



JOSEIL CARVALHO FREIRE

**EVOLUÇÃO DE CONCEITOS DE MUNDO: UMA
PROPOSTA PARA INSERÇÃO DA TEORIA DA
RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**

LAVRAS-MG

2015

JOSEIL CARVALHO FREIRE

**EVOLUÇÃO DE CONCEITOS DE MUNDO: UMA PROPOSTA PARA
INSERÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em ensino de Física da Universidade Federal de Lavras como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Ensino de Física.

Orientadora

Dra. Iraziet da Cunha Charret Co-orientador

Dr. Antônio dos Anjos Pinheiro da Silva

LAVRAS-MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Freire, Joseil Carvalho.

Evolução de conceitos de mundo : uma proposta para inserção
da teoria da relatividade no ensino médio / Joseil Carvalho Freire. –
Lavras : UFLA, 2015.

111 p. : il.

Dissertação (mestrado profissional)—Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador(a): Iraziet da Cunha Charret.

Bibliografia.

1. Ensino de Física. 2. Relatividade Restrita. 3. Relatividade
Geral. 4. Física Moderna e Contemporânea. 5. Aprendizagem
Significativa. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

JOSEIL CARVALHO FREIRE

**EVOLUÇÃO DE CONCEITOS DE MUNDO: UMA PROPOSTA PARA
INSERÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação
em Ensino de Física da Universidade Federal de Lavras,
para obtenção do título de Mestre. em Física.

APROVADA em 24 de Julho de 2015.

Dra. Amanda Castro Oliveira - UFLA

Dr. Antônio Marcelo Martins Maciel

Dra. Iraziet da Cunha Charret

Dr. Marco Antônio Moreira - UFRGS

Iraziet da Cunha Charret

Orientadora

Antônio dos Anjos Pinheiro da Silva

Co-orientador

LAVRAS-MG

2015

*Aos meus pais, pela educação e formação que me deram;
À minha falecida avó Jacira pelo amor incondicional;
À Rheysla, pela compreensão e apoio.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora Dra. Iraziet da Cunha Charret, pelo suporte no tempo lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Agradeço aos colegas de mestrado pela amizade e união em todos os momentos.

Agradeço à direção do Colégio Sei pela possibilidade de execução do projeto.

Agradeço aos alunos do Colégio Sei pelo empenho e seriedade nas atividades, sem eles o ensino não faria sentido.

Agradeço ao meu pai Antônio Alves dos Reis Freire pelo apoio desde os primeiros passos, sempre acreditando na minha capacidade.

Agradeço à minha mãe Magali H. de Carvalho Freire por ser um exemplo de valores morais e éticos.

Agradeço a minha avó Jacira que passou seus últimos anos de vida ao meu lado.

Agradeço à minha querida Rheysla pela compreensão nos momentos em que estive ausente, e pelo carinho durante todos esses anos.

Agradeço ao meu sogro Octávio de Almeida Neves e minha sogra Cláudia Maria de Almeida Neves pelo acolhimento.

Agradeço ao meu cunhado e amigo Octávio pelo incentivo nos momentos mais difíceis.

Agradeço a cada professor que fez parte da minha formação, desde a infância até a pós-graduação.

Agradeço pelo privilégio de estar vivo nessa imensidão de espaço e tempo e poder desfrutar de cada momento de uma curta existência.

LISTA DE ABREVIACES

CBC.	Currículo Básico Comum
EM.	Ensino Médio
ENEM.	Exame Nacional do Ensino Médio
FMC.	Física Moderna e Contemporânea
MCP.	Modelo da Cosmologia Padrão
PCN.	Parâmetros Curriculares Nacionais
SD.	Sequência Didática
TRG.	Teoria da Relatividade Geral
TRR.	Teoria da Relatividade Restrita

RESUMO

Esse trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação de uma proposta de inserção de tópicos de Teoria da Relatividade Restrita e Geral no Ensino Médio. Apresenta também os resultados obtidos durante sua aplicação e uma pequena discussão sobre eles. A sequência didática desenvolvida faz uso de ferramentas pedagógicas variadas, com ênfase nos trabalhos em grupo. A aplicação da sequência didática ocorreu durante o período de aula regular, no turno da manhã, em três turmas de Ensino Médio de primeiro, segundo e terceiro ano. Adotou-se como material didático um livro alternativo para o Ensino de Física, que utiliza uma linguagem mais próxima daquela utilizada pelos estudantes. O Guia Mangá de Relatividade, que aborda, entre outros temas, os conceitos de Teoria da Relatividade Restrita e Geral de forma simples e compreensível para os estudantes, tornando o conteúdo mais atrativo. Todo o trabalho está embasado no construtivismo, mais precisamente na Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel e Joseph D. Novak. O produto desenvolvido está apresentado ao final deste trabalho, e consta de um material para o professor contendo todas as atividades realizadas, textos, sugestões de leituras e links, assim como os apontamentos sobre o resultado dessa primeira aplicação.

Palavras-chave: Ensino de Física, Relatividade Restrita, Relatividade Geral, Física Moderna e Contemporânea, Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

This work presents the development and application of a proposal for inclusion of topics Theory of Special Relativity and General Relativity in high school. It also presents the results obtained during its application and a short discussion on them. The developed didactic sequence makes use of varied teaching tools, with emphasis on group work. The application of the didactic sequence occurred during regular class period, the morning shift, in three high school classes of first, second and third year. It was adopted as didactic material educational an alternative book for Physics Teaching, which uses a language closer to that used by the students. The Manga Guide to Relativity, which addresses, among other things, the concepts of the Theory of Special and General Relativity simply and understandable for students, making it the most attractive content. All work is grounded in constructivism, specifically the Meaningful Learning Theory of David Ausubel and Joseph D. Novak. The developed product is presented at the end of this work, and consists of a material for the teacher containing all activities, texts, suggested readings and links, as well as notes on the result of this first application.

Key words: Physics education, special relativity, general relativity, Modern and Contemporary Physics, Meaningful Learning.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos	13
3	JUSTIFICATIVA	13
4	REFERENCIAL TEÓRICO	18
5	METODOLOGIA DE TRABALHO	22
5.1	A Escola	22
5.2	As Turmas	23
5.3	Estrutura da Sequência Didática	23
6	METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DADOS	31
6.1	A Pesquisa Qualitativa	31
6.2	Análise de Conteúdo	33
6.3	Descrição dos Dados	38
6.4	Análise dos Dados	39
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
8	VISÃO PESSOAL FINAL	98

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho busca, de forma inovadora, discutir com os alunos do Ensino Médio conceitos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), mais especificamente, conceitos de Teoria da Relatividade Restrita (TRR) e de Teoria da Relatividade Geral (TRG).

O tema escolhido é bastante explorado pela mídia em vários formatos, tais como revistas e programas de TV, alcançando boa parte do público. Isso porque o tema gera, por si só, muita curiosidade por abordar questões associadas a compreensão do Universo, que sempre instigaram o homem ao longo do desenvolvimento das civilizações. A teoria da Relatividade de Albert Einstein aborda conteúdos conhecidos por muita gente, no entanto, entendidos por poucos.

Na literatura existem vários trabalhos que tratam desse tema, tais como, “*O ensino da Teoria da Relatividade Especial no Nível Médio: Uma abordagem Histórica e conceitual*” (WOLF, 2005) e “*Uma introdução conceitual à Relatividade Especial no Ensino Médio*” (CASTILHO, 2005). Seguindo a mesma linha de abordagem desses autores, pretende-se introduzir uma Sequência Didática (SD) sobre Teoria da Relatividade, trabalhando com os alunos, tanto conceitos associados a TRR quanto a TRG.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN (BRASIL, 1998) o aluno deve adquirir conhecimentos sobre a Cosmologia para pensar sobre seu lugar no universo do ponto de vista da ciência, neste caso, as ideias de Einstein fornecem uma alternativa para se entender o cosmos através de modelos científicos que tentam interpretar a realidade.

O Ensino de Física na maioria das escolas tem sido puramente o ensino tradicional. Não que seja ruim, mas o problema está na abordagem e na pouca ênfase que se dá a ciência. Por exemplo, quando falamos em cinemática, o problema

é ainda maior. O que se observa é uma excessiva importância à resolução de exercícios de cinemática, que fazem pouco sentido para o aluno, além disso, a maior parte deles se considera incapaz de resolver tais atividades intelectuais algébricas. Um bom momento para introduzir os conceitos da TRR é após o estudo da cinemática, ainda na 1ª série do EM. O professor pode inovar e criar discussões mais interessantes, que podem contribuir para o enriquecimento das aulas de cinemática além de aprimorar a aprendizagem do aluno.

O professor tem que procurar alternativas que busquem o interesse de seu aluno e o faça querer participar do processo de ensino-aprendizagem. A escola é um espaço destinado para auxiliar na compreensão do mundo. As aulas precisam ser elementos de motivação, fazendo despertar no aluno a vontade de aprender o conteúdo que está sendo abordado. Uma boa aula não pode ser centrada no modelo “quadro-giz”, ela tem que fazer o estudante questionar, discutir e refletir, para assim ocorrer a aprendizagem (KAWAMURA e HOSOUME, 2003, apud AZEVEDO, SCHRAMM, SOUZA, 2015).

Muitos problemas relacionados ao ensino da Física Clássica ainda perduram, e estão longe de serem solucionados, mas estudar FMC é essencial. Relacionar a ciência da escola com a ciência do cientista moderno tem o potencial de tornar a aprendizagem mais interessante e significativa. Na maior parte das vezes a abordagem da FMC na escola ocorre de forma conceitual devido à complexidade da matemática necessária, mesmo que no caso da TRR necessite apenas do conhecimento sobre o teorema de Pitágoras. Outra dificuldade apontada, é aquela associada a realização de experimentos reais para abordar temas de FMC. No entanto, com esse trabalho pretendemos mostrar que é possível criar atividades que possam representar as ideias associadas à curvatura do espaço-tempo, por exemplo, usando superfícies deformáveis como um balão.

