001), “não há leituras previstas por um texto, em geral como se o texto fosse fechado em si mesmo e auto-suficiente. Há leituras previstas para ele.” (p.88)

A interpretação de um texto, como foi visto anteriormente, depende de fatores imediatos que, no caso, ocorrem em sala de aula, e de fatores externos que ocorrem ao longo da história e são obtidos por cada um através de suas experiências vivenciadas.

Assim, devemos considerar todos esses fatores e também a multiplicidade de modos de leitura como mostram Silva e Almeida (1998):

Tomar o sujeito como condição de leitura significa levar em consideração a sua história de leitura e de vida, o que implica em admitir outros significados e não apenas os atribuídos pelo professor, que possui uma história de leitura diferente da do aluno. (p.138)

Entretanto, considero que é de fundamental importância a intervenção do professor nas condições de produção no momento da leitura do texto, pois ele pode estabelecer direcionamentos de leitura que julga importantes para o direcionamento da interpretação do assunto.

Esse tipo de atividade pode contribuir para a produção de sentidos e possíveis deslocamentos de conhecimentos, além de uma maior aproximação de professor e aluno, possibilitando maior interação nas aulas e, conseqüentemente, maior conhecimento de cada aluno por parte do professor.

### **3.2 MEDIAÇÃO DO PROFESSOR**

Antes de caracterizar como considere a função do professor em sala de aula, é importante tentar destacar o papel principal da escola na construção dos conhecimentos.

Avaliando a relevância da escola, Silva (2002) afirma que

A escola não produz sentidos a partir de si mesma, e nem os sentidos produzidos fora da escola podem ser totalmente desconectados do funcionamento dessa instituição. Daí a importância de compreendermos os modos como a escola participa da construção/disseminação/produção de formas simbólicas que medeiam nossa relação com a realidade. (p. 4)

Assim, a escola não se limita à transmissão de informações, mas interage na maneira como os conhecimentos do cotidiano são desenvolvidos. Ainda segundo Silva (idem), os sentidos produzidos na escola fazem parte de um complicado processo em que são selecionados e produzidos os bens simbólicos.

Além disso, segundo Compiani (2003), entender a escola como um ambiente de construção de conhecimento passa pelo entendimento do papel mediador do professor que controla as atividades em sala de aula e encaminha os alunos rumo às significações.

Segundo o mesmo autor, nas atividades realizadas em sala de aula:

(...) a mediação do professor é muitas vezes problemática, conflituosa, ou que, muitas vezes, ele que tem que ser drástico e decidir rapidamente. Muitas dessas decisões nem sempre são racionalizadas, no momento de tomá-las são tácitas e também intuitivas. (COMPIANI, 2003, p.1)

Dessa forma, segundo Souza (2003), o professor deve se preocupar em não usar de coerção, determinando ou proibindo as interpretações. Ele não deve conduzir o aluno a uma concepção de verdade absoluta da ciência, silenciando as interpretações equivocadas que podem ser encontradas ao longo da história, na busca pelo entendimento dos fenômenos.

A abordagem histórica é uma importante ferramenta no destaque do caráter temporário e dinâmico da ciência. Assim, é importante a discussão da consistência dos conhecimentos científicos atuais, comparados aos conhecimentos superados no decorrer do tempo, bem como aos conhecimentos do senso comum (PATY, 2002), que também podem guardar alguma relação com concepções científicas de épocas passadas.

Essa articulação entre os conhecimentos pode favorecer uma aprendizagem mais significativa sobre os conceitos da ciência. No entanto, para que isso ocorra independentemente dos instrumentos de ensino utilizados, é relevante a motivação dos alunos para que produzam significados acerca do conceito exposto. A articulação destes significados pode viabilizar a aprendizagem dos conteúdos trabalhados pelo professor.

A atitude do professor é discutida por Assis e Carvalho (2008) no trabalho em que avaliam a postura de dois professores de física durante uma atividade na qual foi trabalhada

a leitura de textos alternativos. O objetivo era verificar se houve favorecimento na promoção de aprendizagem significativa através da articulação entre conhecimentos novos e prévios dos estudantes.

Apesar da escolha por textos de divulgação científica aparentemente ser uma escolha que satisfaz o aluno e viabiliza a compreensão dos conhecimentos científicos, devido à sua linguagem mais informal e presente no cotidiano do jovem, no ensino regular, ela deve ser acompanhada pela mediação do professor.

Dessa maneira, como professor, me propus, durante as atividades deste estudo, a apresentar o tema, guiar a leitura, organizar as discussões e esclarecer as dúvidas associadas aos aspectos científicos, técnicos e do dia a dia do aluno, ou da atividade em si, de modo que os conhecimentos prévios pudessem ser reconstruídos através do conhecimento científico atual, deixando evidente o caráter provisório das teorias científicas ao longo da história.

Considereei que, somente dando abertura à voz do aluno seria possível propiciar uma aprendizagem significativa na qual os alunos não mais internalizassem o conhecimento de forma literal e idêntica, mas adquirissem um conhecimento substantivo e não arbitrário. Isso foi feito permitindo que os alunos manifestassem e defendessem suas opiniões livremente, durante todas as fases da pesquisa.

De maneira semelhante, Schein e Coelho (2006) investigaram como a mediação entre professor e aluno, através de questionamentos, facilita o processo de aprendizagem de conhecimentos da ciência em turmas de Ensino Médio.

Através de atividades experimentais sobre o equilíbrio de diferentes corpos, os autores discutem como o papel do questionamento pode favorecer a construção de conhecimentos, fazendo os alunos desenvolverem suas capacidades de observação, investigação e explicação de fenômenos.

Ainda segundo os autores, partir das concepções prévias dos estudantes, permite ao professor problematizar situações que acredita serem relevantes na realização de reflexões

acerca de um conceito científico. Neste caso, o questionamento do professor serve como ferramenta de motivação que influencia “os processos cognitivos desenvolvidos pelos alunos, suas atitudes, seus métodos e aprendizagem” (SCHEIN E COELHO, 2006, p.78), passando de uma reflexão sobre observáveis para um pensamento mais abstrato.

Assim, segundo os autores, através de uma conversão de conteúdos em questões, o professor adquire um novo papel: o de orientador pedagógico, não cabendo mais a ele a função de dar respostas e sim de promover uma reflexão que vai confrontar o conteúdo que está sendo investigado com conhecimentos anteriores vivenciados pelos estudantes.

No entanto, para que estes questionamentos sejam adequados é crucial que o aluno seja ouvido e seja colocado no centro dos processos de ensino. Só dessa maneira será possível construir uma base sólida na produção de novos conhecimentos.

Utilizando outra estratégia de ensino, Silva e Villani (2009), estabelecem que a realização de atividades realizadas em pequenos grupos pode constituir uma ferramenta bastante favorável à aprendizagem de conteúdos científicos.

Esse tipo de atividade, além de poder facilitar a produção de significados sobre conteúdos específicos, auxilia no “desenvolvimento de habilidades de comunicação e atuação dos atores envolvidos” (SILVA E VILLANI, 2009, p. 22), tornando os alunos protagonistas do próprio aprendizado.

Em contrapartida, segundo os autores, é fundamental a intervenção do professor na organização das tarefas (intervenção institucional) e no desenvolvimento da comunicação e da constituição do grupo (intervenção presencial). Assim, conhecendo profundamente o processo de aprendizagem, eles consideram que é possível regular as intervenções e atingir as metas desejadas.

Ainda segundo os mesmos autores, seja qual for a dinâmica escolhida, o professor deve ter o controle “cognitivo e afetivo” da situação a fim de conseguir extrair os resultados esperados para a obtenção do conhecimento planejado. Sem “essa noção mínima, os

resultados podem ser mais insatisfatórios do que a modalidade de instrução tradicional.” (SILVA E VILLANI, 2009, p. 44)

Utilizando a experimentação como instrumento de ensino, Villani e Carvalho (2005) avaliaram a mediação do professor através da “análise de entrevistas didáticas que exploravam o conflito cognitivo para favorecer a mudança de conhecimentos.” (p.381)

Através de experimentos simples de colisão de pequenas esferas maciças, envolvendo pêndulos e canaletas, a entrevistadora tinha o papel de questionar as ideias e conhecimentos prévios levantados pelos alunos sobre a mecânica de Newton e direcioná-los para o conhecimento científico atual.

Apesar da condução da entrevistadora ter sido adequada em geral, fazendo com que os alunos confrontassem suas concepções com os resultados experimentais, ficou clara neste trabalho a complexidade da atividade docente:

(...) ela supõe um trabalho racional do professor de construção de sua própria competência estratégica, baseada na articulação entre conhecimento científico, habilidade didática e disponibilidade dialógica. (VILLANI E CARVALHO, 2005, p.385).

Aliado a isso, durante a mediação, o professor enfrenta o desconhecido, ou seja, situações inesperadas que podem levá-lo a “recuos” e a “intervenções apressadas” que podem influenciar na estratégia pedagógica traçada e até mesmo em deslocamento de sentidos indesejados.

Ainda segundo os mesmos autores, dessa forma, é cada vez mais importante que o professor conheça as formas de discurso utilizadas em sala de aula e conheça suas posições inconscientes durante a mediação. Logo, é fundamental que os professores tomem consciência das diferentes posições que podem adotar em sala de aula. Isso deve ser

trabalhado desde o início de sua formação profissional. Só dessa maneira será possível construir um saber significativo e compartilhado entre professor e aluno, em que este último possa ser o sujeito ativo na produção do seu próprio saber.

Com o intuito de identificar os entraves que inviabilizam uma mediação mais produtiva em sala de aula, Scarinci e Pacca (2009) elaboraram um instrumento pedagógico, a partir de ideias construtivistas, para analisar e interpretar a atuação do professor de física em sala de aula, com a finalidade de fornecer subsídios que contribuam para se entender as dificuldades que estes podem encontrar para modificar suas práticas de ensino sugeridas por programas de formação docente.

O instrumento elaborado pelas autoras analisou: 1) as estratégias escolhidas para a condução do ensino (escolha e planejamentos das atividades), 2) as habilidades mobilizadoras (disponibilidade para ouvir o aluno), 3) as atitudes na interação com os alunos (comportamento do professor frente às ações não planejadas), 4) a avaliação do próprio trabalho (capacidade do professor em refletir e analisar sua atuação) e 5) a meta-avaliação ou tomada de consciência (consciência mais aprofundada que permite não só compreender, mas explicar sua atuação).

Com uma intenção claramente analítica, e não apenas descritiva, no estudo de Scarinci e Pacca (idem), as autoras procuraram mapear a atuação dos professores de física no desenvolvimento de uma atividade na qual eles foram instruídos a usar uma metodologia construtivista. Depois disso, foi feita uma entrevista com estes professores a fim de identificar os principais problemas ocorridos no desenvolvimento da atividade.

Os dados analisados indicaram que os professores são resistentes à mudança de metodologia por diversas razões. A falta de liberdade de expressão dada pelos professores aos alunos é uma das dificuldades de execução de uma aula construtivista, na qual é fundamental a articulação das concepções prévias dos estudantes. Por isso, segundo as autoras, o espaço de interação com os alunos deve estar incluído no planejamento da aula.

As autoras também consideram que, nessa interação o professor deve estar preparado para as situações mais inesperadas, sempre reagindo da maneira mais rápida e coerente, evitando a interrupção da aula programada e permitindo que o aluno construa suas próprias respostas às questões levantadas.

Durante a avaliação de suas próprias atuações, os professores indicaram que o construtivismo radical não é o “mais adequado para a aprendizagem em uma situação de ensino formal” (SCARINCI E PACCA, 2009, p. 474). Além disso, elas afirmam que a falta de domínio do conteúdo é outro fator que contribui para aumentar a dificuldade de interação com os alunos no trabalho com suas concepções prévias.

Assim, as autoras concluem que, de qualquer forma, parece ser muito produtivo para o ensino que se explore o diálogo em sala de aula, tanto no ensino regular quanto nos cursos de formação de professores. Agindo dessa forma, o professor poderá identificar mais facilmente os desvios de concepções e tornará mais eficiente a (re)construção de conhecimentos significativos para a constituição de um indivíduo mais consciente de seu papel na sociedade.

Todos os artigos citados anteriormente retratam diferentes situações de mediação entre professor e aluno. Direta ou indiretamente parece unânime entre os autores a ideia de que a bagagem trazida pelo aluno, através de suas experiências individuais, deve ser trabalhada pelo professor em sala de aula. “Quando se apresenta à ciência um espírito nunca é jovem.” (BACHELARD, 1996)

Essa forma de reconstruir o conhecimento cotidiano, que o aluno possui antes mesmo de entrar na escola, parece ser o meio mais eficaz para um aprendizado mais significativo dos conhecimentos científicos.



### 3.3 COLETA DE INFORMAÇÕES

As atividades programadas para esta pesquisa ocorreram em duas escolas públicas estaduais da cidade de Campinas – SP, com quinze turmas de Ensino Médio durante um intervalo de tempo de seis horas-aula, incluindo um levantamento de interesse dos estudantes realizado em uma aula quase seis meses antes.

Esse levantamento ocorreu no primeiro dia letivo de 2009, quando apresentei às minhas turmas o livro de divulgação científica “Albert Einstein e seu universo inflável”, escrito por Mike Goldsmith, com ilustrações de Philip Reeve, (GOLDSMITH, 2002), para que pudesse avaliar seu grau de aceitação pelos estudantes.

Nesta pesquisa, escolhi trabalhar com todas as turmas que eu estava lecionando no ano de 2009. Dessas turmas, seis eram de 1º ano (três no período diurno e três no período noturno, incluindo uma turma de EJA – Educação de Jovens e Adultos), seis eram de 2º ano (três no período diurno e três no período noturno, incluindo duas turmas de EJA) e três eram de 3º ano (duas no período diurno e uma no período noturno).

Um pouco antes de mostrar o livro, apresentei aos alunos o currículo tradicional de física que a maioria dos livros didáticos inclui para ser ensinado nas respectivas séries do Ensino Médio. Comentei que quase todos os assuntos presentes neste currículo tratavam de teorias físicas desenvolvidas nos séculos XVII e XVIII. A partir deste momento, propus que, além destes assuntos de física programados para aquele ano, poderíamos ter algumas aulas com assuntos mais modernos, com algumas das teorias desenvolvidas pelo “famoso” cientista Albert Einstein – eleito pela revista *Time* como uma das pessoas mais importantes do século XX.

Em seguida, disse aos alunos que eles poderiam tentar entender algumas de suas teorias através de um livro diferente do livro didático que eles estavam acostumados a utilizar na escola. Neste momento, mostrei o livro escolhido e passei três volumes pela sala para que eles pudessem folhear e visualizar seu formato, linguagem e figuras. Fiz questão

de enfatizar que não se tratava de uma propaganda do livro e que ninguém iria precisar comprá-lo. Achei que dizer isso seria importante para que as respostas do questionário que iria passar logo em seguida, com questões sobre a aceitação do livro, não fossem influenciadas por eventuais problemas financeiros.

Enquanto eles olhavam o livro, eu coloquei na lousa um pôster que continha uma lista com os principais tópicos nele presentes, baseado fundamentalmente em seu índice. Dessa forma, eles puderam visualizar mais facilmente os assuntos contidos no livro e que poderiam ser estudados numa outra aula.

A lista apresentada no pôster tinha os seguintes itens:

- Einstein na Escola
- O Tempo não é Absoluto
- Princípio da Relatividade
- O Mistério do Movimento
- Máquina do Tempo
- A Quarta Dimensão
- A Guerra e a Física
- O Universo Inflável
- Teoria Quântica
- Bomba Atômica

Depois disso, a fim de avaliar a aceitação da proposta e conhecer os temas mais atrativos para os estudantes, solicitei que respondessem as seguintes questões:

#### 1º Questionário

- 1) Você já ouviu falar de Albert Einstein? O quê?
- 2) Você gostaria de, nas aulas de física, utilizar um livro como: “Albert Einstein e seu Universo Inflável”, com assuntos de física, mas diferente da maioria dos livros didáticos? Por quê?

- 3) Dos assuntos presentes neste livro (colocados na lousa), quais você acha que seriam mais interessantes para serem estudados? Por quê?

Apesar de ter escolhido trabalhar com uma quantidade bem numerosa de alunos (cerca de 600 alunos distribuídos nas quinze turmas), eu me propus a fazer uma análise qualitativa das respostas recolhidas. Dessa forma, as questões propostas nesta fase e em todas as outras seguintes, foram questões abertas que tinham a finalidade de não restringir a produção de sentidos proporcionados pela leitura do texto. De acordo com Almeida et al (2006), quando

(...) propomos leituras em aula, com questões abertas (...) não deixamos de ter em conta a relevância das informações que o texto lido pode veicular. Mas queremos mais, queremos que as leituras propostas propiciem aos estudantes a oportunidade de refletirem sobre procedimentos de obtenção das informações que o texto veicula. E, também queremos que a leitura seja o ensejo para que os estudantes formulem suas próprias opiniões sobre o que leram e sobre os interdiscursos que a leitura pode produzir. (p.74)

Depois de analisadas, as respostas mostraram uma grande aceitação da proposta por parte dos alunos que indicaram, prioritariamente, a *Bomba Atômica* como um possível tema para ser trabalhado nas próximas etapas da atividade.

Orientado por estas respostas, tive seis meses para preparar o material para as próximas fases. Durante esse tempo as aulas ocorreram normalmente seguindo o currículo tradicional dos conteúdos programados para cada série. Depois disso, elaborei uma sequência de mais cinco aulas que visavam responder às expectativas levantadas pelos alunos na primeira etapa da pesquisa.

Como material de leitura, foi escolhido o capítulo 15 do livro de Goldsmith (2002), que aborda a equação  $E=mc^2$  e suas implicações (ANEXO I). O trecho foi

escolhido para ser utilizado diretamente com os alunos, com o objetivo de facilitar a produção de sentidos e propiciar a construção de conhecimentos da física moderna deduzidos por Einstein, incluindo algo relacionado à Bomba Atômica, citada pelos alunos na primeira fase.

A aula depois do “recesso” de preparação (2ª aula) foi uma conversa sobre a vida de Albert Einstein, que julguei necessária para contextualizar as informações que iriam ser discutidas nos próximos encontros. Nesta aula, contei aos alunos um pouco da história de vida do cientista, desde sua infância na Alemanha até sua morte nos Estados Unidos. Neste momento, não foi comentada nenhuma de suas produções científicas que iriam ser abordadas nas aulas seguintes. Dessa forma, procurei relatar, principalmente, alguns fatos de sua vida pessoal que comprovavam sua grande fama mundial, como o fato de ter sido convidado para ser o primeiro presidente do recém-criado Estado de Israel, convite que ele não aceitou. Durante esta aula percebi, na maioria das turmas, um interesse pouco comum nas aulas de física. Eles achavam interessante conhecer um pouco da biografia de um “gênio”, termo usado por alguns dos alunos. Em uma turma do segundo ano essa aula foi gravada em áudio e está transcrita no Anexo II.

Na aula seguinte (3ª aula), depois deste primeiro contato com a figura de Albert Einstein (já que alguns alunos haviam citado que nunca tinham ouvido falar dele antes da primeira etapa da pesquisa), solicitei aos estudantes que lessem individualmente a primeira metade do capítulo 15 (GOLDSMITH, 2002, p. 162 a 169, ANEXO I). Neste momento, cada um recebeu uma cópia impressa do texto selecionado, que tratava basicamente de alguns itens da Teoria da Relatividade Restrita, incluindo a relação entre massa e energia deduzida por Einstein, sintetizada pela equação  $E=mc^2$ . Por não estarem acostumados a ter um espaço específico para leitura em sala de aula, em algumas turmas tive certa dificuldade para conseguir o silêncio necessário para a concentração na leitura. No entanto, foi uma dificuldade apenas inicial, que foi superada após alguns minutos de insistência.

Após a leitura, que foi um pouco mais além da metade da aula, os alunos receberam uma folha contendo as seguintes questões:

## 2º Questionário

- 1) Que ideias você considera mais importantes no texto lido?
- 2) O que você contaria a um amigo sobre o texto para convencê-lo a ler sobre o assunto?
- 3) Que dúvidas você teve ao ler o texto que gostaria de ver respondidas?
- 4) O que mais você gostaria de saber sobre esse assunto?

No momento em que respondiam as questões, vários alunos alegaram não entender o que estava sendo pedido nas questões. Em alguns casos, notei que eles tentavam extrair elementos do professor que indicassem a resposta “correta”, ou seja, a resposta que o professor esperava deles. Mesmo dizendo que se tratavam de respostas individuais e que seriam avaliados dessa maneira, alguns insistiam em tentar responder o que o professor esperava deles. No entanto, procurei repetir os enunciados com eles e frisar que as respostas não tinham um critério específico para classificá-las como “certas” ou “erradas”.

Na aula posterior (4º aula), fiz alguns comentários sobre os conteúdos lidos pelos alunos no texto que receberam. Além disso, durante toda a minha fala, procurei levantar vários questionamentos com a finalidade de identificar alguma produção de significados adquiridos por eles até o momento, ou seja, as concepções construídas com o que traziam de vivências anteriores e da leitura individual do texto, com o objetivo de permitir uma construção mais sólida dos conhecimentos científicos relacionados à equação  $E=mc^2$  e à relação entre massa e energia presente na teoria de Einstein. Isso foi feito porque, dadas as características do texto selecionado e a dificuldade do tema, considerei que seria de fundamental importância a mediação do professor como uma das condições de produção da leitura.

Em um dos terceiros anos, do período diurno, esta aula foi gravada e sua transcrição está no Anexo III. No fim desta aula os alunos receberam uma folha que continha a seguinte questão para ser respondida individualmente:

### 3° Questionário

Você diria que Einstein mudou alguma coisa na maneira como compreendemos a massa de um objeto? Se sim, de que maneira? Se não, por quê?

Na aula posterior (5° aula), os alunos receberam uma cópia da segunda metade do capítulo 15 (GOLDSMITH, 2002, p. 170 a 177, ANEXO I), que tratava basicamente das consequências históricas da relação entre massa e energia. Nesta aula, os alunos leram e discutiram o texto, divididos em pequenos grupos de no máximo quatro integrantes cada. Além de propiciar outra forma de interação, que não fosse somente a de professor-aluno, supus que o trabalho em grupo auxiliaria no desenvolvimento da comunicação, criando novas condições para que cada um reconstruísse seus conhecimentos, a partir da refutação das concepções prévias, através das hipóteses levantadas no momento do debate.

Para orientar e sintetizar a discussão dos alunos, cada grupo recebeu uma folha com as seguintes questões:

### 4° Questionário

- 1) Conte-nos as principais ideias que você aprendeu nas aulas sobre o trabalho de Einstein.
- 2) Você conhece alguma aplicação benéfica da Energia Nuclear para a humanidade? Se não, gostaria de conhecer? Se sim, conte-nos qual ou quais?

É fundamental salientar a importância da mediação do professor nesta fase da pesquisa. Foi responsabilidade minha a organização e montagem dos grupos e do material a ser trabalhado por eles. A composição dos grupos foi decidida pelos próprios alunos. Deixei que fosse assim, pois quis que eles estivessem reunidos de acordo com suas

afinidades pessoais, contribuindo para que a discussão fosse mais desinibida e sincera entre eles.

Durante essa atividade, eu fui constantemente chamado pelos alunos para solucionar conflitos e responder eventuais dúvidas. No entanto, no momento que eu interagia com o grupo, procurava me comportar como um integrante, formulando questões que considerava relevantes para que os alunos caminhassem em conjunto para a solução, sem que eu fornecesse as respostas prontas.

Após as cinco aulas de aplicação do material selecionado, solicitei aos alunos que realizassem uma avaliação individual e sem consulta com as seguintes questões:

#### 5º Questionário

- 1) Qual o conceito de massa aceito pela maioria das pessoas? Como esse conceito é influenciado pela relatividade de Einstein?
- 2) Qual a participação de Einstein para o surgimento das bombas atômicas?
- 3) Qual o significado da equação  $E=mc^2$ ? Qual a sua importância para a história da humanidade?
- 4) Faça um desenho que esteja associado com a relação massa-energia.

Assim, esta última etapa (6º aula) foi planejada, principalmente, com a finalidade de sintetizar os conhecimentos alcançados e mostrar os resultados para a direção das escolas que haviam exigido uma avaliação como fechamento do trabalho.

## 4. CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

### 4.1 RESULTADO GERAL

Primeiramente, com o objetivo de traçar um panorama mais geral dos resultados obtidos, apresento três tabelas de respostas dadas pelos alunos das duas escolas, em diferentes fases da pesquisa, incluindo o levantamento inicial que direcionou os rumos da pesquisa.

Durante a 1ª aula, em que ocorreu a apresentação do livro e a sondagem dos possíveis temas que poderiam ser estudados na sequência, os alunos deram as seguintes respostas para as perguntas apresentadas:

Tabela 1: Respostas às questões da aula de sondagem (1ª aula)

<b>Você já ouviu falar de Albert Einstein?</b>	<b>1° ano diurno</b>	<b>2° ano diurno</b>	<b>3° ano diurno</b>	<b>1° ano noturno</b>	<b>2° ano noturno</b>	<b>3° ano noturno</b>	<b>Total</b>
não (13%)	16	11	0	6	9	1	<b>43</b>
sim (87%)	78	49	43	45	63	21	<b>299</b>
<b>Total de alunos</b>	<b>94</b>	<b>60</b>	<b>43</b>	<b>51</b>	<b>72</b>	<b>22</b>	<b>342</b>
<b>O quê? (% dos alunos)</b>							
cientista (24%)	29	12	10	14	12	5	<b>82</b>
físico (24%)	15	22	22	9	6	8	<b>82</b>
inventor (7%)	5	0	5	5	7	2	<b>24</b>
gênio/inteligente (22%)	17	14	7	8	22	6	<b>74</b>
escritor (1%)	3	0	0	0	0	0	<b>3</b>
doido/louco (4%)	1	3	4	1	5	1	<b>15</b>
teorias (15%)	14	11	6	8	11	0	<b>50</b>
criador da bomba atômica (3%)	0	1	5	2	1	0	<b>9</b>
não sabe (10%)	7	6	3	5	11	2	<b>34</b>
<b>Total de citações</b>	<b>91</b>	<b>69</b>	<b>62</b>	<b>52</b>	<b>75</b>	<b>24</b>	<b>373</b>
<b>Dos assuntos presentes neste livro (dez colocados na lousa), quais você acha que seriam</b>							



<b>mais interessantes de serem estudados?</b>							
<b>Bomba Atômica (30%)</b>	<b>23</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>103</b>

Apesar da segunda parte da primeira questão desta tabela ter sido bem abrangente, as classes de respostas foram criadas de acordo com a frequência com que os termos eram citados e, como se pode notar na tabela, esses termos, em sua maioria, se referiam à pessoa de Albert Einstein. Poucas foram as citações associadas a alguma possível teoria. Devido a isso, todas as respostas que faziam referência a alguma teoria, foram colocadas em uma única classe de respostas, denominada simplesmente de “teorias”.

Na última questão indicada na tabela, coloquei apenas o número dos alunos que gostariam de estudar temas relacionados à bomba atômica, que foi o assunto mais citado pelas turmas entre os dez temas sugeridos para escolha (sendo “Máquina do Tempo” o segundo assunto mais citado, com 28% de interessados).

Somente seis meses depois, ocorreram as leituras dos textos, a mediação do professor e a discussão em grupo dos assuntos presentes no capítulo selecionado.

Na tabela 2 apresento as respostas fornecidas pelos alunos para uma das questões abertas que lhes foram fornecidas depois da discussão em grupo, organizado em classes de respostas.

Tabela 2: Respostas fornecidas após a discussão em grupo (5ª aula)

<b>Conte-nos as principais ideias que você aprendeu nas aulas sobre o trabalho de Einstein</b>							
	<b>1° ano diurno</b>	<b>2° ano diurno</b>	<b>3° ano diurno</b>	<b>1° ano noturno</b>	<b>2° ano noturno</b>	<b>3° ano noturno</b>	<b>Total</b>
<b>alunos presentes</b>	<b>72</b>	<b>67</b>	<b>63</b>	<b>64</b>	<b>77</b>	<b>26</b>	<b>369</b>
<b>ideias (% dos alunos)</b>							
gênio/inteligente (4%)	2	6	0	4	4	0	<b>16</b>
Relatividade (16%)	7	11	20	6	14	0	<b>58</b>
rápido = pesado (44%)	44	24	34	23	29	7	<b>161</b>

E=mc <sup>2</sup> e transformações entre energia e massa (49%)	29	47	38	28	25	15	<b>182</b>
reação em cadeia/átomos despedaçados (28%)	24	12	19	21	17	9	<b>102</b>
dilatação temporal e contração espacial (45%)	32	38	15	16	44	21	<b>166</b>
limite e explicações da velocidade da luz (18%)	19	10	13	11	6	8	<b>67</b>
Contribuição e teoria da bomba atômica (46%)	40	27	33	34	24	10	<b>168</b>
<b>total de citações</b>	<b>197</b>	<b>175</b>	<b>172</b>	<b>143</b>	<b>163</b>	<b>70</b>	<b>920</b>

Mais uma vez obtive as mais variadas respostas, pelo fato da questão ser aberta. Para esta questão, foram criadas classes de respostas formuladas basicamente no que considerei “palavras-chave” presentes nas respostas dos alunos. Apesar de algumas das respostas, que continham essas palavras-chaves, não estarem completamente em concordância com a teoria como é compreendida na física, como a ideia de “átomos despedaçados”, observa-se que a grande maioria dos alunos teve deslocamentos significativos, se comparados com as respostas apresentadas na tabela 1. Vale lembrar que muitos alunos fizeram mais de uma citação o que justifica o fato do número de citações ser maior que o número de alunos.

Na tabela seguinte, apresento a classificação das respostas obtidas para uma das questões da avaliação final.

Tabela 3: Respostas de uma questão da avaliação individual (6ª aula)

<b>Qual a participação de Einstein para o surgimento das bombas atômicas?</b>							
<b>alunos presentes</b>	<b>77</b>	<b>92</b>	<b>72</b>	<b>66</b>	<b>88</b>	<b>26</b>	<b>421</b>
<b>Citações (% dos alunos)</b>	<b>1º ano</b>	<b>2º ano</b>	<b>3º ano</b>	<b>1º ano</b>	<b>2º ano</b>	<b>3º ano</b>	<b>Total</b>

	diurno	diurno	diurno	noturno	noturno	noturno	
descoberta de $E=mc^2$ e da relação entre energia e massa (44%)	24	34	42	20	46	18	184
descoberta da reação em cadeia e das propriedades dos átomos (27%)	23	19	22	15	32	2	113
descoberta de átomos/areias explosivos (5%)	6	5	5	0	5	1	22
contribuição para o projeto da bomba atômica (13%)	11	17	15	8	2	1	54
primeiros passos para a bomba (ideia e teoria) (29%)	33	29	16	21	17	7	123
envio da carta ao presidente (2%)	1	2	0	1	1	3	8
não sabe (7%)	5	5	0	11	10	0	31
<b>total de citações</b>	<b>103</b>	<b>111</b>	<b>100</b>	<b>76</b>	<b>113</b>	<b>32</b>	<b>535</b>

De novo, as classes de respostas foram criadas de acordo com a frequência com que as ideias iam aparecendo nas respostas. Algumas destas respostas não eram esperadas, por estarem em desacordo com a teoria da Relatividade, como, por exemplo, as respostas presentes na classe “descoberta de átomos/areias explosivas”. Isso pode ser justificado pelo fato do livro ter usado uma metáfora usando grão de areia para explicar a impossibilidade de qualquer objeto ultrapassar a velocidade da luz e pelo fato de uma enorme quantidade de informações sobre relatividade ter sido apresentada aos alunos em um pequeno número de aulas. Além disso, o questionário foi respondido sem nenhum material para consulta. No entanto, as respostas apresentam modos de repetição de trechos do texto lido, discutido ou comentado pelo professor.