Um projeto de pesquisa de grande relevância que contemple a inserção de temas que aproximem a Física da escola com a Física atual, pode ser através de sequências didáticas (SD) para o Ensino Médio. A SD deve ter como foco

estimular a curiosidade latente em cada estudante e promover a discussão sobre novos conceitos, ampliando assim, a compreensão de mundo, além de tornar as aulas mais interessantes.

A maior parte dos professores certamente já foi questionada acerca da teoria do Big Bang, buracos negros ou mesmo sobre matéria escura, o que evidencia o enorme interesse que os estudantes do Ensino Médio, normalmente, tem por essa área da ciência. Além disso, boa parte dos estudantes de graduação em Física tem preferência por assuntos relacionados a FMC (KALMUS, 1992, apud OSTERMANN, MOREIRA 2000).

A ampliação do conhecimento científico dos estudantes do Ensino Médio, através do estudo de temas relacionados a FMC, tem o potencial de esclarecê-los perante as pseudociências modernas, além de permitir a ampliação do conhecimento sobre diversas aplicações tecnológicas, possibilitando a formação de cidadãos conscientes e atuantes nas decisões exigidas por uma sociedade que se moderniza em ritmo cada vez mais acelerado.

Nas próximas seções serão apresentados os objetivos gerais e específicos que se desejam obter com a realização deste projeto. Em seguida, serão apresentadas as Justificativas, o Referencial Teórico, Análise de Dados e a Metodologia que possibilitaram a concretização do trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar, através do desenvolvimento de uma sequência didática, a efetividade em se abordar a Teoria da Relatividade Restrita e a Teoria da Relatividade Geral no Ensino Médio e, ao mesmo tempo, incentivar o desenvolvimento de uma

visão crítica em ciência por parte dos alunos.

2.2 Objetivos Específicos

- Introduzir aspectos históricos sobre a evolução da ideia de movimento no ensino de física;
- Introduzir conceitos da TRR e da TRG, através do desenvolvimento de uma SD;
- Utilizar metodologias diversificadas para produzir uma SD: aulas interativas, atividades individuais, atividades em grupo, pesquisa, discussões, apresentação de trabalhos orais, na forma de seminários, resenha de artigos científicos, atividade experimental investigativa, vídeos, entre outras;
- Avaliar a efetividade da proposta de SD através da análise da produção dos alunos realizada durante o desenvolvimento da proposta;
- Produzir um material de apoio ao professor incorporando uma discussão sobre as dificuldades encontradas durante a execução da SD, bem como, propor alternativas de uso do material.

3 JUSTIFICATIVA

O Ensino de Física no estado de Minas Gerais passou por muitas mudanças em sua estrutura nos últimos anos visando uma evolução que acompanhasse as necessidades do mundo moderno. Apesar de terem sempre o objetivo de melhorar a qualidade da educação, essas renovações na estrutura curricular nem sempre obtiveram êxito. No ano de 2006 foi feita uma reformulação no Currículo Básico Comum – CBC (MINAS GERAIS, 2006) de Física. A proposta desse documento

era de uma mudança nos conteúdos trabalhados no Ensino Médio, e a principal mudança estava presente na proposta para o 1º ano, a qual incorporava uma abordagem conceitual para a discussão dos temas da Mecânica, iniciando com uma contextualização para se trabalhar os conceitos de energia e suas transformações. Nos dois anos subsequentes, os demais temas seriam trabalhados com a introdução dos modelos matemáticos exigidos. Essa proposta acabou não funcionando tão bem como era esperado e em 2014 as escolas voltaram a adotar o currículo pretensamente tradicional.

A proposta mais recente, denominada Reinventado o Ensino Médio (MINAS GERAIS, 2013), tem como objetivo a criação de um ciclo de estudos com identidade própria, que propicie, simultaneamente, melhores condições para o prosseguimento dos estudos e mais instrumentos favorecedores da empregabilidade dos estudantes ao final de sua formação nesta etapa de ensino.

Refletindo sobre a mudança necessária para o Ensino de Física, fica evidente a necessidade da presença, tanto do bom professor quanto do bom material. Mas, isso por si só, não garante nenhum sucesso. É claro que acaba-se esbarrando em diversos problemas quando se fala em educação no Brasil, porém, como professor, percebemos que algumas mudanças podem ser feitas com relação ao material utilizado e as metodologias adotadas para o desenvolvimento desses materiais.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN)

“A Física deve apresentar-se, portanto, 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, 1998, pag.2)

A TRG aborda o modelo mais moderno para a compreensão do universo conhecido. O entendimento de seus postulados possibilitaria uma visão mais atual sobre a natureza, ampliando o conhecimento adquirido no estudo da Física Clás-

sica.

Ainda de acordo com os PCN's, temos:

“Finalmente, será indispensável uma compreensão de natureza cosmológica, permitindo ao jovem refletir sobre sua presença e seu “lugar” na história do universo, tanto no tempo como no espaço, do ponto de vista da ciência. Espera-se que ele, ao final da educação básica, adquira uma compreensão atualizada das hipóteses, modelos e formas de investigação sobre a origem e evolução do Universo em que vive, com que sonha e que pretende transformar. Assim, Universo, Terra e Vida passa a constituir mais um tema estruturador”. (BRASIL, 1998, pag.19)

Claramente, pode-se atender a essas diretrizes, quando se trata de modelos de universo com ênfase na Teoria do Big Bang. O aluno, após compreender o Modelo da Cosmologia Padrão (MCP), por mais superficial que seja esse tratamento inicial, poderá pesquisar mais sobre o assunto, podendo ir além, e se informar sobre outros modelos alternativos de universo, através dos materiais de divulgação científica, presentes cada vez mais nas bibliotecas escolares, internet, TV, etc.

Muitas pesquisas em Ensino de Física são realizadas em todo Brasil e no mundo, como por exemplo, Wolf (2005) e Castilho (2005). Boa parte destas pesquisas trata especificamente do ensino de FMC. Porém, raros trabalhos buscam inserir a TRG no EM, e quando o faz, não passa de um complemento ou apêndice. No trabalho supracitado, Wolf (2005), faz-se uma inserção de TRR no 3º ano do Ensino Médio durante o horário normal de aula. O autor produz um material com textos históricos para os alunos, abordando as principais ideias, desde Aristóteles até Albert Einstein. Durante as aulas são abordados os conceitos de simultaneidade, dilatação temporal, contração do espaço, adição de velocidades e energia relativística, porém, a TRG aparece apenas como apêndice.

Outro trabalho, Castilho (2005), trata do mesmo conteúdo: TRR. A autora oferece o curso na modalidade extraclasse, fazendo uso sistemático de recursos computacionais, com destaque para animações originais desenvolvidas em Flash, tudo isso para promover a aprendizagem significativa de conceitos básicos de TRR,

bem como para dedução de relações matemáticas. Como pode ser verificado no trabalho, a TRG nem é citada, pois não faz parte da proposta apresentada.

Com o intuito de trabalhar uma proposta nova, pretende-se inserir, no Ensino Médio, a discussão sobre TRR e TRG. Esse tópico, apesar de, aparentemente, não possuir aplicação prática como tantos outros conteúdos de FMC, tornará mais amplo o conhecimento e entendimento acerca dos vários modelos de mundo que os alunos possuem. As ideias de Einstein ampliam o entendimento de espaço e tempo por parte dos estudantes, além de tornar mais claros conceitos tão complexos como o Princípio de Equivalência e a curvatura do espaço-tempo.

Temas associados à TRR e a TRG são bastante difundidos na mídia. Isso pode facilitar a inserção de um tópico, a princípio, tão complexo e abstrato, numa sala de aula do EM. Na maior parte das vezes, seja em programas de TV ou revistas de divulgação científica, os conceitos de FMC chegam de forma superficial, ao conhecimento dos alunos. Claro que os divulgadores de ciência fazem o seu papel levando em conta a melhor forma de compreensão por parte das pessoas e, a partir daí, tentam modelar o conteúdo no formato exigido pela mídia. Exemplo foi o quadro, apresentado pelo físico Marcelo Gleiser na década passada, no programa Fantástico da Rede Globo, intitulado “Poeira das Estrelas”, transmitido pela primeira vez em 2006 e que teve uma boa audiência. Pode-se observar, que o assunto despertou muito interesse nos alunos, principalmente quando se faz um tratamento conceitual sobre o modelo de universo. Do ponto de vista da sala de aula, a construção e estudo da evolução dos conceitos de mundo têm uma grande potencialidade para o desenvolvimento do pensamento crítico em ciência, o que pode permitir a formação de cidadãos mais esclarecidos e questionadores.

O tema escolhido não faz parte do programa da maioria dos Vestibulares, nem do edital do Exame Nacional de Ensino Médio (ENEM). Raramente aparece

em livros de EM e, quando aparece, é sempre como leitura complementar. Talvez esse possa ser um dos motivos para que ele não seja estudado, embora a Teoria da Relatividade seja um marco na história da ciência. Quando Einstein corrigiu as teorias de Newton, generalizando-as, a ciência começou a dar passos mais largos e surgiu, na sequência, a Física Quântica. Nota-se que a construção da ciência, que é puramente humana, se faz com continuidade de ideias ao longo dos anos. Ainda, segundo os PCN, *“Para o ensino médio puramente 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”* (BRASIL, 1999, pag.209). Nota-se, assim, um descaso com a FMC no que diz respeito a sala de aula. A Física em si é uma das maiores conquistas culturais da humanidade e ensinar conceitos de FMC aos alunos é inseri-los na cultura de seu próprio tempo, na condição de sujeitos e não de meros espectadores.