De acordo com os resultados apresentados nestas tabelas, podemos concluir que os alunos tiveram deslocamentos significativos referentes à Física Moderna e Contemporânea. Isso pode ser notado na comparação das respostas da tabela 1 com a tabela 2. Na pergunta da tabela 1, sobre Albert Einstein, apenas 50 citações (15% dos alunos) se referiram a alguma teoria feita por ele. Depois da leitura do texto, da mediação do professor e da discussão em grupo, 736 citações (80%) se referiram a alguma de suas teorias quando foi perguntado quais teriam sido as principais ideias aprendidas neste trabalho sobre Einstein, que foi a questão da tabela 2. Ainda comparando as respostas das mesmas tabelas, pode-se ver que depois das leituras e das discussões, apenas 16 citações (4% dos alunos), na classe “gênio/inteligente” da tabela 2, ainda se referiam apenas e simplesmente à pessoa de Einstein, enquanto que na tabela 1 esse número era bem maior, apresentando 74 citações (22% dos alunos).

Outro fato que vale a pena ser ressaltado é que, no início do estudo, 43 (13%) alunos declararam nunca ter ouvido falar de Albert Einstein (esse número está abaixo do esperado, pois acredito que vários alunos afirmaram conhecê-lo por acharem que seriam beneficiados, de alguma forma, na nota), e no fim todos sabiam falar ao menos alguma coisa realizada por ele.

Mais um dado importante na comparação das tabelas é que os adjetivos “doido/louco”, apresentados em uma classe de respostas da tabela 1, não foram mais citados ao longo da pesquisa realizada.

Agora, comparando as respostas da tabela 1 com as respostas da tabela 3, vemos que no início da pesquisa, 9 citações (3% dos alunos) associavam Einstein com bomba atômica. No final da pesquisa, as respostas individuais dos alunos indicavam que somente 31 alunos (7%) não indicaram nenhuma relação de Einstein com as bombas atômicas.

Na comparação entre as turmas notamos que as repetições empíricas, que são cópias literais de títulos ou trechos presentes no texto, conforme evidencia Orlandi (2004), ocorreram com mais frequência nas respostas dos alunos de 1º ano. Isso pode ser comprovado verificando que as respostas da tabela 2 e 3, onde as classes de respostas “rápido=pesado” e “primeiros passos para a bomba”, respectivamente, que estão literalmente presentes no trecho do texto lido, são mais citadas por alunos da 1ª série.

Uma justificativa para essa ocorrência pode estar associada à insegurança que os alunos mais novos têm em responder questões abertas. Neste caso, pode parecer para eles ser mais “seguro” copiar trechos do texto do que correr o risco de escrever algo que, supostamente, não está vinculado ao assunto. Além disso, os alunos das outras séries me conheciam há mais tempo, o que pode ter dado a eles a sensação de maior liberdade com o professor, diminuindo o receio de cometer algum equívoco na hora de se expressarem.

#### **4.2 MANIFESTAÇÕES DOS ALUNOS**

Com o objetivo de fazer uma abordagem mais qualitativa dos resultados e identificar possíveis padrões de aprendizagem analisei, no primeiro momento, as respostas de seis turmas, sendo duas de cada série do Ensino Médio e uma de cada período (diurno e noturno). Neste caso, cada período também representava uma das duas escolas trabalhadas. Com isso, localizei vários exemplos das diferentes formas de repetição apresentadas pelos alunos, incluindo alguns equívocos nas interpretações. Todos os alunos mostrados a seguir são representados por nomes fictícios.

Observei que muitos alunos atingiram alguns dos deslocamentos esperados sobre as teorias estudadas, por exemplo, alguns manifestaram indícios de compreensão do tipo de massa (massa inercial) que aumenta quando um objeto se aproxima da velocidade da luz. Além disso, vários evidenciaram ter entendido porque a velocidade da luz é a velocidade limite do universo, ou seja, que nada no universo consegue ultrapassar a velocidade de 300.000 km/s (ou 300.000.000 m/s). Vejamos alguns casos:

Bianca, 1º ano diurno

“até um objeto muito leve pode se transformar quando se aproxima da velocidade da luz. A energia passa para o movimento que se transforma em massa inercial.” (Após a mediação do professor – 4ª aula).

Jéssica 3ºano noturno

“O texto mostra que rápido é igual a pesado... quanto mais forte for arremessado maior será o estrago ou machucará alguém”. (Após a primeira leitura – 3ª aula).

“Muitas pessoas acham que quando o objeto é arremessado com maior força, maior a velocidade, mas Einstein provou que isso estava totalmente errado, pois nada pode ultrapassar 300 milhões de metros por segundo. Na verdade, porque a energia não é toda consumida na aceleração, parte dela é usada para torná-lo mais pesado, ou seja, fica mais difícil de mover” (Após a mediação do professor – 4ª aula).

Jonathan, 3ºano noturno

“Einstein provou que nada pode fazer uma partícula ir mais depressa do que 300 milhões de metros por segundo.” (Após a primeira leitura – 3ª aula).

“muitos acreditavam que a velocidade era determinada de acordo com a potência do arremesso, e ele provou que quanto maior o arremesso maior vai se tornando a inércia.” (Após a mediação do professor – 4ª aula).

Luciana, 3ºano diurno

“A parte mais importante foi a descoberta da relação entre massa e energia que é a equação mais famosa do mundo” (Após a primeira leitura – 3ª aula).

“se um objeto se aproximar da velocidade da luz eles encurtam e ficam mais pesados.” (Após a mediação do professor – 4ª aula).

“A massa é dada pela inércia do corpo... quanto maior a velocidade, maior será sua inércia.” (Avaliação final – 6ª aula).

Em outro exemplo de deslocamento esperado, alguns outros alunos mostraram que compreenderam o significado da relação massa-energia e ainda conseguiram relacioná-la com alguns elementos do seu cotidiano, dando indícios de repetições formais e até mesmo de repetições históricas. Vejamos alguns casos:

Paulo, 2º ano noturno

“se as pessoas prestarem a atenção na fórmula  $E=mc^2$ , ela indica o valor da energia e da massa. Exemplo: Como a árvore, quando queima um pedaço de madeira e vira carvão fica mais leve, ele vira outra energia: o fogo. Tem árvore que pega a energia solar para crescer.” (Após a mediação do professor – 4ª aula).

Thais, 2º ano diurno

“nós humanos comemos o alimento (massa) que nos dá energia no dia a dia.”  
(Após da mediação do professor – 4ª aula).

Jessica, 2º ano diurno

“A energia pode ser convertida em massa. Um exemplo disso é a energia do sol, que junto com o dióxido de carbono e a água produzem uma planta, planta esta que possui uma massa maior do que os materiais usados no seu desenvolvimento. Se formos considerar a queima do combustível, o vapor e as cinzas que restaram não terão o mesmo peso dele, pois a energia contida que influenciava na massa foi liberada, a massa nesse caso foi convertida em energia.” (Avaliação final – 6ª aula).

Juliano, 1º ano diurno

“uma pequena grama de urânio pode fazer um enorme estrago se misturado com algum outro produto químico como o plutônio e o estrago pode ser maior ainda”  
(Após a primeira leitura – 3ª aula).

Fernando, 2º ano noturno

“Existe um exame chamado de ‘cintilografia’ que usa energia nuclear. Ele é usado para identificar doenças cardíacas, pulmonares, cerebrais e sanguíneas. Será que usa a equação  $E=mc^2$  do Beto?” (Após a primeira leitura – 3ª aula).

Douglas, 2ºano noturno

“parece óbvio, porque quando uma madeira queima fica mais leve que quando era inteira e ele mostrou, provou sua tese através da equação  $E=mc^2$ . Uma prova disso somos nós mesmos, quando nascemos somos de um jeito, de um tamanho, de um peso, ao passar o tempo nos alimentamos, ganhamos massa e mudamos de peso. Isso não deixa de ser uma forma de energia e massa” (Após a mediação do professor – 4ª aula).

Nos discursos dos alunos Paulo, Thais e Jéssica, é possível notar discursos característicos de repetição formal, já que eles estão, possivelmente, se baseando em um trecho do texto lido que diz que

(...) a energia pode se transformar em matéria. É o que acontece quando a luz solar incide sobre uma planta em crescimento. A luz junta o dióxido de carbono e a água para formar novos pedaços, que são um pouco mais pesados do que eram o dióxido de carbono e a água. O peso extra é energia aprisionada da luz solar. Se você queimar (ou comer) a planta, a energia vai ser novamente liberada (GOLDSMITH, 2002, p. 168, ANEXO I).

Já os discursos dos alunos Juliano, Fernando e Douglas, apresentam comentários que não estão presentes em nenhuma das atividades, como o uso dos termos “plutônio” e “cintilografia”, o que sugere que esses discursos são compostos por repetições históricas trazidas individualmente por cada um.

Além disso, alguns alunos ainda comentaram aspectos que não estavam ligados às teorias científicas, da maneira como uma aula de física tradicionalmente requer. Eles comentaram algumas atitudes políticas que também fizeram parte da vida de Einstein que o ajudaram a adquirir sua fama.

Katielle, 3ºano noturno



“Ele (Einstein) não inventou a bomba. Sua participação foi fundamental mas não foi direta. Ele descobriu a equação  $E=mc^2$  e escreveu uma carta para o governo dos EUA quando soube que outro país estava criando uma arma muito potente.” (Avaliação final – 6ª aula).

Aline, 3ºano noturno

“ele pediu ao presidente que iniciasse um programa americano para a criação de condições que permitissem aos Estados Unidos desenvolverem a bomba atômica antes dos nazistas.” (Avaliação final – 6ª aula).

Da mesma forma, também pude notar alguns equívocos. Na interpretação das respostas dos alunos percebemos que alguns duvidaram ou se surpreenderam com algumas das ideias presentes no texto, talvez por não terem entendido o que estava sendo proposto:

Bianca, 1ºano diurno

“eu nunca imaginei que um grão de areia pudesse derrubar uma parede...”

Edson, 2ºano noturno

“acho difícil acreditar que um grão de areia derruba uma casa daquele modo”

Luiz, 2ºano diurno

“a ideia do grão de areia é um tanto duvidosa, mas ainda é importante”

Além disso, percebi que alguns alunos confundiram aumento de massa inercial com aumento de matéria, quando se movimenta um objeto próximo da velocidade da luz. Vejamos algumas destas respostas:

Caio 1ºano diurno

“eu pensava que a massa de uma pessoa só se alterava se ela se alimentasse...”  
(Após a primeira leitura – 3ª aula).

Rafael, 1ºano noturno

“Segundo Einstein, quanto maior a energia colocada, a massa se multiplica” (Após a primeira leitura – 3ª aula).

Camila, 3ºano noturno

“quanto maior o impulso, mais vai machucar, mas também os objetos de pouco peso também vão machucar bastante... um grande exemplo foi o que aconteceu com o piloto de formula 1, Rubinho, que um objeto de + ou – 1kg fez um estrago grande no capacete por causa da velocidade”. (Após a primeira leitura – 3ª aula).

Tammy, 3ºano noturno

“... massa é tudo aquilo que ocupa lugar no espaço.” (Após a primeira leitura – 3ª aula).

Danielle, 2ºano diurno.

“entendi que um grão de areia traz em si uma quantidade monstruosa de energia ou que a energia pode se transformar em matéria” (Após a primeira leitura – 3ª aula).

De acordo com esses equívocos, notei que a leitura, como foi organizada, mesmo com a mediação do professor e o trabalho em grupo, não fez com que todos produzissem significados da maneira desejável. Entretanto, notei deslocamentos nas interpretações dos estudantes em quase todas as etapas da pesquisa. Alguns alunos mostraram uma interpretação coerente com o conhecimento científico já depois da leitura do livro. Alguns, no entanto, só atingiram um estágio semelhante depois da mediação do professor, ou mesmo depois da discussão em grupo. O fato é que a união destas estratégias produziu deslocamentos significativos sobre a relação entre massa e energia, compreendida na física moderna.

Buscando compreender como cada estratégia contribuiu para a construção de significados pelos estudantes, analisei os discursos de três alunas, uma de cada série do período diurno. Elas foram escolhidas por terem participado de todas as atividades propostas e por terem respondido todas as questões solicitadas na pesquisa. Além disso,

elas apresentaram as respostas mais longas, o que era um indício de que elas se preocuparam em relatar, em detalhes, como as interpretações estavam sendo construídas.

Com isso foi possível compreender melhor como a produção de significados foi acontecendo ao longo do processo. Mais uma vez, os nomes das alunas são nomes fictícios. Vejamos os discursos dessas alunas para algumas das questões aplicadas em cada uma das etapas da atividade:

### **Discursos da aluna Tainá (1º ano – diurno)**

- **1ª aula** (durante o levantamento inicial)

**Questão:** Você já ouviu falar de Albert Einstein? O quê?

**Resposta:** “Sim, que ele escreve livros divertidos, interessantes e famosos.”

Nesta fase, notei que apesar desta aluna ter dito que já conhecia Albert Einstein, ela justificou dizendo que ele era um escritor de livros “divertidos e engraçados”, o que parece indicar que ela, talvez, não tivesse ouvido falar dele e que estava sendo influenciada pela presença do livro de divulgação científica “Albert Einstein e seu Universo Inflável” (GOLDSMITH, 2002) que estava sendo passado pela sala, imaginando, possivelmente, que Einstein fosse o autor do livro.

- **2ª aula** (após a leitura individual da primeira metade do capítulo 15 (GOLDSMITH, 2002, p. 162 a 169, ANEXO I)):

**Questão:** Que ideias você considera mais importantes no texto lido?

**Resposta:** “Que a lógica da física faz tudo mudar, por exemplo, um grão de areia levíssimo é jogado a 90% da velocidade da luz, o grão de areia parecerá ser bem mais pesado do que se pode imaginar.”

**Questão:** Que dúvidas você teve que gostaria de ver respondidas?

**Resposta:** “Ainda não entendi muito bem a parte que fala da equação  $E=mc^2$ , que para calcular o quanto de energia um objeto equivale.”

Após essa leitura, apesar de ser possível se notar no discurso da aluna trechos de repetições empíricas, como por exemplo, quando ela cita o fato do grão de areia ser “jogado a 90% da velocidade da luz” (GOLDSMITH, 2002, p.165, ANEXO I), ela traz alguns elementos que podem ser associados à sua memória discursiva, como ao dizer que o grão é levíssimo, mas em alta velocidade “parecerá mais pesado”. Neste caso é possível afirmar que já nesta fase a aluna também apresenta elementos característicos da repetição formal, ou seja, trechos do texto com pequenas substituições por palavras que têm o mesmo sentido. Ainda nesta fase, a aluna ainda afirma não ter entendido a relação entre massa e energia, apresentado-a, inclusive, de forma equivocada: “ $E=m^2$ ”.

- **3ª aula** (após a mediação do professor sobre o assunto da leitura individual):

**Questão:** Você diria que Einstein mudou alguma coisa na maneira como compreendemos a massa de um objeto? Se sim, o quê? Se não, por quê?

**Resposta:** “Sim mudou, porque quando um objeto vai alcançando a velocidade da luz ela se torna massa e fica mais pesada.”

Aqui, a aluna manifestou indícios de compreensão do tipo de massa (inercial), a que a analogia trazida pelo livro está se referindo, citando que um objeto próximo da velocidade da luz ganha “massa e se torna mais pesado”. Na mediação foi dito que, à medida que um objeto vai alcançando velocidades cada vez mais altas e próximas à da velocidade da luz, vai sendo cada vez mais difícil alterar seu estado de movimento, onde “parte da energia vai tornando o objeto mais pesado, virando massa inercial.” (p.114, ANEXO III).

- **4ª aula** (após a leitura e discussão em grupo da segunda metade do capítulo 15 (GOLDSMITH, 2002, p. 170 a 177, ANEXO I)):

**Questão:** Conte-nos as principais ideias que você aprendeu nas aulas sobre o trabalho de Einstein.

**Resposta:** “Ele foi um dos cientistas que contribuíram para o surgimento da bomba. Ele levou ao mundo a famosa equação  $E=mc^2$  que mostra a conversão de massa em energia.”

Após a discussão em grupo, a aluna pareceu ter compreendido melhor o significado da equação de Einstein, pois além de citá-la de forma adequada (“ $E=mc^2$ ”), ela comenta sobre a possibilidade de conversão de massa em energia e sobre sua possível relação com a bomba atômica.

- **5ª aula** (durante a avaliação final):

**Questão:** Qual o conceito de massa aceito pela maioria das pessoas? Como esse conceito é influenciado pela relatividade de Einstein?

**Resposta:** “Einstein descobriu que massa é energia aprisionada, era uma descoberta incrível e  $E=mc^2$  foi o primeiro passo rumo ao poderio atômico. Foi

só até esse ponto que ele chegou em 1935, ele nem sequer achava possível produzir uma reação em cadeia.”

Durante a avaliação final, mesmo com uma resposta enquadrada como repetição formal (GOLDSMITH, p.169, ANEXO I), a aluna demonstrou certo amadurecimento sobre o conteúdo ao contextualizar o assunto abordado nas aulas da atividade pesquisa. Ela não só evidenciou conhecimento de Albert Einstein e sua equação  $E=mc^2$ , como trouxe elementos históricos de suas atitudes e teorias, posicionando Einstein não como criador da bomba atômica e nem como pioneiro da física nuclear, mas como alguém muito relevante na constituição da área e das consequências que estavam por vir.

Assim, apesar da aluna ter apresentado em seus discursos muitos elementos que variaram da repetição empírica à formal, é interessante notar a forma como ela contextualizou o assunto sem fugir dos conceitos físicos sugeridos pela equação que relaciona massa com energia.

### **Discursos da aluna Danielle (2ºE – Diurno)**

- **1ª aula** (durante o levantamento inicial):

(Obs: está aula foi gravada em áudio e segue transcrita no anexo II).

**Questão:** Você já ouviu falar de Albert Einstein? O quê?

**Resposta:** “Sim, foi ele que criou a teoria da relatividade e que teve muita importância para a física.”

Durante a análise dessa resposta foi possível notar que a aluna pareceu conhecer a figura de Albert Einstein, pois citou, inclusive, que ele é o autor da Teoria da Relatividade. Muitos alunos afirmaram neste levantamento que conheciam Einstein, mas não relataram nada sobre ele. Parece que não é o caso desta aluna.

- **2ª aula** (após a leitura individual da primeira metade do capítulo 15 (GOLDSMITH, 2002, p. 162 a 169, ANEXO I)):

**Questão:** Que ideias você considera mais importantes no texto lido?

**Resposta:** “A ideia mais importante é aquela em que o peso de um objeto muda se ele estiver a uma velocidade avançada, como a velocidade da luz, pois parte da energia que é usada acelera o objeto e a outra parte o torna mais pesado.”

**Questão:** O que você contaria a um amigo sobre o texto para convencê-lo a ler sobre o assunto?

**Resposta:** “Contaria que um grão de areia traz em si uma quantidade monstruosa de energia, ou que a energia pode se transformar em matéria. Ou contaria também que o peso de um determinado objeto muda dependendo da sua velocidade.”

**Questão:** Que dúvidas você teve ao ler o texto que gostaria de ver respondidas?

**Resposta:** “Gostaria de saber como se faz para conseguir liberar a energia que está dentro de um átomo? Existe algum aparelho capaz disso? Quantos átomos são necessários para formar uma bomba atômica? Como foi possível fazer uma reação em cadeia, pois até o próprio Einstein achava isso impossível?”

Após essa primeira leitura, a aluna demonstrou sua concepção sobre a analogia do grão de areia que atingia uma velocidade próxima da velocidade da luz. Apresentando repetições empíricas e formais, a aluna afirmou que, próxima à velocidade da luz, qualquer objeto se torna mais pesado devido ao fato que nem toda energia transferida ao objeto para acelerá-lo gera aumento de movimento. Esse discurso, provavelmente, foi baseado no seguinte trecho do texto: “A energia não é toda consumida na aceleração da coisa – também a torna mais pesada” (GOLDSMITH, 2002, p. 166).

Além disso, comenta que até mesmo um pequeno grão de areia traz em si uma grande quantidade de energia. Essa ideia, provavelmente, foi retirada do seguinte trecho: “uma minúscula porção de matéria traz aprisionada dentro de si uma quantidade gigantesca de energia.” (GOLDSMITH, 2002, p. 168).

- **3ª aula** (após a mediação do professor sobre o assunto da leitura individual):

**Questão:** Você diria que Einstein mudou alguma coisa na maneira como compreendemos a massa de um objeto? Se sim, o quê? Se não, por quê?

**Resposta:** “Sim totalmente, ele mostrou que a massa de um objeto é relativa, depende da força que aplicamos a ele. Ao chegar a um certo ponto a energia que aplicamos ao objeto não se transformará mais em movimento e sim em massa inercial. O que nos faz compreender o funcionamento de uma bomba atômica”.

Após a mediação do professor, a aluna começa a citar o termo inércia, demonstrando parecer ter compreendido que a massa adquirida pelo objeto, quando está próximo da velocidade da luz, é a massa inercial.



- **4ª aula** (após a leitura e discussão em grupo da segunda metade do capítulo 15 (GOLDSMITH, 2002, p. 170 a 177, ANEXO I)):

**Questão:** Conte-nos as principais ideias que você aprendeu nas aulas sobre o trabalho de Einstein.

**Resposta:** “Einstein foi um grande cientista que fez descobertas incríveis. Entre suas ideias as principais e mais marcantes são as sobre a bomba atômica, a energia nuclear e seus estragos terríveis, a massa e a energia, que foi sua descoberta sobre o  $E=mc^2$ , onde o peso pode variar conforme sua velocidade.”

**Questão:** Você conhece alguma aplicação benéfica da Energia Nuclear para a humanidade? Se não, gostaria de conhecer? Se sim, conte-nos qual ou quais?

**Resposta:** “Existem grandes usinas nucleares capazes de gerar energia elétrica para as pessoas onde a reação em cadeia é acionada e é liberada uma grande quantidade de energia que através de um gerador se transforma em energia elétrica.”

Durante a discussão em grupo os alunos foram estimulados a responder sobre outras aplicações da energia nuclear. Neste momento a aluna comentou conhecer as usinas nucleares e a reação em cadeia que libera energia, que a converte em energia elétrica através de um gerador. Com isso, foi possível notar indícios característicos de uma repetição histórica, provavelmente trazidos de aulas anteriores, onde foram discutidos circuitos elétricos que incluíam resistores, motores e geradores.

- **5ª aula** (durante a avaliação final):

**Questão:** Qual a participação de Einstein na construção da Bomba Atômica?

**Resposta:** “A participação de Einstein foi fundamental, porque foi através de sua equação  $E=mc^2$  que, mais tarde cientistas conseguiram construir a bomba atômica, onde eles liberavam a energia do átomo em uma reação em cadeia.”

**Questão:** Qual o significado da equação  $E=mc^2$ ? Qual a sua importância na história da humanidade?

**Resposta:** “Essa equação foi importantíssima para a história da humanidade, foi através dessa equação que foi possível a criação da bomba atômica, na qual Einstein relatava que uma partícula pequena de matéria tinha aprisionada dentro de si uma enorme quantidade de energia.”

Na avaliação final foi possível observar nas respostas da aluna vários elementos que podem ser enquadrados como repetição formal, ou até mesmo histórica. Ela evidenciou a importância da equação  $E=mc^2$  para os estudos futuros que originaram a bomba atômica, relatando que há uma enorme quantidade de energia aprisionada em uma pequena porção de matéria, e para as consequências históricas da construção dessa bomba. Essa resposta traz uma boa articulação das ideias que o texto quer transmitir, mas também traz, de novo, uma resposta muito parecida com o trecho que ela já havia usado após a primeira leitura. Vale a pena ressaltar que esta avaliação foi feita sem nenhum material para consulta.

### **Discursos da aluna Pamela (3°C – Diurno)**

- **1ª aula** (durante o levantamento inicial)

**Questão:** Você já ouviu falar de Albert Einstein? O quê?

**Resposta:** “Sim, ele foi um homem muito inteligente, famoso por seus experimentos e por sua criatividade, seu modo de pensar diferente das outras pessoas da época. Ele foi considerado louco por causa de suas ideias e hoje é considerado o cientista mais famoso do universo.”

O levantamento inicial da atividade feito nesta sala foi um pouco comprometido devido ao excesso de aulas perdidas de sexta-feira. Por isso, essa turma teve um tempo menor para conhecer e opinar sobre o livro “Albert Einstein e seu universo inflável” (GOLDSMITH, 2002). No entanto, essa aluna não pareceu ter sido prejudicada ao responder sobre a figura do Albert Einstein. Ela pareceu realmente já ter ouvido falar sobre ele, apresentando, inclusive, alguns adjetivos frequentemente associados ao Einstein, como “inteligente”, “famoso” e “louco”.

- **2ª aula** (após a leitura individual da primeira metade do capítulo 15 (GOLDSMITH, 2002, p. 162 a 169, ANEXO I)):

**Questão:** Que ideias você considera mais importantes no texto lido?

**Resposta:** “Rápido = Pesado. É importante essa ideia para termos noção do perigo de que mesmo as coisas mais simples, como um grão de areia citado no texto, podem levar a grandes consequências. O que também é muito importante é a equação apresentada, que calcula a quantidade de energia que um objeto equivale. Vale ressaltar também que a matéria é energia presa e a energia é matéria liberada; fragmentos de um átomo metido com mais força em outros átomos que também se quebrem (o grão de areia com velocidade de 99,97% da velocidade da luz), como ilustrado nos dominós, nos dá uma ideia da bomba atômica (o que foi um fato histórico). A questão de que a energia pode ser transformada em matéria e a matéria em energia reforça a ideia de que a matéria é energia presa e que a energia é matéria liberada”

**Questão:** O que você contaria a um amigo sobre o texto para convencê-lo a ler sobre o assunto?

**Resposta:** “Bom, um grão de areia pode detonar uma parede! Logo ele se perguntaria: Como? Já que um grão de areia é tão pequeno e leve!? Simples, quanto maior for a velocidade, maior será seu peso, e de fato, tacar, por exemplo, uma bola de boliche na parede em velocidade, menor com certeza ela rachará, e com uma velocidade aproximada da luz é possível sim fazer o mesmo com este grão.”

**Questão:** Que dúvidas você teve ao ler o texto que gostaria de ver respondidas?

**Resposta:** “Não consegui conciliar a equação  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ ”.

No dia programado para os alunos fazerem essa leitura, tive que ficar em duas salas ao mesmo tempo devido à falta de professores na escola. Com isso, os alunos tiveram que responder o questionário proposto, por boa parte do tempo, sozinhos. A aluna analisada apresentou em suas respostas, vários trechos copiados literalmente do texto, caracterizando modos de repetição empírica, tais como os termos, “Rápido = Pesado” (GOLDSMITH, 2002, p. 164), presente em um subcapítulo, e a explicação do significado da equação  $E=mc^2$  que serve para “calcular a quanta energia um objeto equivale” (GOLDSMITH, 2002, p. 167). No entanto, a partir destas repetições empíricas, a aluna desenvolveu um sentido do conteúdo, apresentando inclusive, em alguns momentos, alguns equívocos como a explicação de que “coisas mais simples, como um grão de areia, pode levar a grandes consequências” e também a explicação de que “fragmentos de um átomo metido com mais força em outros átomos (...) dá uma ideia da bomba atômica.” A utilização destes dois trechos sugere que a aluna associou o princípio da bomba atômica com o fato de que as

partículas que atingem velocidades próximas da velocidade da luz podem causar explosões devido à colisão e não por causa da transformação de massa em energia, sugerida pela equação.

Um trecho que reforça esse entendimento equivocado é o fato da aluna ter declarado que não entendeu a equação “ $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ ”, que é parte de uma equação que sugere um aumento de massa em consequência do aumento de velocidade, ou seja, energia sendo transformada em massa, sem que o texto apresentasse nenhuma referência a qualquer tipo de colisão ou consequência de um possível choque entre objetos se movendo rapidamente.

- **3ª aula** (após a mediação do professor sobre o assunto da leitura individual):

(Obs: está aula foi gravada em áudio e está transcrita no anexo III).

**Questão:** Você diria que Einstein mudou alguma coisa na maneira como compreendemos a massa de um objeto? Se sim, o quê? Se não, por quê?

**Resposta:** “Sim, já tinha uma noção de que ao aumentar a velocidade de um objeto ele ficaria mais pesado, mas não imaginava que a energia era transferida para o objeto e assim aumentando a sua massa (o que dá a sensação de mais pesado), pois após o arremesso ele retorna ao seu peso real. A energia pode se transformar em movimento, e quanto maior for a energia, maior será sua inércia.”

No dia em que ocorreu essa mediação havia apenas doze alunos na sala de aula, devido à frequente falta dos alunos nas sextas-feiras. No entanto, a atividade ocorreu normalmente, conforme havia sido planejado. Essa mediação foi gravada e está transcrita no Anexo III. Os poucos alunos presentes ouviram e participaram ativamente da aula, respondendo a questão passada logo em seguida à mediação. Analisando a resposta apresentada pela aluna Pamela, notei que a estudante pareceu ter entendido que a massa que

aumentava quando a velocidade era próxima à velocidade da luz não era a quantidade de matéria. Isso pode ser notado quando a aluna diz que a “energia pode se transformar em movimento, e quanto maior for a energia, maior será a inércia” do objeto.

- **4ª aula** (após a leitura e discussão em grupo da segunda metade do capítulo 15 (GOLDSMITH, 2002, p. 170 a 177, ANEXO I)):

**Questão:** Conte-nos as principais ideias que você aprendeu nas aulas sobre o trabalho de Einstein.

**Resposta:** “Um objeto, por mais pequeno que seja, com uma velocidade aproximada da velocidade da luz (99,97%), 300 milhões de m/s, fica mais pesado, pois a energia se transforma em massa inercial. O que deu a ideia da bomba atômica. Grande quantidade de energia pode ser liberada da matéria, assim, um átomo metido com muita força em outros átomos também se quebrariam, de forma que se você quebrar o primeiro, outros dois serão quebrados e assim outros quatro, etc. A bomba funciona dessa maneira: a partícula se aproxima do átomo, este se divide em outras partículas, liberando energia, e assim outros se dividem, liberando mais energia.”

Nesta aula, a sugestão de sentarem em grupo não foi muito bem aceita por alguns alunos, que questionaram a importância da atividade para o vestibular. Depois de aceitarem os argumentos sobre a importância de se estudar física moderna visando a formação de cidadãos mais conscientes, eles formaram pequenos grupos de quatro alunos, leram e discutiram a segunda parte do texto. De acordo com a resposta apresentada pelo grupo da Pamela, eles pareceram ter concluído, equivocadamente, que a liberação de energia de uma bomba atômica é consequência de um impacto muito grande de um “átomo metido com muita força em outros átomos (...) a partícula se aproxima do átomo, este se divide em outras partículas, liberando energia, e assim outros se dividem, liberando mais energia”.

Essa ideia é muito parecida com a ideia expressada pela aluna em sua resposta individual, logo após a primeira leitura, o que pode sugerir que a aluna Pamela conseguiu convencer seus amigos que sua teoria era coerente. Assim, a aluna e, conseqüentemente, seu grupo, parecem ter entendido que, em altas velocidades, uma partícula converte massa inercial em energia através de uma colisão.

Apesar de não ter ficado claro para a aluna, neste momento, o funcionamento da bomba atômica, que é, inclusive, acionada por nêutrons lentos colidindo com átomos grandes e instáveis (urânio ou plutônio), liberando energia que pode ser entendida como oriunda da diferença de massa entre os átomos colididos e os átomos resultantes dessa colisão, ela foi capaz de distinguir o tipo de massa que se referia a analogia do grão de areia e foi capaz, também, de associar a reação em cadeia com a liberação de energia. Isso pode ser considerado bem relevante se levarmos em consideração o pequeno número de aulas que a aluna teve sobre o assunto e a pequena participação efetiva do professor na resolução das dúvidas que foram surgindo durante a leitura e durante a discussão dos grupos.