Além das justificativas supracitadas, outras merecem destaque. Segundo Osterman e Moreira (2000), a FMC desperta a curiosidade dos estudantes e os ajuda a compreender a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles. Os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não vêm nenhuma Física além (do século XX). Essa situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente.

Stannard (1990, apud OSTERMANN, MOREIRA, 2000) justifica a atualização curricular ao relatar um levantamento feito com estudantes universitários que mostrou que é a FMC que mais influencia na decisão de escolher Física como carreira.

Ainda, Kalmus (1992, apud OSTERMANN, MOREIRA, 2000) comenta um levantamento feito, no ano de 1984, junto a calouros de Física. Através de um

questionário os estudantes foram solicitados a listar, em ordem de preferência, três tópicos que mais os influenciaram na escolha pela carreira de físico. Os três tópicos mais listados foram: relatividade, astronomia e partículas elementares, todos temas de FMC. Os jovens de hoje serão os futuros professores e pesquisadores, assim, deve-se atrair cada vez mais os alunos com conceitos novos.

Torre (1998a, apud OSTERMANN, MOREIRA, 2000) enuncia que o ensino de FMC protege os estudantes do obscurantismo, das pseudociências e das charlatanias pós-modernas, além de possuir múltiplas e evidentes consequências tecnológicas.

Portanto, pode-se constatar que há muitas justificativas para a atualização dos currículos de Física. O presente trabalho, sob a ótica do ensino, tem como proposta atualizar o currículo através da inserção de uma sequência didática abordando tanto os conceitos de TRR quanto os da TRG.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente trabalho está fundamentado no construtivismo, mais especificamente na ideia de aprendizagem significativa, proposta por David Ausubel e Joseph D. Novak.

O construtivismo defende a ideia de que o saber não é algo concluído, mas um processo de criação e construção contínuo. O conhecimento é edificado através da ação e interação do sujeito com o meio, suas interações e experiências. Nessa linha de pesquisa alguns nomes são mais relevantes em relação ao trabalho que pretendemos apresentar. A nossa abordagem centra-se na aprendizagem significativa que, segundo Moreira (2011):

é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não literal,

não ao pé da letra, e não arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende (MOREIRA, 2011, p.13).

Segundo Ausubel, no processo de aprendizagem, o novo conhecimento será construído com base no que o aluno já sabe, ou seja, com base em um conhecimento prévio por ele denominado de subsunçor. Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimento do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou que é por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles (MOREIRA, 2011).

Sabe-se de antemão que os alunos já possuem uma ideia sobre o conceito de gravitação. Podemos considerar que o conhecimento de que corpos que possuem massa se atraem com uma força proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles é um subsunçor. A nova ideia a ser incorporada seria o comportamento do espaço-tempo na presença de um corpo massivo. Portanto, o conceito de gravitação de Newton seria a ideia âncora para uma ampliação do conceito de atração gravitacional.

As condições para que ocorra uma aprendizagem significativa devem ser frisadas e são elas: 1) o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e, 2) o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender. Não se pode afirmar qual das duas é mais importante, visto que sem uma delas todo o processo seria ineficaz. O cuidado na produção do material deve ser maximizado, pois trata-se de um conteúdo que não é usualmente abordado no ensino médio. Por outro lado, todos se interessam em compreender o universo. Assim, existe a expectativa de que a abordagem se torne bastante significativa de uma maneira

quase natural.

A aprendizagem significativa não é aquela que o aprendiz nunca esquece. Segundo Ausubel, o esquecimento é uma consequência natural da aprendizagem. Na aprendizagem mecânica o esquecimento é rápido e praticamente total; na aprendizagem significativa o esquecimento é residual, ou seja, o conhecimento esquecido está dentro do subsunçor. A nova ideia de interação conterà as ideias antigas, porém elas agora terão um alcance maior. Espera-se que o conteúdo da proposta da SD possua grande potencialidade, permitindo que dentro de alguns anos ainda estejam presentes as concepções de universo discutidas na SD, mesmo de forma residual, na estrutura mental desses estudantes.

Outra preocupação está no que Ausubel chamava de organização sequencial, ou seja, fica mais fácil para o aluno organizar seus subsunçores, hierarquicamente, se na matéria de ensino os tópicos estão sequenciados em termos de dependências hierárquicas naturais. Portanto, os tópicos devem depender naturalmente daqueles que o antecedem. Assim, foi despendido bom tempo para organizar os tópicos numa sequência lógica que fosse capaz de levar o aluno a uma compreensão dos conceitos da TRR e TRG, onde as novas ideias fariam sentido a cada tópico estudado.

A aprendizagem significativa não é uma teoria nova. A teoria de Ausubel remonta aos anos 60 do século XX. Alguns anos depois, Joseph D. Novak e D. Bob Gowin contribuíram para seu desenvolvimento. Até o presente momento lutamos para promover uma aprendizagem significativa e menos mecânica. Sendo assim, alguns instrumentos facilitadores como levar em conta o conhecimento prévio do aluno, a organização sequencial do conteúdo, o uso de organizadores prévios que mostrem a relacionabilidade e a discriminabilidade entre conhecimentos prévios e novos conhecimentos, e a linguagem envolvida no intercâmbio de significados

devem ser explorados.

Nas palavras Postmam e Weingartner (1969, p.62, *apud* MOREIRA, 2011).

Podemos, ao final das contas, aprender somente em relação ao que já sabemos. Contrariamente ao senso comum, isso significa que se não sabemos muito, nossa capacidade de aprender não é muito grande. Esta ideia – por si só – implica uma grande mudança na maioria das metáforas que direcionam políticas e procedimentos das escolas.

O que também se mostra importante é o caso em que o aluno não possui os subsunçores adequados para dar significado aos novos conhecimentos. Não há uma definição precisa do que sejam os organizadores prévios, e nem poderia existir, pois depende de cada caso. Segundo (MOREIRA, 2011),

Organizadores prévios seriam materiais introdutórios apresentados em um nível mais alto de generalidade e inclusividade, formulados de acordo com conhecimentos que o aluno tem, que fariam a ponte cognitiva entre esses conhecimentos e aqueles que o aluno deveria ter para que o material fosse potencialmente significativo.

Por exemplo, antes de introduzirmos os conceitos de espaço-tempo segundo a Teoria da Relatividade, faremos uma revisão desses conceitos ressaltando sua evolução ao longo da história do pensamento científico.

Outro recurso extremamente importante na facilitação da aprendizagem significativa é a linguagem. Tanto é que, nas primeiras descrições da teoria, Ausubel usava a terminologia aprendizagem verbal significativa (*meaningful verbal learning*; Ausubel, 1963, *apud* Ostermann e Moreira, 2000). A linguagem está totalmente implicada em qualquer e em todas as tentativas humanas de perceber a realidade (POSTMAM e WEINGARTNER; 1969, *apud* OSTERMANN e MOREIRA, 2000). A aprendizagem significativa depende da captação de significados que envolvem um intercâmbio, uma negociação, de significados, que depende essencialmente da linguagem.

Durante a aula de Física o professor apresenta os significados que fazem sentido para a disciplina em si. Ensinar isso não quer dizer passividade nem aprendizagem mecânica, desde que exista uma troca, ou devolução, por parte do aluno. A captação de significados, segundo Moreira 2011, implica em diálogo, negociação de significados. O aluno tem que externalizar os significados que está captando. Esse processo pode ser longo e só termina quando os alunos captam os significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino.

Nessa perspectiva, proposta por D.B. Gowin (1981, *apud* MOREIRA 2011), só há aprendizagem quando há captação de significados ou, se quisermos, só há ensino quando há aprendizagem.

5 METODOLOGIA DE TRABALHO

5.1 A Escola

O trabalho foi realizado em uma escola da rede privada do interior de Minas Gerais, localizada na cidade de Boa Esperança, com boa aceitação para a realização de projetos em todas as disciplinas da grade curricular. Muitos professores já o fazem anualmente. Como a escola conta com apenas um professor de Física fica mais fácil dispor de mais tempo e flexibilidade para a execução do projeto. A proposta foi apresentada aos alunos no primeiro semestre de 2014 e eles apoiaram a ideia e se dispuseram, inclusive, a comparecer em horários à tarde, no contraturno escolar, para o desenvolvimento das atividades. Porém, todas as aulas foram realizadas no horário normal, dentro da programação anual.

A escola adota apostilas do Sistema Positivo de Ensino (CORDEIRO, 2011). Nesse material, utilizado em todas as turmas citadas, o conteúdo de gravitação é trabalhado no primeiro semestre letivo da 1ª e 3ª séries.

5.2 As Turmas

O projeto teve como público-alvo os alunos do 1º, 2º e 3º ano do EM regular. Os estudantes do 2º ano tiveram contato com os conceitos de Teoria da Gravitação de Newton há cerca de um ano, nas aulas lecionadas durante o ano de 2013.

O 1º ano é uma turma composta por 25 estudantes e considerada pelos professores da escola como uma turma muito competente. Esse grupo de estudantes tem a presença de alguns alunos com desempenho escolar bem acima da média.

O 2º ano é uma turma composta por 21 estudantes, sendo que a maior parte da turma apresenta de médio a baixo desempenho escolar. Em contrapartida, temos muitos estudantes que se identificam com as ciências exatas, além de ser uma turma compromissada e envolvida com os trabalhos escolares.

O 3º ano é uma turma composta por 24 alunos, sendo o grupo mais maduro, por se tratar do último ano escolar. A maior dificuldade para a inserção da SD, talvez, seria controlar a ansiedade dos jovens com relação ao ENEM, sabendo que o conteúdo trabalhado não fará parte dessa prova.

5.3 Estrutura da Sequência Didática

As aulas foram expositivas dialógicas, contextualizadas e orientadas pela interação aluno - professor - conhecimento. Ferramentas como vídeos, atividades práticas investigativas, discussões e trabalhos em grupo e atividades individuais, fizeram parte dos encontros semanais. Tudo com intuito de tornar o material potencialmente significativo. As atividades foram desenvolvidas ao longo de quatro encontros, realizados uma vez por semana com a duração de duas aulas de cinquenta minutos em cada encontro, totalizando oito aulas.

Para a realização das atividades, dividimos a turma em cinco grupos. Os

grupos formados também foram utilizados na realização do trabalho final com os temas:

- Teoria da Relatividade Restrita
- Princípio de Equivalência
- Curvatura do espaço-tempo
- Buracos Negros
- Teoria do Big Bang

Cada grupo, além da atividade final, ficou responsável pela realização da atividade de casa, referente ao livro *Guia Mangá de Relatividade* (NITTA, YAMAMOTO e TAKATSU, 2011). O material foi adquirido pelos grupos para a realização das atividades propostas, que são descritas na SD.

A SD foi dividida em dois tópicos, conforme mostra a Tabela 1.

Tab. 1 Distribuição dos tópicos que constituem a SD.

TOP01		A Teoria da Relatividade Restrita		Duração 4 aulas de 50 minutos	Recursos didáticos
Aulas	Objetivos educacionais	Conteúdo	Metodologia		
Aula 1: Questionário Investigativo	1. Verificar o conhecimento do aluno em relação as principais contribuições de Einstein, tais como a Teoria da Relatividade Restrita e a Teoria da Relatividade Geral, foco desse trabalho, bem como o Princípio de Equivalência entre massa e energia, o Efeito Fotoelétrico, a Gravitacão, o Movimento Browniano, entre outros.	Verificação do conhecimento prévio dos alunos através de um Questionário investigativo.	Questionário investigativo sobre os conceitos a serem abordados em toda a SD, seguido de discussão.	Questionário impresso.	
Aula 2: Postulados da TRR	2. Conhecer algumas motivações humanas iniciais que levaram ao desenvolvimento de conceitos físicos. 3. Introduzir aspectos históricos sobre o conceito de movimento. 4. Compreender os postulados da TRR.	Os postulados da TRR: Invariância das leis Físicas e Constância da Velocidade da luz; Referenciais Inerciais.	Aula dialogada com uso de slides; de trecho do vídeo <i>o Universo Elegante</i> . Atividade para casa: Mangá de Relatividade, Efeito Hurasi-nhama (Dilatação do tempo) pág. 54 a 63.	Quadro Slides Vídeos Mangá	

TOP01	A Teoria da Relatividade Restrita			Duração 4 aulas de 50 minutos
Aulas	Objetivos educacionais	Conteúdo	Metodologia	Recursos didáticos
Aula 3: Dilatação do tempo e contração do Espaço	5. Compreender a dilatação do tempo e a contração do espaço. 6. Diferenciar tempo próprio e tempo aparente. 7. Saber resolver problemas relativísticos.	Conceitos de espaço e tempo com suas respectivas equações. Dilatação do tempo e contração do espaço.	Aula dialogada com uso de slides; Vídeo; Resolução de problemas relativísticos.	Quadro Slides Vídeos
Aula 4: Paradoxo dos Gêmeos	8. Compreender o Paradoxo dos gêmeos. 9. Compreender os efeitos de dilatação do tempo na mudança de referencial.	Viagem no tempo; Paradoxo dos gêmeos; Mudança de Referencial.	Atividade em Grupo (paradoxo dos gêmeos); Discussão geral; Apresentação Oral; Atividade para casa; Mangá de Relatividade; Princípio de Equivalência pág. 120 a 132.	Quadro Slides Vídeos Mangá

TOP02		A Teoria da Relatividade Geral			Duração 4 aulas de 50 minutos	Recursos didáticos
Aulas	Objetivos educacionais	Conteúdo	Metodologia	Recursos didáticos		
Aula 5: Princípio de Equivalência	<ol style="list-style-type: none"> 1. Saber diferenciar referenciais inerciais e não inerciais. 2. Compreender o que são forças fictícias 3. Compreender o Princípio de Equivalência 	Referenciais não inerciais; Forças Fictícias; Equivalência entre campo gravitacional e aceleração.	Aula dialogada com uso de slides, vídeo; Atividade em Grupo (Bomba no elevador); Discussão geral; Apresentação Oral	Quadro Slides Vídeo Texto		
Aula 6: Curvatura do espaço-tempo	<ol style="list-style-type: none"> 4. Apresentar a geometria do espaço curvo. 5. Compreender o comportamento do espaço-tempo na presença de massa. 6. Compreender a Gravitação segundo Einstein. 	Curvatura do espaço-tempo na presença de corpos massivos; Geometria do espaço curvo; Gravitação de Einstein	Aula dialogada com uso de slides, vídeo; Atividade experimental em grupo; Apresentação Oral; Atividade para casa; Mangá de Relatividade (pag. 92 a 105.)	Quadro Slides Vídeo Balão, canetinhas, etc.		

TOP02		A Teoria da Relatividade Geral		Duração 4 aulas de 50 minutos	Recursos didáticos
Aulas	Objetivos educacionais	Conteúdo		Metodologia	
Aula 7: Buracos Negros	<ol style="list-style-type: none"> 1. Compreender o conceito de Buracos Negros 2. Compreender como se formam os buracos Negros 3. Compreender o que é o Horizonte de eventos 	<p>O que é um buraco negro? Onde encontramos buracos negros? Horizonte de eventos e gravidade.</p>		Aula dialogada com uso de slides, vídeo; Discussão em grupo; Produção da Resenha.	<p>Quadro</p> <p>Slides</p> <p>Vídeo</p>
Aula 8: A teoria do Big Bang	<ol style="list-style-type: none"> 1. Compreender o modelo do Big Bang 2. Saber diferenciar a expansão inicial de uma explosão 3. Compreender que existem outros modelos para o Universo 	<p>Surgimento do Universo e sua expansão; Modelo padrão de Cosmologia; Expansão do universo.</p>		Aula dialogada com uso de slides, vídeo; Discussão geral; Produção da Resenha.	<p>Quadro</p> <p>Slides</p> <p>Vídeo</p>

A seguir, será apresentada uma breve discussão sobre as aulas. Todas as atividades citadas se encontram no Apêndice A.

Tópico 1: Teoria da Relatividade Restrita

Na primeira aula, os alunos responderam a um questionário preliminar, o que possibilitou a realização de um levantamento do conhecimento prévio dos alunos sobre o assunto. Essa foi a Atividade 1: Questionário Investigativo. A segunda metade da aula foi reservada para a discussão das respostas. O questionário está no Apêndice A.

A segunda aula foi expositiva dialógica. Utilizando-se slides discutiu-se a evolução do pensamento sobre espaço, tempo e movimento, sendo em seguida, introduzidos os postulados da Teoria da Relatividade Restrita. Durante todo o processo os alunos interagiram relatando a sua visão sobre os temas. Ao término dessa aula, foi escolhido um dos grupos, que ficou responsável pela apresentação de um trecho do livro Mangá (NITTA, YAMAMOTO e TAKATSU, 2011), que abordava o tema da aula seguinte - Dilatação do Tempo.

A terceira aula iniciou com a apresentação do trecho selecionado sobre Dilatação do Tempo, sendo que os estudantes utilizaram slides para explicar o tema. Aqui, pode-se observar que os alunos estudaram o tema antes da aula, ficando um pouco mais fácil a compreensão dos conceitos apresentados em seguida, pelo professor. Na sequência, os estudantes assistiram um trecho do vídeo sobre Einstein, “O Universo Elegante”, relacionada ao livro como o mesmo nome (GREENE, 2001), correspondente aos 19 minutos iniciais, onde é retratada a busca do cientista por respostas.

A quarta aula, que encerraria o tópico sobre TRR, foi mais teórica, com uma abordagem algébrica dos modelos de TRR. Nesse momento, foram deduzidas

as equações de dilatação do tempo e contração do espaço. Na parte final dessa aula os alunos resolveram, em grupo, a Atividade 2: O Paradoxo dos Gêmeos. A ideia da atividade, além de usar as equações, era discutir a seguinte questão: *Por que a situação descrita é um paradoxo?*

Tópico 2: A Teoria da Relatividade Geral

A quinta aula deu início à segunda metade da SD, com a proposta de se discutir conceitos da TRG, discussão essa inédita na maioria das escolas. Um grupo de alunos iniciou a aula apresentando um trecho do livro *Mangá de Relatividade* sobre Princípio de Equivalência. Na sequência, abriu-se uma discussão sobre o assunto, com apresentação de slides e um pequeno vídeo de R. B. Chaumont, Princípio de Equivalência¹. Ao final dessa aula, os alunos responderam a uma pergunta adaptada do livro *Universo Elegante* (GREENE, 2001), e que consta da Atividade 3: A bomba no elevador.

A sexta aula abordou o tema sobre a curvatura do espaço-tempo. A aula foi uma tentativa de tornar mais lúdico o ensino de conceitos complexos, tais como, aqueles associados à geometria não euclidiana, através da realização de uma atividade experimental - Atividade 4: Curvatura do espaço-tempo utilizando um balão.

Criou-se uma representação para a curvatura do espaço-tempo para um tratamento geométrico, com o uso de balões de encher, fazendo-se uma analogia com a expansão do Universo. Os alunos receberam um roteiro para a realização da atividade experimental em grupo.