- **5ª aula** (durante a avaliação final):

**Questão:** Qual o conceito de massa aceito pela maioria das pessoas? Como esse conceito é influenciado pela relatividade de Einstein?

**Resposta:** “Massa é a quantidade de matéria em um corpo ou objeto, que ocupa determinado espaço. A matéria é a energia aprisionada, se um objeto é lançado com alta velocidade, seu peso (que é massa vezes gravidade) aumenta, mesmo sendo tão pequeno pode causar grandes danos.”

**Questão:** Qual o significado da equação  $E=mc^2$ ? Qual a sua importância na história da humanidade?

**Resposta:** “ $E=mc^2$  significa Energia é igual a massa vezes a velocidade ao quadrado. Serve para medir quanta energia tem um objeto. Isso influenciou em vários estudos e muitas descobertas, o principal foi a bomba, que fez cientistas descobrirem os átomos certos para fazer a explosão.”

Depois da avaliação final, feita sem nenhum material de consulta, a aluna pareceu ter compreendido de maneira mais efetiva o significado da equação  $E=mc^2$ , contextualizando, inclusive, a equação como uma forte influência para que cientistas pudessem desenvolver estudos posteriores que consolidaram a área de física nuclear e que acabaram culminando na construção da bomba atômica.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho procurei compreender como a leitura de um texto de divulgação científica ajudou alunos de Ensino Médio de duas escolas públicas a produzir significados sobre a relação entre massa e energia, resumida pela equação  $E=mc^2$ , presente na Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein.

A investigação das questões norteadoras ocorreu através da análise das respostas dadas pelos alunos aos questionários distribuídos ao final de cada uma das atividades ocorridas durante as seis horas-aula.

Estes questionários eram constituídos de questões abertas que tinham a função de não limitar as interpretações dos alunos e permitir o aparecimento de vários tipos de respostas. Segundo Silva (1997),

Não há apenas uma resposta para estas questões. Representando uma expectativa aberta quanto às possíveis relações dos alunos com o texto. Ao formularmos estas questões de leitura, levamos em consideração o pressuposto básico da existência de múltiplos sujeitos na sala de aula. (p.129)

De maneira geral, foi possível perceber vários deslocamentos significativos de aprendizagem sobre Einstein e sobre a Teoria da Relatividade Restrita, incluindo algumas de suas consequências históricas, conforme pode ser visto na comparação da Tabela 1 com as Tabelas 2 e 3.

Um exemplo bem expressivo desse deslocamento foi o fato de que, na primeira aula da pesquisa, na qual foi apresentado o livro de divulgação científica, 23% dos alunos não mostraram conhecer algo ou nem sequer tinham ouvido falar em Albert Einstein (esse dado é representado pela soma das porcentagens dos alunos que não tinham ouvido falar de

Einstein com os alunos que não sabiam falar sobre ele, presentes na tabela 1, p. 58). No final da pesquisa, todos os alunos evidenciaram ter produzido algum significado e apenas 7% não manifestaram alguma relação de Einstein com as armas nucleares.

Além disso, pude constatar várias repetições formais e históricas acerca do significado da relação massa-energia, ou seja, respostas semelhantes com o que havia no texto e respostas que traziam informações de suas memórias discursivas, vivenciadas em situações anteriores. Isso pode ser visto nas respostas dos alunos Juliano, Fernando e Douglas (p. 64/65), que conseguiram incorporar ao assunto estudado elementos vistos em experiências anteriores.

Através da análise de algumas respostas dadas por três alunas em todas as atividades propostas, também foi possível constatar repetições formais e históricas em várias etapas da pesquisa, o que indica a felicidade na escolha das estratégias utilizadas. Nestas respostas, mesmo sendo possível constatar alguns equívocos sobre as teorias abordadas, foi possível concluir que as alunas obtiveram deslocamentos significativos sobre Einstein e sobre alguns aspectos de suas teorias. Aliás, elas pareceram ter produzido sentidos de alguma relevância a partir da leitura e da mediação do professor, articulando as teorias estudadas com alguns acontecimentos conhecidos da história, como os acontecimentos que culminaram com o final da Segunda Guerra Mundial.

Além disso, percebi que as atividades em grupo foram bastante relevantes para a produção de significados, já que podem ter proporcionado à alguns alunos a sensação de estarem em uma conversa entre amigos onde eles poderiam expor suas opiniões de maneira mais desinibida. Minha participação na discussão dos grupos foi sempre questionadora, de forma a estimular as discussões e contribuir para que eles produzissem significados com certa autonomia.

Deste modo, acredito que este estudo contribuiu para mostrar algumas possibilidades e vantagens de se trabalhar Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, tais como atividades que apresentem elementos que explorem o trabalho de Albert Einstein e a Bomba Atômica.

Assim, este estudo também pôde mostrar que a utilização de textos de divulgação científica, acompanhada da mediação do professor, pode ser uma ferramenta bastante útil no ensino formal, para estudantes do Ensino Médio, no estudo de temas considerados complexos, como a Teoria da Relatividade, conforme pôde ser visto nas repetições levantadas nas respostas dos alunos.

Este trabalho ainda contribuiu para que as aulas de física se tornassem mais atraentes e, aparentemente, mais agradáveis para os alunos. Isso pode ser observado nas manifestações espontâneas de alguns alunos, que escreveram além do havia sido perguntado nas questões.

#### Jéssica, 2ºano diurno

“Gostei da forma como as teorias de Einstein são introduzidas, de forma simples e diversificada, os fatos históricos são muito importantes para que se tenha uma idéia do momento em que as coisas evoluem. Einstein foi uma personalidade muito importante que vale a pena entender a ordem em que os fatos ocorreram, assim como as fórmulas e o objetivo delas.”

#### Daniel, 3ºano noturno

“O texto tem uma linguagem de fácil compreensão, porém didática, onde aborda um pouco sobre sua biografia, sua ancestralidade judaico-alemã, sua família, vida acadêmica, suas teorias e seus estudos ministrados. Uma leitura prazerosa com diversas curiosidades acadêmicas e científicas.”

Pela grande quantidade de turmas trabalhadas e pelo elevado número de questões respondidas pelos alunos, poderiam ter sido feitas outras análises sobre as possibilidades da

inserção de elementos das teorias de Einstein no Ensino Médio. Entretanto, considere que as análises feitas para a conclusão deste estudo foram suficientes para responder as questões propostas.

Assim, concluo que esta pesquisa atingiu resultados satisfatórios na produção de alguns sentidos acerca da figura de Albert Einstein e de sua famosa equação  $E=mc^2$ . Dessa forma, o estudo contribuiu para evidenciar que a utilização de materiais de divulgação científica deve ser incorporada no ensino formal, inclusive como facilitador no ensino de conteúdos abstratos, como os assuntos presentes na FMC.

No entanto, o professor deve ser preparado para utilizar esse tipo de ferramenta, e outras que não sejam apenas o livro didático, bem como ter contato com conteúdos de FMC de maneira mais conceitual, desde sua formação acadêmica. Além disso, mais pesquisas devem ser feitas para que o currículo de física seja revisto em prol de uma aula mais agradável e mais próxima da realidade social e tecnológica dos estudantes.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maria José P. M. O texto escrito na educação em física: enfoque na divulgação científica. In: ALMEIDA, Maria José P. M. e SILVA, Henrique C. (Orgs). **Linguagens, leituras e ensino da ciência**. Campinas, SP: Mercado de Letras: Associação de Leitura do Brasil, 1998, p. 53-68.

ALMEIDA, Maria José P. M. **Discursos da ciência e da escola: ideologia e leituras possíveis**. Mercado de Letras, Campinas, 2004.

ALMEIDA, Maria José P. M. O texto de divulgação científica como recurso didático na mediação do discurso escolar relativo à ciência. In: PINTO, Gisinaldo A. (Org.) **Divulgação científica e práticas educativas**, Curitiba: Editora CRV, 2010.

ALMEIDA, Maria José P. M. e QUEIROZ, Elisabeth C. L. Divulgação científica e conhecimento escolar: um ensaio com alunos adultos. **Caderno CEDES: ensino de ciências, leitura e literatura**. Ano XVIII, n.41, p.62-68, jul 1997.

ALMEIDA, Maria José P. M., SOUZA, Suzani C. e SILVA, Henrique C. Perguntas, respostas e comentários dos estudantes como estratégia de sentidos em sala de aula. In: NARDI, Roberto e ALMEIDA, Maria José P. M. (Orgs). **Analogias, Leituras e Modelos no Ensino de Ciências: a sala de aula em estudo**. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

ASSIS, Alice e CARVALHO, Fernando L. C. A postura do professor em atividades envolvendo a leitura de textos paradidáticos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.8, n.3, 2008.

ASSIS, Alice e TEIXEIRA, Odete P. B. Dinâmica discursiva e o ensino de física: análise de um episódio envolvendo o uso de um texto alternativo. **Ensaio**, v.9, n.2, p.1-17, 2007.

BACHELARD, Gaston. **O materialismo racional**. Trad. João Gama. Lisboa, 1990.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARCELLOS, Marcília E. e ZANETIC, João. Abrindo a caixa preta da massa-energia. **Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, São Luis, 2007.

BRASIL, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN)**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria da Educação Básica, 2000.

BRASIL, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+)**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria da Educação Básica, 2002.

BRASIL, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio, Volume 2**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria da Educação Básica, 2006.

BRENNAN, Richard. **Os gigantes da física**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1998.

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

CALAPRICE, Alice. **Assim falou Einstein**. Rio de Janeiro: Civilizações Brasileiras, 1998.

CARUSO, Francisco e FREITAS, Nilton de. Física Moderna no Ensino Médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.26, n.2, p.355-366, ago 2009.

COMPIANI, Maurício. A dinâmica discursiva nas salas de aula de ciências. **Anais do II Encontro Internacional Linguagem, Cultura e Cognição** – reflexões para o ensino. Belo Horizonte, 2003.

DIAS, Ricardo H. A. **A física nas revistas Ciência Hoje e Pesquisa FAPESP: leituras de licenciandos**, (Dissertação de Mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, 2009.

EINSTEIN, Albert. **Como vejo o mundo**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.

EINSTEIN, Albert. **Albert Einstein, Pensamento Político e Últimas Conclusões**. Tradução de Mario Schenberg, São Paulo: Editora Brasiliense, 1983.

FANARO, Maria A.; ARLEGO, Marcelo e OTERO, Maria R. El método de caminos múltiplos de Feynman como referencia para introducir los conceptos fundamentales de la mecánica cuántica en la escuela secundaria. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.24, n.2, p.233-260, ago 2007.

FERREIRA, Luciana N. A. e QUEIROZ, Salete L. Texto de Divulgação Científica no Ensino de Ciências: uma revisão. **ALEXANDRIA. Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.5, n.1, p.3-31, mai 2012.

GAMA, Liliane C. **Divulgação Científica: Leituras em classes do ensino médio**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, 2005.

GOLDSMITH, Mike. **Albert Einstein e seu Universo Inflável**. Ilustrado por Philip Reeve e traduzido por Eduardo Brandão, São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

HARTLE, James B. **Gravity: An introduction to Einstein's general relativity**. Boston: Addison-Wesley, 2002.

HOFFMANN, Banesh e DUKAS, Helen. **Albert Einstein: Creator and Rebel**. Nova York: Viking, 1972.

ISAACSON, Walter. **Einstein: sua vida, seu universo**. Traduzido por Celso Nogueira, Denise Pessoa, Fernanda Ravagnani e Isa Mara Lando, São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

KARAM, Ricardo A. S.; CRUZ, Sonia M. S. C. S. e COIMBRA, Débora. Tempo relativístico no início do ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.28, n.3, p.373-386, 2006.

KARAM, Ricardo A. S.; CRUZ, Sonia M. S. C. S. e COIMBRA, Débora. Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.29, n.1, p.105-114, 2007.

KAUFAMAN, Ana Maria e RODRIGUEZ, Maria Helena. **Escola, leitura e produção de texto**. Traduzido por Inajara Rodrigues. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

LANÇA, Tatiana. **Newton numa leitura de divulgação científica: produção de sentidos no ensino médio**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, 2005.

LOBATO, Teresa e GRECA, Ileana M. Análise de inserção de conteúdos de teoria quântica nos currículos de física do ensino médio. **Ciência & Educação**, v.11, n.1, p.119-132, 2005.



LORENTZ, Hendrik A.; EINSTEIN, Albert e MINKOWSKI, Hermann. **O Princípio da Relatividade**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1983.

MAINGUENEAU, Dominique. **Novas tendências em análise de discurso**. Campinas: Pontes, 1997.

MILLAR, Robin. Towards a Science Curriculum for Public Understanding. **School Science Review**, v.77, n.280, p.7-18, mar 1996.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner B. A sistemática incompreensão da Teoria Quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. **Ciência & Educação**, v.15, n.3, p.557-580, 2009.

NASCIMENTO, Tatiana G. Contribuições da Análise de Discurso e da Epistemologia de Fleck para a compreensão da Divulgação Científica e sua introdução em aulas de ciências. **Ensaio**, v.7, n.2, p.1-18, 2005.

NASCIMENTO, Tatiana G. e REZENDE, Mikael F. J. A produção sobre divulgação científica na área de Educação em Ciências: referenciais teóricos e principais temáticas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.15, p. 97-120, 2010.

OKUN, Lincoln B. The Concept of Mass. **Physics Today**, Philadelphia, v. 42, n. 6, p. 31-36, jun. 1989.

OLIVEIRA, Fábio F.; VIANNA, Deise M. e GERBASSI, Reuber S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.29, n.3, p.447-454, 2007.

ORLANDI, Eni P. **Discurso, imaginário social e conhecimento.** Em Aberto, Brasília, n.61, ano 14, jan-mar, 1994.

ORLANDI, Eni P. **Paráfrase e polissemia: a fluidez nos limites do simbólico.** Rua, n.4, p. 9-19, 1998.

ORLANDI, Eni P. **Discurso e Texto: Formulação e Circulação dos Sentidos.** Campinas, SP: Pontes, 2001.

ORLANDI, Eni P. **Interpretação, autoria, leitura e efeitos do trabalho simbólico.** Campinas, SP: Pontes, 4ª edição, 2004.

ORLANDI, Eni P. **Análise de discurso. Princípios e procedimentos.** Campinas, SP: Pontes, 6ª edição, 2005.

OSTERMANN, Fernanda e MOREIRA, Marco Antônio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências.** v.5, n.1, mar 2000.

OSTERMANN, Fernanda e RICCI, Trieste F. Relatividade Restrita no Ensino Médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.** v.21, n.1, 2004.

PAIS, Abraham. **Sutil é o Senhor: A ciência e a vida de Albert Einstein.** Tradução de Fernando Parente e Viriato Esteves. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

PATY, Michel. Ciência: aquele obscuro objeto de pensamento e uso. In: SILVA FILHO, Waldomiro J. (Org). **Epistemologia e ensino de ciências.** Salvador: Arcádia, p. 145-153, 2002.

PÊCHEUX, Michel. Papel da Memória. In: ACHARD, Pierre (et al). **Papel da Memória**. Campinas, SP: Pontes, 1999.

REZENDE, Mikael F. J. e CRUZ, Frederico F. S. Física moderna e contemporânea na formação de licenciandos em física: necessidades, conflitos e perspectivas. **Ciência & Educação**, v.15, n.2, p.305-321, 2009.

RICON, Alan Esteves e ALMEIDA, Maria José P. M. Ensino da física e leitura. **Leitura: Teoria e Prática**, v.10, n.18, p.7-16, 1991.

SALÉM, Sonia e KAWAMURA, Maria Regina. O texto de divulgação científica e o texto didático: conhecimentos diferentes? **Atas do V Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, EPEF, Águas de Lindóia, p. 588-598, 1996.

SCARINCI, Anne L. e PACCA, Jesuína L. A. O professor de física em sala de aula: um instrumento para caracterizar sua atuação. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.14, n.3, p.457-477, 2009.