A sétima aula iniciou com a apresentação dos alunos sobre os quadrinhos pré-selecionados. Dessa vez, o tema escolhido foi a equivalência massa-energia, que não está contida na SD, mas, por se tratar de uma equação extremamente fa-

¹ disponível em <<http://www.youtube.com/watch?v=xnG4WHhjoTY>>, acessado em outubro de 2014.

mosa, avaliou-se que seria importante que os alunos tivessem contato com os conceitos associados a ela. Na sequência, discutimos sobre Buracos Negros, usando vídeos e slides.

A oitava aula não contou com as atividades sobre os quadrinhos, realizadas em casa, mas sim com a elaboração de uma resenha sobre artigos científicos retirados da Revista Scientific American, que deveriam ser entregues ao final da aula. Essa aula, que encerra a SD, trata de um assunto muito esperado pelos alunos: A Teoria do Big Bang. Mais uma vez usando slides e vídeos, discutiu-se muito sobre o tema.

A resenha não foi selecionada para a nossa análise de dados, visto que o assunto ficou muito aberto por se tratar de artigos de Cosmologia e Astronomia.

No último encontro, realizado uma semana após o término da SD, os alunos apresentaram os trabalhos finais sobre os temas escolhidos na primeira aula. Foram muito criativos utilizando vídeos, banners e animações, além de responderem ao questionário, Atividade 5: Questionário Final – Avaliação da Sequência Didática.

6 METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DADOS

6.1 A Pesquisa Qualitativa

Para verificar a construção dos conceitos e a evolução do conhecimento, apresentados no desenrolar da SD, foi desenvolvida uma descrição do contexto e da realidade na qual as atividades ocorreram, na perspectiva de uma Pesquisa Qualitativa, sendo os dados analisados a partir da análise de conteúdo, proposta por Bardin (1977) e Franco (2012).

Todos os dados foram coletados de forma detalhada através dos textos pro-

duzidos pelos alunos, da observação das atividades individuais e em grupo, da análise das provas formais e das apresentações orais. Nossa descrição e análise de dados da pesquisa tem foco nos processos supracitados.

Numa pesquisa qualitativa um fator importante é que os dados construídos e coletados são predominantemente descritivos (LÜDKE e ANDRÉ, 1986), ou seja, “a descrição minudente, cuidadosa e atilada é muito importante, uma vez que deve captar o universo das percepções, das emoções e das interpretações dos informantes em seu contexto” (CHIZZOTTI, 1991, p. 82). No nosso caso, os instrumentos utilizados foram os seguintes:

1. Questionário – É um dos instrumentos mais usados para obter informações. Apresentando as mesmas questões para todas os estudantes de forma criteriosa, pode-se obter resultados bastante confiáveis.
2. Observação Direta – Esse método baseia-se na atuação de observadores treinados para obter informações sobre determinados processos. Essa observação depende muito mais da habilidade do pesquisador em captar as informações, registrá-las e interpretá-las do que da capacidade dos estudantes em responder perguntas.
3. Diário de Campo – Está intimamente ligado à observação direta. Nele são registrados o envolvimento, os questionamentos, as interpretações e descrições de cada evento.
4. Estudo conceitual -- Através de uma avaliação formal, realizada ao final da SD, com o objetivo de verificar os conceitos desenvolvidos pelos estudantes sobre o tema.
5. Outro aspecto importante a ser destacado consiste em perceber que, na pesquisa qualitativa, “a análise de dados tende a seguir um processo indutivo”

(LÜDKE e ANDRÉ, 1986, p. 13).

6.2 Análise de Conteúdo

Após a execução de todas as atividades da SD surge a necessidade de uma resposta à questão de aprendizagem dos conceitos de FMC por parte dos alunos, e a Análise de Conteúdo pode nos fornecer tal resposta. De acordo com Bardin (1987, p. 42) a Análise de Conteúdo

é um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, de indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens.

Ainda, segundo Franco (2012) a Análise de Conteúdo consiste em analisar

a mensagem, seja ela verbal (oral ou escrita), gestual, silenciosa, figurativa, documental ou diretamente provocada. Necessariamente, ela expressa um significado e um sentido. Sentido que não pode ser considerado um ato isolado, pois, os diferentes modos pelos quais o sujeito se inscreve no texto correspondem a diferentes representações que tem de si mesmo como sujeito e do controle que tem dos processos discursivos textuais com que está lidando quando fala ou escreve.

Na presente pesquisa muitas mensagens foram coletadas, umas mais diretas, registradas por escrito pelos estudantes nas atividades, outras orais e gestuais, através das discussões na sala que foram registradas no diário de campo. Na coleta de dados, tomamos o cuidado de não fazermos nenhuma interpretação precoce, por essa razão, buscamos através de inferências atribuir-lhes significado.

De uma maneira geral pode-se dizer que a sutileza dos métodos de Análise de Conteúdo, corresponde aos objetivos seguintes:

- a ultrapassagem da incerteza: o que eu julgo ver na mensagem estará lá efetivamente contido, podendo essa “visão” muito pessoal, ser partilhada por outros? Por outras palavras, será minha leitura válida e generalizável?
- e o enriquecimento da leitura: Se um olhar imediato, espontâneo, é já fecundo,

não poderá uma leitura atenta, aumentar a produtividade e a pertinência? Pela descoberta de conteúdos e de estruturas que confirmam (ou infirmam) o que se procura demonstrar a propósito das mensagens, ou pelo esclarecimento de elementos de significações suscetíveis de conduzir a uma descrição de mecanismos de que a priori não detínhamos a compreensão (BARDIN, 1977, p. 29).

Para realizarmos a análise de dados, passamos pelas fases apontadas por Bardin (1977) e Franco (2012):

- Pré-Análise: Considerada uma fase de organização dos dados com o objetivo de construir o corpus da pesquisa. “O corpus é o conjunto de documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos (BARDIN, 1977, p. 96).

A organização dos nossos dados foi uma tarefa árdua, visto que tínhamos em mãos muitas informações. Portanto, partimos de uma “leitura flutuante” onde tivemos o primeiro contato com o material. Isso nos forneceu as primeiras impressões sobre possíveis interpretações dos materiais analisados (FRANCO, 2012, p. 52).

O próximo passo foi selecionar os documentos, ou seja, definir quais documentos iriam compor nosso corpus de pesquisa. Para isso recorremos a regra de Bardin, ainda na pré-análise da pesquisa:

- Regra da Exaustividade: “uma vez definido o campo do corpus [...] é preciso terem-se em conta todos os elementos desse corpus” (BARDIN, 1977, p. 97)

Tínhamos em mãos todos os documentos escritos, orais, questionários, trabalhos necessários para nossa análise, necessitando apenas de uma organização mais adequada.

- Regra da Representatividade: “na análise pode-se efetuar numa amostra, desde que o material a isso se preste. A amostragem diz-se ri-

gorosa, se a amostra for uma parte representativa do universo inicial” (BARDIN, 1977, p. 97).

A nossa pesquisa não fez uso de amostragem, visto que a quantidade de documentos não era grande o suficiente para isso.

- Regra da Homogeneidade: “os documentos retidos devem ser homogêneos, isto é, devem obedecer a critérios precisos de escolha e não representar demasiada singularidade fora desses critérios de escolha” (BARDIN, 1977, p. 98).

Todas as atividades geradoras dos documentos eram iguais para todas as turmas, assim nossos documentos obedecem essa regra.

- Regra da Pertinência: “os documentos retidos devem ser adequados, enquanto fontes de informação, de modo a corresponderem ao objetivo que suscita a análise” (BARDIN, 1977, p. 98).

No momento em que fizemos a leitura flutuante concluímos que uma das atividades não era pertinente para tal objetivo. A atividade em questão se tratava de uma resenha de um artigo científico, sem vínculo rigoroso com o tema Teoria da Relatividade.

Concluída a primeira fase da pré-análise, partimos para a segunda fase, apresentada por Bardin (1977) e Franco (2012):

- Exploração do Material: fase em que o corpus estabelecido deverá ser estudado mais profundamente com o objetivo de estabelecer as Unidades de Registro e Unidades de Contexto. “Os resultados brutos são tratados de maneira a serem significativos (falantes) e válidos” (BARDIN, 1977, p. 101).

Nessa etapa fizemos uma releitura de todos os documentos, analisando cada mensagem, buscando congruências e diferenças entre elas. A separação e

agrupamento das mensagens levaram um bom tempo, pois a interpretação de algumas mensagens foi bastante sutil. A princípio, encontramos, em média, cinco grupos diferentes para as respostas.

Depois disso, estabelecemos a Unidade de Contexto. Franco (2012) aponta que a Unidade de Contexto pode ser o “pano de fundo” que fornece significado às Unidades de Análise. De acordo com Bardin (1977, p. 108), essa pode ser determinada, seguindo dois critérios: o custo e a pertinência:

É evidente que uma unidade de contexto alargado, exige uma releitura do meio, mais vasta. Por outro lado, existe uma dimensão ótima, ao nível do sentido: se a unidade de contexto for demasiado pequena ou demasiado grande, já não se encontra adaptada; também aqui são determinantes, quer o tipo de material, quer o quadro teórico.

Retornamos aos dados para fazer uma releitura, dessa vez mais profunda, e analisar com mais detalhes cada uma das mensagens dos estudantes. Com isso, acreditamos que três grupos de respostas seria o ideal para os questionários.

Analisamos, separadamente, cada um destes contextos, e depois de organizados estabelecemos as categorias de análises à partir da triangulação de dados, que segundo Denzin e Lincoln (2008), pode ser vista como uma tentativa de se entender profundamente um fenômeno estudado. A combinação de várias práticas metodológicas, materiais empíricos, perspectivas de observações em um único estudo é melhor entendida, então, como uma estratégia que acrescenta rigor, abrangência, complexidade, riqueza e profundidade a qualquer pesquisa (DENZIN e LINCOLN, 2008, p. 5).

A seguir, vejamos como foram estabelecidas as categorias de análise.

- Tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação – Seguimos os prin-

cípios apresentados por Bardin (1977) e Franco (2008): exclusão mútua; homogeneidade; pertinência; objetividade e a fidelidade e produtividade.

- Exclusão mútua: “Esta condição estipula que cada elemento não pode existir em mais de uma divisão” (BARDIN, 1977, p. 120). Organizamos nossos dados de forma que não se encaixassem em outras categorias além da que pertencem.
- Homogeneidade: “O princípio de exclusão mútua depende da homogeneidade das categorias. Um único princípio de classificação deve governar a sua organização” (BARDIN, 1977, p. 120). As categorias devem ser criadas de forma lógica e ampla, de forma que os dados, ao serem classificados nas categorias, não permitam interpretações muito subjetivas.
- Pertinência: “uma categoria é considerada pertinente quando está adaptada ao material de análise escolhido, e quando pertence ao quadro teórico definido” (BARDIN, 1977, p. 120).
- Objetividade e a fidelidade: “As diferentes partes de um mesmo material, ao qual se aplica a mesma grelha categorial, devem ser codificadas da mesma maneira, mesmo quando submetida a várias análises” (BARDIN, 1977, p. 120). Quando pensamos nas categorias, acreditamos que elas eram objetivas. Assim, outros professores podem utilizá-las ou criar novas baseando-se na mesma lógica do presente trabalho.
- Produtividade: “Um conjunto de categorias é produtivo se fornece resultados férteis: férteis em índices de inferências, em hipóteses novas e em dados exatos” (BARDIN, 1977, p. 120 e 121). Os resultados obtidos serão analisados no próximo capítulo, e acreditamos que forneceram informações férteis.

6.3 Descrição dos Dados

O conjunto de documentos que foi analisado é constituído por: Questionário investigativo (individual); Atividades em grupo: i) Paradoxo dos gêmeos, ii) Bomba no elevador, iii) Curvatura do espaço-tempo utilizando um balão; Apresentação oral de trechos do livro Mangá de Relatividade seguido de discussão; Apresentação oral de tópicos de TRR e TRG; Prova formal e Questionário investigativo final (individual).

- Questionário Investigativo Individual: Atividade composta por 10 questões que versavam sobre ideias centrais da SD, e tinha o objetivo de verificar o conhecimento prévio e subsunções dos alunos.
- Atividades em grupo:
 - Paradoxo dos gêmeos: Atividade sobre o famoso experimento mental de Einstein, onde um dos gêmeos faz uma viagem espacial com velocidade próxima a velocidade da luz e outro fica na Terra. No retorno, o gêmeo que ficou na Terra está bem mais velho que o irmão que viajou. O objetivo dessa atividade é discutir os conceitos relacionados ao tempo.
 - Bomba no elevador: Atividade sobre o princípio de equivalência, onde uma bomba é colocada no elevador que deve ser levado ao espaço sem ser detonada precocemente. O objetivo dessa atividade é verificar os conceitos relacionados ao princípio de equivalência como a relação entre aceleração e campo gravitacional.
 - Curvatura do espaço-tempo utilizando um balão: Atividade experimental onde os alunos devem fazer medidas geométricas no balão, que

pode ser comparado ao espaço-tempo curvo. O objetivo dessa atividade é verificar algumas diferenças geométricas entre o espaço plano e o espaço curvo e relacionar esses conceitos ao universo.

- Atividades do Mangá de Relatividade: Atividade em grupo onde os alunos devem fazer uma leitura de trechos do livro e apresentá-las à turma na aula seguinte. O objetivo dessa atividade é realizar um trabalho diferente com os alunos, utilizando um material de Física em quadrinhos além de iniciar as aulas com o conteúdo estudado previamente.
- Atividades Orais: Atividade realizada após a realização da SD, onde os alunos apresentam, de forma mais completa que a apresentação do Mangá, os tópicos de TRR e TRG utilizando slides, banners, etc.
- Questionário Final: Questionário composto por 11 questões, com o mesmo formato daquele realizado na primeira aula, inclusive algumas perguntas foram repetidas. O objetivo dessa atividade era verificar se houve aprendizagem e modificação dos subsunçores dos alunos.

6.4 Análise dos Dados

A seguir serão apresentados os dados e a análise preliminar para cada documento, que foram obtidos após a categorização inicial.

Atividade 1 – Questionário Investigativo

Serão apresentados os dados associados a cada uma das 10 questões que compõem esse questionário. Para cada questão será apresentado o objetivo espe-

cífico. Ao todo, 70 estudantes responderam a esse questionário: 25 do 1º ano, 21 do 2º ano e 24 do 3º ano.

Questão 1: Você conhece alguma contribuição científica relacionada à Albert Einstein? Se a resposta for sim, qual?

Objetivo: verificar se o aluno conhece as principais contribuições de Einstein, tais como a Teoria da Relatividade Restrita e a Teoria da Relatividade Geral, foco desse trabalho, bem como o Princípio de Equivalência entre massa e energia, o Efeito Fotoelétrico, a Gravitação, o Movimento Browniano, entre outros.

Para essa questão foram criadas as seguintes categorias de respostas: i) Não conhecem contribuições relacionadas a Einstein; ii) Relacionam contribuições erradas; iii) Sim. Na categoria (iii) foram encontradas algumas citações diversificadas, de série para série, e que são evidenciadas na Tabela 2

Tab. 2 Categorização para a questão 1 do documento *Questionário Investigativo*.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual(%)
1º ano	Não conhecem contribuições relacionadas a Einstein.	8	32
	Relacionam contribuições erradas, tais como bomba atômica e física quântica.	9	36
	Teoria da Relatividade; Efeito Fotoelétrico e Movimento Browniano.	8	32
2º ano	Não conhecem contribuições relacionadas a Einstein	15	72
	Relacionam contribuições erradas, tais como bomba atômica e física quântica.	3	14
	Teoria da Relatividade	3	14
3º ano	Não conhecem contribuições relacionadas a Einstein	11	46
	Relacionam contribuições erradas, tais como bomba atômica e física quântica.	4	17
	Teoria da Relatividade e/ou $E = mc^2$	9	37

Alguns alunos responderam “sim, mas não sei”. Essa resposta foi considerada como “não”. Apesar de Einstein ser uma figura popular, de acordo com essa atividade, foi possível verificar que a maioria dos alunos não tem conhecimento sobre suas contribuições ou relacionam a ele contribuições equivocadas.

No 1º ano um bom percentual de alunos conhece alguma contribuição de Einstein. Eles também citaram trabalhos além daqueles associados à Teoria da Relatividade, que não serão abordados na Sequência Didática, tais como: Efeito Fotoelétrico e Movimento Browniano. No entanto, menos da metade diz não conhecer nenhuma contribuição científica associada a Albert Einstein.

O 2º ano apresenta o maior percentual de alunos que diz não conhecer contribuições de Einstein. Uma outra parcela, pequena, respondeu de forma equivocada, associando a Einstein a construção da bomba atômica.

O 3º ano apresenta o maior percentual de alunos que conhece alguma contribuição de Einstein, citando explicitamente a Teoria da Relatividade. No entanto, quase metade ainda diz não conhecer nenhuma contribuição científica de Einstein, apesar deles já terem tido contato com a teoria da relatividade através de meios de divulgação científica, e nos conteúdos trabalhados em anos anteriores.

As questões 2, 3 e 4 estão relacionadas ao conceito de tempo. Com o objetivo de verificar o conhecimento dos alunos sobre o tema, observamos como eles interpretam a passagem do tempo, se eles entendem que o tempo é uma das dimensões e qual a relação do tempo com o espaço e com a velocidade.

Questão 2: No dia a dia é comum as pessoas usarem o termo “o tempo é relativo”. O que você entende por isso?

Objetivo: verificar se o aluno conhece o termo relatividade do tempo, tanto no entendimento do senso comum como no entendimento científico.

Para essa questão foi possível organizar as respostas em três categorias: i) Entendem que a passagem do tempo é relativa, dependente do referencial; ii) Relacionam o tempo com o espaço; iii) Respostas inconclusivas. A Tabela 3 apresenta um resumo dessa categorização.

Tab. 3 Categorização para a questão 2 do documento *Questionário Investigativo*.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Entendem que a passagem do tempo é relativa, dependente do referencial.	8	32
	Relacionam o tempo com o espaço.	1	4
	Respostas Inconclusivas.	16	64
2º ano	Entendem que a passagem do tempo é relativa, dependente do referencial.	8	38
	Relacionam o tempo com o movimento.	1	5
	Respostas Inconclusivas.	12	57
3º ano	O tempo como "hora certa", cada um tem "seu tempo".	10	42
	Entendem que a passagem do tempo é relativa, dependente do referencial.	9	38
	Respostas Inconclusivas.	5	20

A questão 2 se propõe a analisar o conhecimento do estudante sobre a relatividade do tempo. Nas três turmas a maioria dos alunos não descreveu o tempo como uma grandeza física, enquanto uma pequena parcela diz que o tempo é relativo sem compreender fisicamente a relatividade do tempo. As respostas apresentadas pelos estudantes para essa questão foram muito parecidas nas três turmas analisadas. Um alto percentual de respostas inconclusivas foram apresentadas pelos alunos do 1º e do 2º ano.

Questão 3: Quantas dimensões existem? Quantas são necessárias para localizar um corpo numa determinada região?

Objetivo: Verificar se o aluno sabe o que é uma dimensão e quantas dimensões existem.

Para essa questão apareceram quatro categorias: i) Não sabem o que é; ii) Apresentam a ideia de três dimensões; iii) Apresentam a ideia de quatro dimensões; iv) Apresentam a ideia de mais de quatro dimensões. A Tabela 4 apresenta o resultado dessa categorização.