SCHEIN, Zenar Pedro e COELHO, Suzana Maria. O papel do questionamento: intervenções do professor e do aluno na construção do conhecimento. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.23, n.1, p.68-92, abr 2006.

SILVA, André C. e ALMEIDA, Maria José P. M. Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.28, n.3, p.624-652, dez 2011.

SILVA, David E. e ALMEIDA, Maria José P. M. Elementos da Relatividade de Einstein e suas implicações: divulgação científica no ensino médio. **Atas do XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, EPEF, Águas de Lindóia, 2010.

SILVA, Henrique C. **Como, quando e o que se lê em aulas de física no ensino médio: elementos para uma proposta de mudança.** (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, 1997.

SILVA, Henrique C. **Discursos escolares sobre gravitação newtoniana: textos e imagens na física do ensino médio.** (Tese de Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, 2002.

SILVA, Henrique C. **Discursos e leituras da física na escola: uma abordagem introdutória da síntese Newtoniana para o Ensino Médio.** Brasília: Universa, 2004.

SILVA, Henrique C. e ALMEIDA, Maria José P. M. Condições de Produção da Leitura em Aulas de Física no Ensino Médio: Um Estudo de Caso. In: ALMEIDA, Maria José P. M. e SILVA, Henrique C. (Orgs). **Linguagens, Leituras e Ensino de Ciências.** Campinas, SP: Mercado de Letras, 1998.

SILVA, Glauco S. F. e VILLANI, Alberto. Grupos de aprendizagem nas aulas de física: as interações entre professor e alunos. **Ciência & Educação**, v.15, n.1, p.21-46, 2009.

SORPRESO, Thirza P. e ALMEIDA, Maria José P. M. Elaboração de episódio de ensino tratando a questão nuclear: relação entre abordagem e conteúdos. **Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física.** SNEF, Vitória, 2009.

SOUZA, Suzani C. Repensando a leitura na educação em ciências: necessidade e possibilidade na formação inicial de professores. **Anais do II Encontro Internacional Linguagem, Cultura e Cognição – reflexões para o ensino.** Belo Horizonte, 2003.

SOUZA, Marcos A. M. e DANTAS, Joseclécio D. Fenomenologia Nuclear: uma proposta conceitual para o ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.27, n.1, p.136-158, abr 2010.

STRACK, Ricardo; LOGUÉRCIO, Rochele e PINO , José Cláudio Del. Percepções de professores do ensino superior sobre a literatura de divulgação científica. **Ciência & Educação**, v.15, n.2, p.425-442, 2009.

TERRAZZAN, Eduardo A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2 grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.9, p.209-214, 1992.

TERRAZZAN, Eduardo A. O potencial didático dos textos de divulgação científico: um exemplo em física. SILVA, Henrique C. e ALMEIDA, Maria José P. M. **Textos de Palestras e sessões temáticas. III encontro linguagens, leituras e ensino de ciência**. Campinas, SP. FE-UNICAMP, 2000.

TORRE, A. C. Reflexiones sobre la enseñanza de la física moderna. **Educacion en Ciências**, v.2, n.4, p. 70-71, 1998.

VIEIRA, Sumaia; BARROS, A.; ARAÚJO, I. e OLIVEIRA, J. C. T. **Uma comparação entre deduções da equação  $E=mc^2$** . Revista Brasileira de Ensino de Física, v.26, n.2, p. 93-98, 2004.

VILLANI, Alberto e CARVALHO, Lizete O. Discursos do professor e subjetividade na aprendizagem de física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.10, n.3, p.363-386, 2005.

ZANETIC, João. Física e arte: uma ponte entre duas culturas. **Anais do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. EPEF, Águas de Lindóia, 2002.

ZANOTELLO, Marcelo e ALMEIDA, Maria José P. M. Produção de sentidos e possibilidades de mediação na física do ensino médio: leitura de um livro sobre Isaac Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.29, n.3, p.437-446, 2007.

## **ANEXOS**

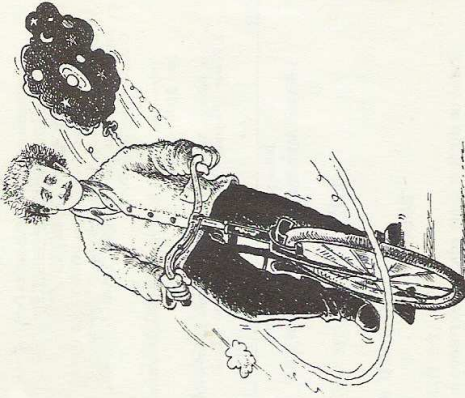
### **Anexo I:**

Trecho do livro “Albert Einstein e seu Universo Inflável”, de Mike Goldsmith, trabalhados durante a atividade de leitura.

IMORTOS DE FAMA

# ALBERT EINSTEIN

E SEU UNIVERSO INFLÁVEL



**Dr. Mike Goldsmith**

Ilustrações de Philip Reeve

Tradução de Eduardo Brandão

Revisão técnica de Iole de Freitas Druck  
*3ª reimpressão*



  
**CIA. DAS LETRAS**

Copyright do texto © 2002 by dr. Mike Goldsmith  
Copyright das ilustrações © 2002 by Philip Reeve

*Título original:*  
Albert Einstein and his Inflatable Universe

*Preparação:*  
Márcia Copola

*Revisão:*  
Maysa Monção  
Isabel Jorge Cury

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Goldsmith, Mike  
Albert Einstein e seu universo inflável / Mike Goldsmith;  
ilustrações de Philip Reeve; tradução de Eduardo Brandão;  
revisão técnica de Iole de Freitas Druck. — São Paulo:  
Companhia das Letras, 2002.

Título original: Albert Einstein and his inflatable universe.  
ISBN 85-359-0294-5

1. Einstein, Albert, 1879-1955 – Literatura infanto-juvenil  
2. Físicas – Biografia – Literatura infanto-juvenil I. Título.

02-5313

CDD-028.5

Índice para catálogo sistemático:

1. Einstein, Albert: Biografia: Literatura juvenil: 028.5

2003

Todos os direitos desta edição reservados à

EDITORA SCHWARCZ LTDA.  
Rua Bandeira Paulista 702 cj. 32  
04532-002 — São Paulo — SP — Brasil  
Telefone: (11) 3707-3500  
Fax: (11) 3707-3501  
[www.companhiasdasletras.com.br](http://www.companhiasdasletras.com.br)

Composição: Américo Freiria  
Impressão: Geográfica



## SUMÁRIO

Sempre um gênio?	5
O monstrinho	8
Em absoluto!	22
Beto conquista o tempo	35
Beto escapa	47
Tempo espichado, espaço encollido	58
Beto e o Deus da ciência	70
A quarta dimensão	77
A interminável guerra	85
O espaço curvo	101
Espaço é flagrado empenando	119
O Universo inflável do Beto	130
Beto e os nazistas	138
Luz granulosa	145
$E = mc^2$	162
Superciência	178
Depois do Beto	183







$E = mc^2$

Não fazia muito tempo que Beto e Elsa estavam nos Estados Unidos quando ela adoeceu. Foi uma época terrível para o Beto. Ele fez tudo o que podia pela mulher, mas, após vários meses de tratamento, ela morreu na casa onde moravam, em Princeton.

As notícias provenientes da Alemanha também eram deprimentes.

## TRIBUNA DO UNIVERSO

10 de novembro de 1938

### PERSEGUIÇÃO AOS JUDEUS

Na noite passada, os nazistas detiveram mais de 30 mil judeus na Alemanha. Sete mil lojas judaicas foram depredadas, a maioria das sinagogas incendiadas, noventa

judeus assassinados e centenas de outros espancados. É mais um na série de atos anti-semitas patrocinados pelo governo nazista: em 1933 os judeus foram

proibidos de exercer a medicina, advogar e lecionar. Em 1935, tiveram a cidadania alemã cassada e, nesse mesmo ano, foram proibidos de entrar em muitos cinemas e teatros — e até de sentar nos bancos de vários parques.



Beto ajudou muitas pessoas a escapar dessa perseguição, emprestando-lhes ou dando-lhes dinheiro para fugir e escrevendo cartas para arranjar-lhes permissão de imigrar para os Estados Unidos. Quando seu dinheiro acabou e aumentou o número de pessoas que tentavam escapar, ele tratou de envolver mais gente nessa ajuda.

Beto estava convencido de que a única maneira de solucionar efetivamente problemas como aquele era pôr fim aos Estados nacionais e ter um governo mundial único, com forças armadas destinadas exclusivamente a manter a paz. Mas o governo dos Estados Unidos não queria que o Estado americano acabasse, e seu serviço nacional de investigação, o FBI, ficou de olho no Beto, que por sua vez ficou com uma ficha do ramanho de um bonde nos arquivos da instituição.

Em 1939, sua irmã, Maja, foi morar com ele. O Beto era agora um sessentão e precisava de alguém para cuidar dele: estava ficando desligado demais. Contam que um dia ele se perdeu e esqueceu o número do telefone de casa — e não



adiantava ligar para a companhia telefônica, porque ele pedira que não dessem o número para ninguém.

Muitos cientistas achavam, agora, que o Beto tinha se perdido também na física: Robert Oppenheimer disse que ele estava "completamente abilolado". Oppenheimer foi um dos cientistas que inventaram a bomba atômica.



Não. Mas foi ele que deu o primeiro passo no sentido do seu desenvolvimento, o que nos leva novamente de volta a 1905 e à Relatividade Especial.

### Rápido = pesado

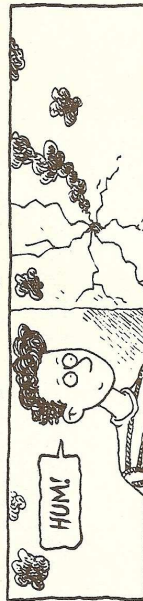
Beto havia descoberto que, se um objeto se aproxima da velocidade da luz, coisas estranhas acontecem com o tempo e o espaço. Os objetos encurtam e os relógios andam mais devagar. Na própria velocidade da luz, os relógios a bordo parariam e o comprimento do objeto seria zero. Mas será que alguém podia andar tão rápido assim?

Essa não é apenas uma questão teórica. Em laboratórios do mundo todo dão-se fortíssimos empurrões em inocentes particulazinhas — uns empurrões tão violentos que, de acordo com Isaac Newton, elas deveriam ir numa velocidade muito maior que a da luz. O Isaac diria que, se determinado impulso fizesse uma partícula ir a, digamos, 100 milhões de metros por segundo, um impulso quatro vezes maior faria a partícula ir a 400 milhões de metros por segundo. Mas o Beto descobriu que isso é impossível. *Nada* pode fazer uma partícula ir mais depressa do que 300 milhões de metros por segundo.

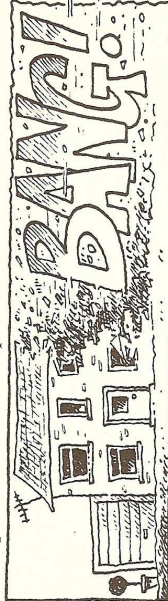
Imagine que você resolve testar se o Beto está certo. Você tem uma maquininha capaz de medir a velocidade das coisas; então, você cata um grão de areia e o atira na parede a 90% da velocidade da luz. O grão de areia faz um BANG bem forte quando bate na parede e deixa uma marca onde bateu.



Agora, digamos que você atira o grão com duas vezes mais força. Se você não leu a página anterior, dirá que o grão irá a 180% da velocidade da luz. Entretanto, sua maquininha de medir velocidade lhe diz que, na verdade, o grão vai a apenas 97,2% da velocidade da luz. Mas o BANG que ele faz ao bater na parede é muito mais forte. A parede até estremece e aparecem algumas rachaduras.



Bom, agora imagine que você junta todas as suas forças e atira o grão de areia com vinte vezes mais força do que na primeira vez. A maquininha vai lhe dizer que você conseguiu arremessar o grão a 99,97% da velocidade da luz. Mas quando ele bate na parede...





Se você não subresse das coisas, acharia que o grão foi vinte vezes mais rápido, para fazer o estrago que fez. O que aconteceu?



Todo mundo sabe que um objeto, quanto mais pesado for ou mais depressa se mover, mais vai machucar. Se você pegar uma bola de pingue-pongue numa das mãos e uma bola de golfe na outra, e as duas estiverem se movendo na mesma velocidade, a bola de golfe vai machucar muito mais. E o Beto entendeu que é isso que acontece com a energia que você aplica a uma coisa para que ela vá mais rápido. A energia não é toda consumida na aceleração da coisa — também a torna mais pesada.

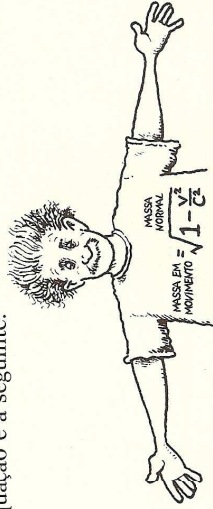
Como tudo o que a Teoria da Relatividade sustenta, isso acontece todos os dias: sempre que você atira uma coisa, parte do seu esforço torna a coisa mais pesada, parte a acelera. Mas em velocidades normais o aumento da massa é imperceptível.

$$E = mc^2$$

## NÃO SE APAVORE!

Opal! Outra equação. Mas essa você já viu antes...

A equação é a seguinte:



Não é familiar? E, tal como as outras coisas que acontecem na Relatividade Especial, essa mudança de massa só ocorre em relação às pessoas pelas quais o objeto passa. Se você estiver se movendo com o objeto, não vai medir nenhuma mudança na massa dele.

Beto descobriu uma coisa surpreendente sobre a massa e a energia. Em apenas três folhas de papel, usou a relatividade para explorar o que acontece com um objeto luminoso quando ele se move e descobriu uma maneira de relacionar a energia da luminosidade à massa do objeto. Sua descoberta se aplicava a qualquer tipo de energia (não apenas à luz) e de objeto (não apenas a um objeto em movimento), e o levou à mais famosa equação do mundo:



Trocando em miúdos: para calcular a quanta energia um objeto equivale, basta multiplicar a massa do objeto pela velocidade da luz ao quadrado.

Como a velocidade da luz é enorme, seu quadrado é elevadíssimo (põe elevadíssimo nisso!); portanto, uma minúscula porção de matéria traz aprisionada dentro de si uma quantidade gigantesca de energia. Por exemplo, um grão de areia encerra energia suficiente para ferver 10 milhões de chaleiras! Só que essa energia está de fato aprisionada nele: liberar toda ela é difícil, mas um pouquinho é bem fácil. Uma pequena quantidade de energia é liberada da matéria, por exemplo, toda vez que um combustível é queimado: as cinzas e a fumaça são menos pesadas que o combustível, porque parte da massa deste se transformou em energia. Em condições de enorme pressão, como no centro do Sol, é possível liberar muitíssimo mais da energia aprisionada, e é isso que faz o Sol brilhar.

Por outro lado, a energia pode se transformar em matéria. É o que acontece quando a luz solar incide sobre uma planta em crescimento. A luz junta o dióxido de carbono à água para formar novos pedaços, que são um pouco mais pesados do que eram o dióxido de carbono e a água. O peso extra é a energia aprisionada da luz solar. Se você queimar (ou comer) a planta, a energia vai ser novamente liberada.

Na verdade, todas as reações atômicas, todas as mudanças químicas e todos os processos vivos só ocorrem por meio da conversão da matéria em energia, e vice-versa.