Tab. 4 Categorização para a questão 3 do documento *Questionário Investigativo*.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Não sabem o que é uma dimensão.	15	60
	Apresentam a ideia de 3 dimensões.	1	4
	Apresentam a ideia de 4 dimensões.	4	16
	Apresentam a ideia de mais de 4 dimensões.	5	20
2º ano	Não sabem o que é uma dimensão.	9	43
	Apresentam a ideia de 3 dimensões.	6	28
	Apresentam a ideia de 4 dimensões.	0	0
	Apresentam a ideia de mais de 4 dimensões.	6	29
3º ano	Não sabem o que é uma dimensão.	14	58
	Apresentam a ideia de 3 dimensões.	5	21
	Apresentam a ideia de 4 dimensões.	1	4
	Apresentam a ideia de mais de 4 dimensões.	4	17

A questão 3 analisa o que o aluno entende por dimensões, além de verificar se a grandeza física tempo é vista como uma dimensão. Muitos alunos não sabem o que é uma dimensão, ou não entenderam a pergunta. Isso pode ser verificado pois, na discussão das respostas, a maioria deles conhecia as dimensões espaciais, porém não conseguiram descrever tais conceitos no questionário. Portanto, mesmo que alguns alunos tenham apresentado a ideia de existência de quatro dimensões ou mais, nenhum deles respondeu que o tempo é uma dimensão.

Um pequeno percentual de alunos respondeu que existem infinitas dimensões. Esse tipo de resposta pode ter origem nos materiais de divulgação científica, disponíveis em diferentes mídias, muito populares entre os jovens e adolescentes.

Essa questão consta de duas perguntas em uma, porém os alunos não responderam a segunda pergunta.

Questão 4: Você acha que é possível viajar no tempo?

Objetivo: Verificar se o aluno relaciona a passagem do tempo com a velocidade com que um corpo se move.

As categorias que surgiram na análise desta questão foram: i) Não acreditam que é possível viajar no tempo; ii) Apresentam a possibilidade de viajar no tempo aumentando a velocidade; iii) Apresentam a possibilidade de viajar no tempo em sonhos, ficção, dimensões ocultas e altas tecnologias. Apenas no 3º surgiu a categoria associada a ideia de curvatura do espaço-tempo e buracos de minhoca. Na Tabela 5 pode-se ver esse resultado.

Tab. 5 Categorização para a questão 4 do documento *Questionário Investigativo*.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Não acreditam que é possível viajar no tempo.	14	56
	Apresentam a possibilidade de viajar no tempo aumentando a velocidade.	3	12
	Apresentam a possibilidade de viajar no tempo em sonhos, ficção, dimensões ocultas e altas tecnologias.	8	32
2º ano	Não acreditam que é possível viajar no tempo.	18	86
	Apresentam a possibilidade de viajar no tempo aumentando a velocidade.	1	5
	Apresentam a possibilidade de viajar no tempo com a alta tecnologia.	2	9
3º ano	Não acreditam que é possível viajar no tempo.	17	70
	Apresentam a possibilidade de viajar no tempo em sonhos, ficção e dimensões ocultas.	4	16
	Apresentam a ideia de curvatura do espaço e buracos de minhoca.	3	14

A questão 4 buscava discutir a possibilidade de viajar no tempo, seja para o passado ou para o futuro. A grande maioria respondeu que não é possível voltar no tempo. Outra parcela de alunos respondeu que a viagem no tempo só seria possível na ficção ou em sonhos, ou seja, não é possível. Uma pequena parcela relacionou a passagem do tempo com a velocidade ou curvatura do espaço tempo.

Os alunos que responderam que o tempo pode passar de maneira diferente não conseguiram explicar como e nem relacionaram essa ideia com o referencial adotado. Assim, a ligação entre a Q2 e a Q4 - relatividade do tempo e viagem no tempo – não aparece de forma concretizada, a princípio, como um conhecimento inicial dos estudantes.

Questão 5: Será que existe algum limite para a velocidade que um móvel pode alcançar? Se existe, qual é?

Objetivo: Verificar se o aluno sabe que a velocidade da luz no vácuo é o limite de velocidade na natureza.

Para essa questão foram as seguintes categorias utilizadas: i) Entendem que a velocidade da luz é o limite de velocidade na natureza; ii) Não existe limite; iii) Não compreendem o conceito de velocidade e espaço; iv) Não sabem. Na Tabela 6 estão apresentados os resultados dessa categorização.

Tab. 6 Categorização para a questão 5 do documento *Questionário Investigativo*.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Entendem que a velocidade da luz é o limite de velocidade na natureza.	4	16
	Não sabem.	5	20
	Não existe limite.	15	60
	Não compreendem o conceito de velocidade e espaço.	1	4
2º ano	Entendem que a velocidade da luz é o limite de velocidade na natureza.	7	33
	Não existe limite.	4	19
	Não sabem.	10	48
3º ano	Entendem que a velocidade da luz é o limite de velocidade na natureza.	8	33
	Não existe limite.	4	17
	Não sabem.	12	50

A questão 5 apresenta o questionamento sobre o limite de velocidade na natureza. Essa pergunta tem ligação com a pergunta anterior, onde relacionamos a velocidade com a passagem do tempo.

A maioria dos alunos respondeu que não existe um limite de velocidade ou não sabe se esse limite existe. Deve-se chamar a atenção para a resposta de um aluno no primeiro ano que respondeu “*distância da Terra a Lua*”, ou seja, este estudante não conhece sequer o conceito de velocidade.

Com essa pergunta finalizamos o levantamento do conhecimento inicial dos alunos sobre o tempo. Pode-se verificar que uma minoria conhece a relatividade do tempo e sua relação com a velocidade, e que nenhum aluno apresenta a noção de tempo como uma dimensão.

Questão 6: Suponha que você esteja viajando num trem, que não possua janelas, numa estrada perfeitamente plana. Como você saberia se o trem está em movimento?

Objetivo: Verificar se o aluno consegue relacionar a sensação de movimento com a aceleração.

Para essa questão surgiram três categorias: i) Entendem que não é possível saber se há ou não movimento; ii) Relacionam a sensação de movimento com a aceleração, com a inércia ou com a força; iii) Relacionam o movimento com o barulho das rodas. Essas categorias estão sistematizadas na Tabela 7.

Tab. 7 Categorização para a questão 6 do documento *Questionário Investigativo*.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Entendem que não é possível saber.	16	64
	Relacionam a sensação de movimento à aceleração, inércia ou força (pressão).	7	28
	Relacionam o movimento com o barulho das rodas.	2	8
2º ano	Entendem que não é possível saber.	14	67
	Relacionam a sensação de movimento à aceleração, inércia ou força (pressão).	7	33
3º ano	Entendem que não é possível saber.	11	46
	Relacionam a sensação de movimento à aceleração, inércia ou força (pressão).	7	29
	Relacionam o movimento com o barulho das rodas.	6	25

A questão 6 foi proposta para verificar se o estudante conseguiria diferenciar aceleração e velocidade, relacionando a sensação de movimento com a presença de uma aceleração ou força aplicada. A questão ficou aberta em relação ao tipo de movimento. Com isso, alguns alunos poderiam respondê-la com base no movimento variado ou no movimento uniforme, já conhecidos.

A questão pareceu difícil para os alunos, visto que a maioria respondeu que não é possível saber se o trem está em movimento sem que o observador pudesse ver o lado de fora, além de uma grande quantidade de respostas que apresentaram explicações sem sentido, fora do contexto.

Questão 7: Quem é responsável por manter a Lua orbitando a Terra?

Objetivo: Verificar o conhecimento do aluno sobre a força gravitacional.

Para essa questão surgiram as seguintes categorias: i) Não sabem como a Lua se mantém em órbita; ii) Entendem que a Lua se mantém em órbita ao redor da Terra devido a força gravitacional, campo gravitacional ou gravidade; iii) Entendem que a Lua se mantém em órbita ao redor da Terra devido ao espaço. Estas respostas estão sistematizadas na Tabela 8 a seguir.

Tab. 8 Categorização para a questão 7 do documento *Questionário Investigativo*.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Não sabem como a lua se mantém em órbita.	3	12
	Entendem que a lua se mantém em órbita ao redor da Terra devido a força gravitacional, campo gravitacional ou gravidade.	20	80
	Entendem que a lua se mantém em órbita ao redor da Terra devido ao espaço.	2	8
2º ano	Não sabem como a lua se mantém em órbita.	7	34
	Entendem que a lua se mantém em órbita ao redor da Terra devido a força gravitacional, campo gravitacional ou gravidade.	14	66
3º ano	Não sabem como a lua se mantém em órbita.	7	29
	Entendem que a lua se mantém em órbita ao redor da Terra devido a força gravitacional, campo gravitacional ou gravidade.	17	71

A questão 7 tinha como objetivo verificar o conhecimento do aluno sobre a ação da força gravitacional. A maioria dos alunos entende que existe uma força gravitacional atuando sobre a Lua exercida pela Terra. Quase todos os alunos conhecem de alguma forma a Gravitação Universal de Newton, mas nenhum deles conhece as ideias de Einstein sobre a curvatura do espaço-tempo. No entanto, algumas respostas versam sobre espaço, mas não apareceu nenhuma explicação conclusiva que mostre o entendimento do aluno sobre o espaço-tempo.

Os alunos do 1º ano estudaram a Lei da Gravitação de Newton no mesmo ano de aplicação da SD, então uma resposta vinculada a isso era esperada num percentual maior para essa turma. Os alunos do 3º ano revisaram esse conteúdo recentemente e também obtiveram um percentual de acerto um pouco menor do que o do 1º ano, mas significativo. Até mesmo o 2º ano, que estudou o conteúdo no ano anterior, obteve um bom percentual de acertos nas respostas. Assim, notamos que a única ideia sobre gravitação que os alunos apresentam diz respeito a Gravitação de Newton, que já era esperado como o subsunçor a partir do qual deveríamos construir os novos conceitos sobre gravitação.