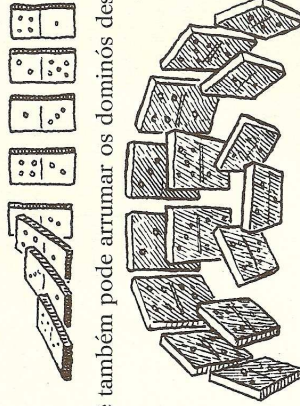
**AS INCRÍVEIS TEORIAS DE BETO EINSTEIN:  $E = MC^2$**

A equação mais famosa do mundo diz que a matéria é energia aprisionada e a energia, matéria liberada. O tal do  $c^2$  mostra que existe uma ENORME quantidade de energia em cada porção de matéria.

$$E = mc^2$$

## Beto e a bomba

Portanto, o Beto descobriu que a matéria é energia aprisionada. Era uma descoberta incrível, e  $E = mc^2$  foi o primeiro passo rumo ao poderio atômico, mas ainda havia muitos passos a dar. O Beto só deu mais um, num artigo escrito em 1920. Explicava nele que grande quantidade de energia podia ser liberada da matéria se os fragmentos de um átomo quebrado fossem metidos com tanta força em outros átomos que estes também se quebrassem. Então os fragmentos desses átomos poderiam quebrar mais átomos, e assim por diante. Isso foi chamado de reação em cadeia, e é o que acontece nas usinas e armas atômicas. As reações em cadeia são como dominós. Se você fizer uma fileira de dominós e derrubar o da ponta, todos os outros também vão cair. Assim:



Mas você também pode arrumar os dominós deste jeito:

Nesse caso, o primeiro vai derrubar os dois seguintes, que derrubarão os quatro seguintes, que derrubarão os oito seguintes... até todos os dominós caírem. É mais ou menos o que acontece quando a bomba atômica explode (muito mais ou menos).

Foi só até esse ponto que o Beto chegou. Em 1935, ele nem sequer achava possível produzir uma reação atômica em cadeia.



Assim, o Beto na verdade não tem nada a ver com a bomba atômica, exceto ter dado os dois primeiros passos. Ele poderia ter contribuído muito mais para a ciência atômica se não se metesse tanto com a política atômica: para o Beto, a idéia de que as pessoas pudessem um dia liberar energia atômica era assustadora, e ele fez o que pôde para impedir que isso acontecesse.

Mas não pôde fazer muito.

**TRIBUNA DO UNIVERSO**  
27 de janeiro de 1939

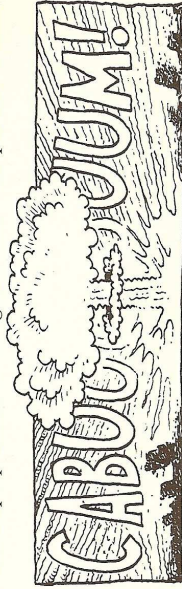
**CENSURADO**

## ÁTOMOS DESPEDAÇADOS

Hoje, numa conferência em Washington, o gênio quântico Niels Bohr anunciou que um colega seu de Berlim tinha conseguido despedaçar os átomos de um metal chamado urânio. Uma substância diferente — o bário — foi criada, e foi liberada uma enorme quantidade de energia. A conferência espicou que um efeito como esse podia ser usado para fabricar uma bomba poderosíssima.

Os diagramas ao lado mostram a reação atômica em cadeia que ocorre.

Era muito simples fabricar uma bomba atômica, uma vez parado o tipo adequado de urânio. Um pequeno grão ficaria altamente radiativo, mas não explodiria — os fragmentos atômicos escapariam dele antes que pudessem colidir com um número suficiente de átomos para dar início a uma reação em cadeia apropriada. Mas se o grão tivesse mais que uns 10 cm...



Em 1939, os cientistas americanos acreditavam que os alemães estavam prestes a fabricar uma bomba atômica. Sabiam que o urânio era o ingrediente vital e que havia pouco tempo a Alemanha tinha impedido a Tchecoslováquia de vender o minério para a Rússia. Assim, dois cientistas foram ter com o Beto, mas não para lhe pedir ajuda científica: achava-se que não se podia confiar nele para isso (seu dossiê no FBI já contava, na época, 1427 páginas). O que eles queriam era que o Beto mexesse alguns pauzinhos: a Bélgica possuía mais urânio do que qualquer outro país, de modo que os amigos do Beto foram solicitar-lhe que pedisse à sua velha amiga, a rainha da Bélgica (que a essa altura era rainha-mãe), que não vendesse nenhum grama aos alemães.

Depois de uma longa discussão e de muita hesitação, o Beto acabou escrevendo uma carta, só que não para a rainha da Bélgica, e sim para o presidente americano, Franklin Roosevelt. Dizia nela:

- em breve um país será capaz de fabricar bombas atômicas;
- a Alemanha pode ser esse país.

Embora nenhuma das duas coisas fosse segredo para o Franklin, os cientistas esperavam que o presidente as levasse a sério se o maior gênio do mundo chamasse sua atenção para elas.

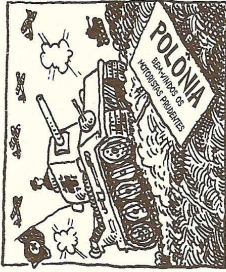
Naquele mesmo ano...

## TRIBUNA DO UNIVERSO

3 de setembro de 1939

### GUERRA OUTRA VEZ!

Após a invasão da Polônia pela Alemanha há dois dias, a França e a Grã-Bretanha declararam hoje guerra à Alemanha, em consequência do fracasso das negociações para deter o avanço alemão na Renânia e na Tchecoslováquia.



Franklin respondeu ao Beto dizendo que havia lançado um programa de pesquisa do poder nuclear, e o Beto escreveu de volta incentivando-o a apressar o programa.

Franklin iniciou, em 1941, em Los Alamos, Novo México, o ultra-secreto projeto Manhattan, para a construção da bomba — mas não por causa das cartas do Beto, e sim por causa dos resultados alcançados nas experiências. Embora o Beto não tenha sido posto a par do projeto, ele provavelmente sabia o que estava em andamento, porque: (a) uma porção de amigos seus trabalhavam no projeto; (b) vários cientistas atômicos que trabalhavam no mesmo prédio que ele desapareceram, e (c) ele era um gênio.

$$E = mc^2$$

Por que o Beto, que até pouco tempo antes se opusera a todo tipo de guerra e de violência, desejava tanto que o país mais poderoso do mundo desenvolvesse uma arma com o poder de matar milhões de pessoas? Ele devia pensar alguma coisa assim:

SÓ EXISTE UMA COISA PIOR DO QUE AJUDAR ALGUÉM A CONSTRUIR UMA BOMBA ATÔMICA: OS NAZISTAS CONSTRUIREM UMA ANTES.



É certo também que o Beto não se opunha àquela guerra. Ele até prestou consultoria sobre explosivos à Marinha americana e contribuiu para o esforço de guerra lendo alguns dos seus velhos documentos científicos.

Mas, embora o Beto estivesse convencido de que os nazistas tinham de ser combatidos e de que era vital estar à frente da Alemanha na pesquisa da bomba atômica, ele estava determinado a lutar para que a bomba nunca fosse usada. Tanto que escreveu outra carta, dessa vez a Niels Bohr. Nela, exortava Niels a ajudá-lo a prevenir os políticos dos riscos de usar armas atômicas. Na verdade, Niels já vinha fazendo isso — e conseguira apenas que começassem a desconfiar também dele.

Bem quando os americanos estavam com a bomba pronta, o curso da guerra mudou e descobriu-se que não havia ameaça nuclear da parte da Alemanha. Mas os cientistas atômicos estavam preocupados: sabiam que os Estados Unidos, tendo gastado um tempo e um dinheiro para fabricar a bomba, iam querer usá-la. E pediram ao Beto que escrevesse outra vez ao presidente Roosevelt. Ele escreveu, mas então Roosevelt já tinha morrido. Tarde demais! Os Estados Unidos ainda estavam em guerra contra o Japão, e no dia 6 de agosto de 1945...



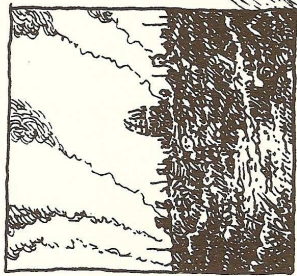
Albert Einstein e seu Universo inflável

## TRIBUNA DO UNIVERSO

6 de agosto de 1945

### BOMBA ATÔMICA DESTRÓI CIDADE JAPONESA

Uma bomba atômica foi jogada esta manhã, por um avião americano, na cidade japonesa de Hiroshima. Morreram instantaneamente 78 150 pessoas, e muitas outras teriam morrido em consequência das queimaduras e dos efeitos da radiação. Uma área de seis quilômetros quadrados foi devastada pelo sopro da bomba.



Beto ficou horrorizado. Ele conhecia Hiroshima, estivera lá em 1925.

Quatro dias depois...

## TRIBUNA DO UNIVERSO

10 de agosto de 1945

### FIM DA GUERRA NO ORIENTE

Hoje, o imperador do Japão anunciou a rendição do seu país, alvo das bombas atômicas jogadas há quatro dias em Hiroshima e ontem em Nagasaki. Depois da rendição da Alemanha, no dia 29 de abril, a Segunda Guerra Mundial agora chega ao fim.

174

$$E = mc^2$$

A guerra matara mais de 50 milhões de pessoas. Outros 16 milhões foram chacinados pelos nazistas, só por serem diferentes: só por serem judeus, gays, ciganos, doentes mentais, socialistas, russos, poloneses, ucranianos... Seis milhões de judeus foram exterminados, ou seja, dois terços dos judeus europeus. O mundo estava decidido a nunca mais permitir uma guerra como aquela, e muita gente achava que exércitos poderosos, dotados de armamento atômico, eram a única forma de garantir a paz.

Beto achava essa idéia uma maluquice: as armas atômicas levariam necessariamente a guerras atômicas e o mundo não estaria a salvo enquanto elas existissem. Nas suas palavras...



A guerra foi ganha,  
mas a paz não.

Para que o mundo tomasse consciência disso, ele se tornou presidente da Comissão de Emergência dos Cientistas Atômicos, que tinha entre seus membros cientistas que haviam trabalhado no projeto Manhattan. Mas ninguém os levou a sério, e em 1948 a Comissão se desfez.

Foi um ano ruim: Mileva morreu em Zurique e o Beto adoeceu novamente. Nunca tinha cuidado da saúde e agora estava com graves problemas de estômago. Mas Maja nunca mais tinha ficado totalmente bom. Era tão famoso agora que não parava de receber visitas e cartas do mundo todo, inclusive uma carta perguntando se ele não gostaria de ser presidente de Israel.

Enquanto isso, a pesquisa de armas atômicas continuava. Foi projetada uma nova bomba, mil vezes mais pode-

175

rosa do que a que fora jogada em Hiroshima. Chamavam-na de bomba de hidrogênio, porque utilizava uma explosão atômica para fundir átomos de hidrogênio e produzir, assim, uma quantidade gigantesca de energia — o mesmo processo que faz o Sol brilhar. Quando o Beto ficou sabendo de disso, ele apareceu na televisão para prevenir as pessoas de que o desenvolvimento da bomba de hidrogênio poderia acarretar...



Foi outra época ruim para o Beto: pouco depois de ele aparecer na tevê, Maja morreu de um ataque cardíaco. O Beto passou a dividir sua casa com Helen Dukas, que tinha sido sua secretária por muitos anos e se tornara uma grande amiga e como que sua governanta, e Margot, uma das filhas do primeiro casamento de Elsa.

Naqueles dias, não era fácil viver nos Estados Unidos: a Guerra Fria se instalara desde o fim da Segunda Guerra Mundial. De um lado, estavam os Estados Unidos e seus aliados; do outro, a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas, que havia sido formada pela Rússia e países vizi-

nhos. Cada lado lutava contra as crenças políticas do outro, embora sem muito enfrentamento real.

Nos Estados Unidos, um senador chamado Joseph McCarthy estava de olho em qualquer americano que apoiasse as idéias soviéticas. Bem, isso era o que ele dizia, mas logo passou a perseguir todos os que julgava não serem cidadãos americanos perfeitos, sujeitando-os a interrogatórios públicos. O Beto criticou abertamente o poderoso McCarthy e disse que as pessoas deviam se recusar a responder às perguntas dele, como ele próprio se recusaria. Também apoiou Robert Oppenheimer (aquele que tinha dito que o Beto era “completamente abilolado”) quando o governo americano o tachou de perigoso para a segurança dos Estados Unidos por ser contra o desenvolvimento da bomba de hidrogênio.

Tudo isso, combinado com a saúde precária e a fragilidade física, deve ter feito o Beto se sentir muito mal mesmo. Mas, apesar dos pesares, ele continuava a fazer aquilo que mais gostava: desenvolver uma ciência nova e surpreendente.



**Anexo II:**

Transcrição da gravação da aula sobre a vida pessoal de Albert Einstein, cujo objetivo era o de contextualizar os assuntos que viriam a ser discutidos em seguida – 2ª aula.

O gravador de áudio utilizado foi colocado no bolso da camisa de modo a captar, de forma clara, somente a voz do professor.

## Aula no 2º Ano Diurno

*Professor* – Pessoal, na última aula... lembra que eu passei um livrinho, vocês olharam e viram que tinha uns quadrinhos... aí eu passei uma folha de questões pra vocês colocassem os assuntos que fossem mais interessantes para serem discutidos. Então, antes da gente continuar com esse assunto, nas próximas aulas nós vamos ver uma parte específica de uma das teorias do Einstein. Relembrando aquela aula no início do ano ou em algum meio de comunicação, vocês devem ter ouvido falar sobre Albert Einstein. Quem foi Einstein?

*Alguns alunos* – Que ele era louco. Não escova os dentes. Tocava violino. Ele era o “cara”.

*Professor* – Tem algumas coisas que falam dele que são verdades e outras nem tanto.

*Um aluno* – Ele era “podre”. Ele era bom no que ele fazia, mas era “podre”.

*Professor* – Mais ou menos... ele não era nem um santo mas também não era um mau exemplo. O fato é que o Einstein foi considerado pela revista *Times* a personalidade do século XX, ou seja, segundo essa revista ele foi a pessoa mais importante do século XX. Como ele chegou a ter toda essa fama? Segundo essa revista ele foi mais importante que o Pelé. Por que ele foi mais importante que o Pelé?

*Um aluno* – Porque ele foi mais útil para a humanidade.

*Professor* – Provavelmente ele influenciou mais a humanidade que qualquer outra pessoa. Essa fama não foi à toa. Einstein era alemão e judeu, duas coisas que na época eram muito conflitantes. Ele nunca gostou da Alemanha porque a família dele sempre sofreu preconceito pelo fato da religião. Existem alguns mitos sobre sua infância, por exemplo: falam que ele era um mau aluno, que ele era ruim em matemática, que ele reprovou e que ele foi expulso da escola. Será que tudo isso é verdade?

*Alguns alunos* – Sim.

*Professor* – Em partes. Ele sempre foi considerado um bom aluno... sempre tirava boas notas e tudo mais. Porém, muitos biógrafos dizem que ele não era um aluno muito dedicado pelo

fato de ele só gostar de estudar o que ele achava interessante. Ele gostava muito de estudar geometria... mas as aulas em si ele não achava interessante. Por esse motivo não era considerado um aluno exemplar, mas sempre fazia muito bem o se propunha a fazer. Mais menos quando ele tinha a idade de vocês, a família dele precisou se mudar para a Itália devido a falência dos negócios da família. Como eles não queriam prejudicar os estudos do Einstein, eles preferiram deixá-lo morando com o tio. Claro que ele não gostou nada disso, pois ele odiava a Alemanha e os pais deixaram ele lá. Todas as crianças sonhavam em entrar para o exercito e ele odiava tudo isso. Como a família foi embora e ele lá pra terminar os estudos ele fez de tudo pra acabar o mais rápido possível. Ele tentou acelerar o processo, mas não foi muito bem sucedido e acabou sendo convidado a sair da escola sem diploma sem nada. Foi quando ele finalmente foi embora da Alemanha para morar com os pais na Itália. Para dar continuidade aos estudos ele foi tentar entrar numa faculdade da Suíça onde não era necessário apresentar diploma. Bastava passar numa prova. Ai ele prestou essa prova e adivinhem...

*Alguns alunos* – Ele passou!

*Professor* – Não. Ele não passou! Ele não era muito bom na parte de línguas. Ele era ótimo em exatas, mas acabou reprovado em línguas e ficou muito frustrado com isso. Depois disso ele se dedicou estudando durante um ano pra prestar de novo e ai sim ser aprovado brilhantemente. Depois que ele entrou na universidade, os traços de sua personalidade não mudaram. Ele continuou sendo um aluno pouco dedicado. Faltava muito às aulas, mas sempre ia bem nas provas porque pegava as anotações das aulas com amigos. E foi desse jeito que ela acabou se formando. Como havia poucos alunos em cada turma, cerca de cinco, quase todos os alunos já saiam empregados como professor depois de formados. No entanto, Einstein não conseguiu nenhum emprego ao sair da universidade. Eles alegaram que, como ele poderia ser um bom professor se não gostava de ficar dentro da sala de aula?! Sua única saída foi dar aulas particulares, mas naquela época não era muito fácil encontrar algum aluno que quisesse ter aulas de ciências ou de física. Foi então, que ele conseguiu um emprego em um escritório de patentes. Era um emprego “light”, trabalhava “apenas” oito horas por dia e seis dias por semana e sobrava bastante tempo pra ele se dedicar à

elaboração de suas teorias. O salário era pequeno mas o suficiente para sobreviver e para dar continuidade em seus estudos particulares. Ele já vinha escrevendo suas ideias desde a época da faculdade. Sua fama começou a aparecer a medida que suas ideias iam sendo publicadas em algumas revistas da época. Só depois destas publicações ele conseguiu um cargo de professor auxiliar adjunto em uma universidade. Dentre essas publicações estava a mais famosa de todas a Teoria da Relatividade. Essa teoria continha muitas ideias que geraram um certo impacto na comunidade científica por serem consideradas absurdas. Por exemplo, ela dizia que o tempo não é absoluto. A gente conhece o tempo como absoluto. O tempo passa da mesma forma pra todo mundo. Independente da cidade ou do meio de locomoção (carro, avião, etc).

*Um aluno* – E os fusos horários?

*Professor* – Independente do fuso horário, um minuto pra mim é o mesmo minuto pra qualquer pessoa. Se passou um ano pra mim, passou um ano pra todo mundo, independente se a pessoa tá no Japão ou em qualquer outro lugar. Agora o Einstein propôs que isso nem sempre é verdade. Se você fosse capaz de se movimentar com uma velocidade muito alta, próxima à velocidade da luz, o tempo passaria mais lentamente pra essa pessoa, comparada com uma pessoa que ficou parada. Exemplo: dois irmãos gêmeos. Um deles entra numa nave e vai dar uma voltinha rápida no espaço próximo a velocidade da luz, que é de aproximadamente 300.000 km/s. Quando ele volta ele tem uma surpresa: o irmão está anos e anos mais velho. Isso tem a ver com o fato do tempo ser diferente. Talvez se os cientistas pudessem construir uma nave que se movimentasse próximo à velocidade da luz, um astronauta corria o risco de viajar por tanto tempo que na volta a raça humana tivesse até extinta! Por que pra ele o tempo ia passar mais lentamente. Depois de um tempo essa ideia foi comprovada em laboratório com partículas se movendo rapidamente e comprovou-se que as partículas levíssimas e instáveis que se moviam em velocidades próximas da velocidade da luz tinham um tempo de vida maior. Outra parte interessante da teoria da relatividade é aquela que afirma que espaço também não é absoluto. Para um objeto que se move com velocidade próxima da velocidade da luz observa-se uma contração do espaço ou uma diminuição do comprimento das coisas. Além disso, em regiões onde existe

gravidade o espaço é deformado por essa gravidade. Para comprovar isso ele sugeriu que onde existe gravidade a luz não caminha em linha reta. Como exemplo, pensem na seguinte situação: uma luz atravessando a lateral de um elevador caindo graças a gravidade. Para um observador de dentro do elevador caindo a luz não estará percorrendo um linha reta. E sim uma curva devido ao movimento acelerado proporcionado pela gravidade. Essa foi uma experiência mental do Einstein. Para comprovar essa teoria foi feito um experimento realizado por astrônomos de várias partes do mundo no nordeste do Brasil, em Sobral no Ceará. Eles conseguiram visualizar uma estrela durante um eclipse que estaria atrás do Sol, comprovando que a luz fez uma curva graças à gravidade do Sol. *(foi feito um desenho na lousa para que os alunos pudessem visualizar melhor o tipo de observação que foi feito pelos astrônomos)*. Essa experiência comprovou parte da teoria da Relatividade (Geral). Não foi a luz que fez a curva e sim o espaço ao redor do Sol que estava deformado, como se fosse uma corrente de água se aproximando de um ralo. Essa foi a experiência mais famosa sobre a teoria da Relatividade. Nesta época ele já estava bem famoso e passou a ser disputado pelas universidades para compor o quadro de professores. Foi quando ele voltou à Alemanha para ser professor da Universidade de Berlin, a mais renomada da época. Depois de um tempo, com a subida de Hitler ao poder, ele passou a ser perseguido por ser judeu. Ele que não era bobo, fugiu da Alemanha e aceitou um convite para trabalhar na Universidade de Princeton, nos Estados Unidos, onde passou o resto da sua vida. Além de perseguir os judeus, Hitler reuniu os melhores físicos alemães para tentar construir uma bomba nuclear. Da onde veio a teoria da bomba nuclear?

*Alguns alunos – Einstein!*

*Professor –* Ele teve uma certa contribuição. Ele não construiu a bomba atômica, porém a teoria que influenciou as pesquisas da área começou com Einstein. Mas ele jamais imaginou as consequências que estariam por vir. Outra participação do Einstein no surgimento da bomba atômica foi que, sabendo que o Hitler tava tentando construir uma arma desse porte, ele assinou uma carta ao presidente dos Estados Unidos avisando os perigos que a humanidade estava correndo se o Hitler realmente conseguisse construir essa arma. Depois que o presidente tomou consciência da potência de uma possível arma

atômica ele resolver fazer o mesmo que o Hitler: contratou os melhores físicos do mundo para construir um bomba dessa para ele. Elaborou um projeto gigantesco para construção dessa bomba chamado Projeto Manhattan. Dizem que o dinheiro investido foi tanto que o avanço tecnológico proporcionado pelo projeto em quatro anos só seria possível em quarenta anos sem o projeto. O final da história todo mundo já sabe, os Estados Unidos realmente conseguiu construir a bomba primeiro que os alemães e jogou duas delas nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki durante o final da Segunda Guerra Mundial, num momento em que todo mundo já havia se rendido e o Japão estava em processo de rendição. Tudo isso para mostrar ao mundo seu poderio e justificar tanto investimento no projeto de construção da bomba. Com isso os americanos se afirmaram como potencia mundial e passaram a ser temidos por todos os outros países. Essa bomba ainda não é a mais potente, hoje em dia a existe uma chamada de bomba de hidrogênio que é cerca de mil vezes mais potente que as que foram jogadas nas cidades japonesas.

*Um aluno* – Ouvi dizer que o mundo tem armas nucleares suficientes pra acabar com a vida na Terra milhares de vezes.

*Professor* – É verdade, não sei ao certo, mas é verdade. Com relação a vida pessoal, quando Einstein foi viver nos Estados Unidos, ele já estava casado pela segunda vez com sua prima Elsa. Ele teve três filhos. Dizem que uma morreu quando era bebê. O filho do meio também foi bem sucedido se tornando depois professor universitário igual o pai. Já o filho mais novo teve problemas mentais e acabou morrendo cedo em decorrência destes problemas. Dizem também que, enquanto ele era casado com a primeira esposa, ele a traia com a prima que depois se tornaria sua segunda esposa. É quase unanimidade que a primeira esposa o ajudou a escrever muitas de suas teorias por ela ser muito inteligente. Era isso que eu queria contar pra vocês.

**Anexo III:**

Transcrição da gravação da aula onde foram debatidas as questões sobre a relação entre massa e energia – 4ª aula.

Essa mediação do professor ocorreu após a leitura da primeira parte do texto selecionado (GOLDSMITH, 2002, p. 162 a 169, ANEXO I).

O gravador de áudio utilizado foi colocado no bolso da camisa de modo a captar, de forma clara, somente a voz do professor.

### Mediação no 3º Ano Diurno

*Professor* – Pessoal, o que a gente vai ver aqui é uma parte específica da relatividade que é a relação de massa e energia. Primeiro nós precisamos lembrar o que é massa e o que é energia. O que é massa? O que vocês entendem por massa?

*Alguns alunos* – Peso... matéria.

*Professor* – Isso! Mais ou menos. O que a gente costuma chamar no cotidiano de peso, o termo mais técnico em física seria massa. Então, quando alguém fala que tem 60 kg, por exemplo, isso é a massa. O peso seria a força que essa massa faz na superfície da Terra. Massa seria então, de um modo grosseiro, a quantidade de matéria. Como a gente faz pra medir massa? Como vocês fazem pra medir sua massa?

*Um aluno* – Sobe na balança.

*Professor* – A balança vai pegar a razão entre a força gravitacional e a gravidade e vai determinar o valor da massa. E energia? Energia é um pouco mais difícil de definir, apesar de ser uma palavra que a gente usa todo dia. Qual o tipo de energia mais comum pra gente?

*Alguns alunos* – Elétrica... solar... pilha.

*Professor* – Elétrica. Mas tem outros tipos de energia. Quais? Energia química, cinética e assim por diante. E nós, temos energia?

*Alguns alunos* – Sim.

*Professor* – E como nós fazemos pra obter energia?

*Alguns alunos* – Comendo e bebendo.

*Professor* – Isso. Nos alimentamos! Olha só, o meu organismo, o nosso organismo, na verdade, faz uma relação entre massa e energia: eu me alimento e isso me dá energia. O que o Einstein fez foi determinar como essas duas coisas se relacionam. Ele chegou, depois muita álgebra, em uma equação desse tipo:



*Professor escreve na lousa –  $E=mc^2$*

*Professor – O que significa o E?*

*Alguns alunos – Energia!*

*Professor – E o m?*

*Alguns alunos – massa!*

*Professor – E o c?*

*Alguns alunos – Calor?!*

*Professor – O c representa a velocidade da luz. Alguém sabe qual é o valor da velocidade da luz?*

*Alguns alunos – 300.000 km/h*

*Professor – 300.000 km/s ou 300.000.000 m/s (coloquei na lousa também). Isso elevado ao quadrado vai dar um numero grande?*

*Um aluno – lógico... bota grande nisso!*

*Professor – Uma simples tradução dessa equação significa que uma pequena quantidade de massa, que vai ser multiplicado por esse número imenso, representa uma alta energia. Ou seja, pequenas quantidades de massa estão associadas a altas energias. Essa é a ideia da bomba atômica! Na bomba atômica você tem átomos instáveis de urânio, que são grandes quando comparados com outros átomos, e quando eles são bombardeados por nêutrons eles se quebram formando outros dois átomos. O interessante é que se você pegar a massa desses dois pedaços é menor que a massa do átomo que eu tinha antes. Pra onde foi essa diferença? O que ela virou?*

*Um aluno – Farelo (risos).*

*Professor – Farelo? Para que serve a Bomba Atômica?*

*Alguns alunos* – Explodir... destruir as cidades.

*Professor* – Isso. O princípio da bomba atômica é gerar energia pra explodir e destruir as coisas. Então, no caso da bomba atômica, essa pequena diferença de massa, devido à quebra do átomo, virou.... energia. Em uma bomba atômica existem milhares e milhares de átomos... isso vai gerar uma enorme quantidade de energia. Quando o átomo se quebra, ele libera outros nêutrons, que são sub-partículas, que vão quebrar outros átomos. Isso vai gerar uma reação em cadeia que vai fazer com que libere muita energia. Em uma bomba atômica a gente tem poucas gramas de urânio que responsável por uma destruição muito grande. Essa energia vai virar calor que vai destruir tudo, como aconteceu com as cidades de Hiroshima e Nagasaki. Agora, no dia a dia a gente observa algo parecido com isso?

*Alguns alunos* – Não.

*Professor* – Por exemplo, se eu queimar um pedaço de madeira, o resultado dessa queima vai ser carvão e fumaça. Se eu pegar e pesar esses dois produtos, a massa deles vai ser mais leve que a madeira que eu tinha antes da queima. De novo, a diferença de massa virou... ENERGIA! Em forma de calor pra sustentar o fogo. Esses dois exemplos (bomba atômica e queima da madeira) são exemplos de massa virando energia. E energia vira massa?

*Alguns alunos* – Não... talvez... sim.

*Professor* – Olha o exemplo que até foi citado no texto. Se você tem um vaso e coloca uma semente pra virar uma planta. Se você pesar esse vaso e voltar a pesá-lo depois de seis meses, será que ele vai estar mais pesado?

*Um aluno* – O vaso com a planta?

*Professor* – Claro, não é!

*Alguns alunos* – Sim... a planta vai ter crescido.

*Professor* – Da onde veio essa diferença de massa? Como que a planta se alimenta?

*Alguns alunos* – Sol, água e terra.

*Professor* – Lembrem o que vocês aprenderam em ciências, a planta precisa de: luz, água e sais minerais. Então, parte da massa que a planta adquire vem da luz do sol. Ou seja, energia sendo transformada em massa.

*Professor* – No texto que vocês leram tem um exemplo um pouco diferente. Lá tem uns quadrinhos que mostram uma partícula de areia atingindo uma parede. O primeiro quadrinho mostra um menino atirando uma partícula de areia a uma velocidade de 90% da velocidade da luz. Isto é igual a, aproximadamente, 270.000 km/s (lousa). O segundo quadrinho diz que o menino fez uma força duas vezes maior. De acordo com o que a gente conhece do cotidiano, se eu jogar uma pedra com uma determinada força, ela atinge uma velocidade. Se eu fizer duas vezes mais força, ela vai atingir uma velocidade duas vezes maior. Só que, no segundo quadrinho, ele fez uma força duas vezes maior. Se a velocidade fosse duas vezes maior ia dar quanto?

*Alguns alunos* – 340.000 km/s.

*Professor* – Isso... 340.000 km/s. Maior que a velocidade da luz. Mas não foi isso que aconteceu no quadrinho. A velocidade atingiu 97% da velocidade da luz. Que é mais ou menos igual a 290.000 km/s (lousa). Ou seja, um valor bem menor. Se fosse como a física tradicional, ele iria atingir esse valor (340.000 km/s). E no último quadrinho, o menino fez uma força vinte vezes maior e a velocidade atingiu 99,97% da velocidade da luz. Ou seja, menos que 300.000 km/s.

*Professor escreve na lousa* – 1° (quadrinho) =>  $v = 270.000$  km/s

2° (quadrinho) =>  $v \approx 290.000$  km/s

3° (quadrinho) =>  $v \approx 299.999$  km/s

*Professor* – Tem alguma coisa estranha nisso? Por quê?

*Um aluno* – tem... ela deveria ir mais rápido.

*Professor* – Quando você joga uma pedra ou uma partícula, você transfere energia sua pra partícula. E essa energia vira movimento. Só que o estranho da natureza é que, quanto mais o objeto vai se aproximando da velocidade da luz... parte da energia vai tornando o objeto mais pesado, virando massa inercial.

*Professor escreve na lousa* –  $\text{Energia} = \text{Movimento} + \text{Massa}$

*Professor* – A velocidade da luz, de acordo com a relatividade e com todas as experiências já realizadas, é a velocidade limite do universo. Nada pode ultrapassá-la. Por que, quanto mais eu adiciono energia para uma partícula se movimentar e quanto mais ela se aproxima da velocidade da luz, mais a energia vai se desviar para a massa, tornando o objeto mais pesado. E quanto mais pesado, mais difícil pra ele se movimentar. Neste caso, a velocidade nunca chega à velocidade da luz porque a energia está sendo repassada pra massa, tornando o objeto pesado. Mas essa massa, não é quantidade de matéria, é massa inercial, ou seja, o objeto não fica maior... só fica mais difícil de alterar o movimento.

*Professor* – E o que aconteceu no último quadrinho com a parede?

*Alguns alunos* – Explodiu!

*Professor* – Por quê? A partícula estava muito rápida? Sim, mas porque a partícula estava mais pesada também, com mais massa inercial. Entenderam? É um caso onde energia vira massa. Então, temos uma associação de massa com energia. É mais ou menos isso que está escrito no texto, que eu acabei dizendo com outras palavras.