Questão 8: Você já ouviu falar sobre buraco negro? O que você acha que é um buraco negro?

Objetivo: Verificar o que aluno conhece sobre buraco negro.

Nessa questão surgiram as seguintes categorias: i) Não sabem o que é um buraco negro; ii) Entendem que o buraco negro é um buraco que suga tudo que está próximo/ou buraco sem fim; iii) Entendem que o buraco negro é uma região com enorme massa concentrada que atrai os corpos inclusive a luz. A Tabela 9 sistematiza essas respostas.

Tab. 9 Categorização para a questão 8 do documento *Questionário Investigativo*.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Não sabem o que é um buraco negro.	5	20
	Entendem que o buraco negro é um buraco que suga tudo que está próximo/ou buraco sem fim.	18	72
	Entendem que o buraco negro é uma região com enorme massa concentrada que atrai os corpos inclusive a luz.	2	8
2º ano	Não sabem o que é um buraco negro.	6	29
	Entendem que o buraco negro é um buraco que suga tudo que está próximo/ou buraco sem fim.	15	71
3º ano	Não sabem o que é um buraco negro.	8	33
	Entendem que o buraco negro é um buraco que suga tudo que está próximo/ou buraco sem fim.	15	63
	Entendem que o buraco negro é uma região com enorme massa concentrada que atrai os corpos inclusive a luz.	1	4

A questão 8 analisou o que os alunos entendiam por buracos negros. O conceito é bastante difundido na mídia, pois temos inúmeros programas de ciência na TV ou revistas especializadas que discutem sobre eventos astronômicos. A maioria dos alunos entende que buraco negro é um buraco que atrai tudo a sua volta. Assim, notamos que o conceito de atração gravitacional exercida pelos buracos negros já existe, só não podemos dizer que trata-se de um buraco. Uma parcela desses alunos ainda respondeu que esse buraco deveria atrair inclusive a luz.

Alunos que responderam que o buraco negro é outra dimensão entram em conflito com a Q3, pois eles não sabem o que é uma dimensão. Com isso, definem algo usando um termo que não conhecem o que significa.

Apenas 3 alunos responderam que trata-se de um corpo com muita massa concentrada, no entanto, também entendem o evento como um buraco.

Questão 9: Você já ouviu falar sobre a Teoria do Big Bang? O que você entende sobre essa expressão?

Objetivo: Verificar o que o aluno sabe sobre a Teoria do Big Bang.

Para essa questão surgiram as seguintes categorias: i) Não sabem o que é o Big Bang; ii) Entendem o Big Bang como uma explosão; iii) Entendem o Big Bang como uma explosão que deu origem ao Universo, Terra e vida.

Tab. 10 Categorização para a questão 9 do documento *Questionário Investigativo*.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Não sabem o que é o Big Bang.	8	32
	Entendem o Big Bang como uma explosão.	4	16
	Entendem o Big Bang como uma explosão que deu origem ao Universo, Terra e vida.	13	52
2º ano	Não sabem o que é o Big Bang.	4	19
	Entendem o Big Bang como uma explosão.	4	19
	Entendem o Big Bang como uma explosão que deu origem ao Universo, Terra e vida.	13	62
3º ano	Não sabem o que é o Big Bang.	4	17
	Entendem o Big Bang como uma explosão.	1	4
	Entendem o Big Bang como uma explosão que deu origem ao Universo, Terra e vida.	19	79

A questão 9 tinha como objetivo verificar o que os alunos conheciam sobre o modelo Padrão de Cosmologia - a Teoria do Big Bang.

A maioria dos estudantes respondeu que já ouviram falar sobre o Big Bang e o descrevem como uma explosão. Esse foi um conceito presente entre os alunos devido ao nome, que não é muito apropriado para tal teoria. O que divergiu nas respostas foi o produto dessa explosão, tais como vida, terra, universo. Nenhum aluno descreveu a Teoria do Big Bang como um modelo para explicar a criação do universo, como uma expansão inicial.

Questão 10: Você acha que existem algumas limitações para as Leis de Newton? Em caso afirmativo, quais são elas?

Objetivo: Verificar se o aluno conhece alguma situação onde as Leis de Newton não possam ser aplicadas.

Para a questão final do questionário, surgiram as seguintes categorias: i) Não sabem; ii) Entendem que existem, mas não sabem qual; iii) Entendem que não existem.

Tab. 11 Categorização para a questão 10 do documento *Questionário Investigativo*.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Não sabem.	3	12
	Entendem que existem, mas não sabem qual.	13	52
	Entendem que não existem.	9	36
2º ano	Não sabem.	4	19
	Entendem que existem, mas não sabem qual.	4	19
	Entendem que não existem.	13	62
3º ano	Não sabem.	6	26
	Entendem que existem, mas não sabem qual.	9	37
	Entendem que não existem.	9	37

A questão 10, que encerra o questionário, analisou se os alunos conheciam alguma situação em que as leis de Newton não fossem válidas ou que falhassem. Embora os alunos acreditem que existam situações onde tais leis não sejam aplicadas, nenhum deles conseguiu citar um exemplo.

O questionário elaborado para uma breve verificação inicial do conhecimento prévio e subsunçores dos alunos nos forneceu muitas informações a esse respeito. Com ele verificamos o que modificar e o que pode ser modificado no decorrer das atividades da SD.

Começamos verificando se os alunos conheciam as contribuições de Einstein, e a maioria não sabia o que o físico alemão havia feito, mesmo ele sendo considerado uma celebridade. Então, devemos oferecer essa informação aos alunos durante as aulas, possibilitando um enriquecimento cultural dos estudantes.

Algumas perguntas estavam relacionadas ao tempo, e notamos que o subsunçor dos alunos é de que o tempo é absoluto e sua passagem independe do referencial ou do movimento do corpo. Os alunos não sabem, de modo geral, que o tempo é uma dimensão e de sua relação com o espaço. Assim, no transcorrer das aulas contribuiremos para a ampliação desse subsunçor, possibilitando uma visão mais ampla do conceito físico acerca do tempo.

Fazendo uma ligação do conceito de tempo com uma possível viagem no tempo, foi possível notar que os alunos, em sua maioria, não acreditam nessa possibilidade. Além disso, desconhecem um limite de velocidade na natureza. Com isso não conseguiram fazer a ligação entre a viagem no tempo com o aumento de velocidade, e que essa velocidade obrigatoriamente deve ser menor que a velocidade da luz no vácuo. Os estudantes demonstraram possuir um conhecimento bastante limitado sobre esses novos conceitos e não conseguiram fazer as devidas ligações entre eles. Isso nos mostra que deveremos trabalhar na SD com um de-

vido cuidado, utilizando a sequência lógica de desenvolvimento de tais conceitos, para que façam sentido e possam levar os estudantes a uma reflexão.

Os alunos demonstraram também uma grande falta de conhecimento sobre os conceitos da TRR. Um ou outro, de forma bastante tímida, respondeu alguma coisa que nos leva a crer que conhecem um pouco sobre o assunto, mas longe de ter concretizado tal conhecimento.

A segunda parte da atividade faz alusão aos conceitos da TRG. Embora possa ser considerada uma teoria mais avançada, muito sobre ela é trabalhado na mídia com foco no universo e sua evolução. A maioria dos alunos já ouviu falar na maior parte dos conceitos trabalhados, mas não sabe bem o que significa ou como funciona.

Inicialmente verificamos que os alunos desconhecem o Princípio de Equivalência. Ao serem questionados sobre o movimento, a maioria tentou explicá-lo baseado nas leis de Newton. Portanto, esse é um subsunçor importante. Visto que, os alunos já demonstraram conhecer que o movimento pode ser percebido se existir uma aceleração, isso nos possibilita usar esse subsunçor para ampliar a discussão de campo gravitacional e aceleração.

A pergunta que mais obtivemos êxito foi a que se referia à gravitação. A maioria dos alunos mostrou compreender que a Terra atrai os corpos, no caso específico a Lua. Porém, não pudemos verificar se compreendem que todos os corpos que possuem massa se atraem. Esse subsunçor será modificado nos moldes da teoria de Einstein onde um corpo faz o espaço-tempo se curvar. Tal conceito não está presente na mente desses alunos.

A maioria dos estudantes já ouviu falar ou assistiu a algum programa sobre buracos negros, porém entende o evento como um buraco que suga tudo ao seu redor. Não compreende o que é um horizonte de eventos, nem que buraco negro é

um corpo massivo que atrai os corpos ao seu redor e que a velocidade de escape é maior que a velocidade da luz. Essa modificação conceitual já era previsível, pois muitos alunos mencionam o tema em algumas aulas de Física.

A Teoria do Big Bang é uma expressão comum para os alunos, mas a maioria não sabe o que significa. Muitos escreveram que foi o surgimento da vida e da Terra, o que mostra uma visão errada e limitada. A ideia de explosão certamente aparece muito, pois o nome induz o estudante a pensar assim. Apesar de ser uma teoria que a mídia explora bastante, a ideia de expansão não ficou clara por parte dos alunos, que ainda pensam como se fosse uma explosão.

Encerramos o questionário verificando se os alunos conheciam algum limite para as leis de Newton, onde esperávamos que apareceria a Teoria de Einstein. Realmente os alunos não conseguiram perceber que a limitação de uma teoria abre caminhos para teorias mais gerais. Ao final da SD, espera-se que os alunos consigam chegar a essa conclusão.

Atividade 2 – Atividade em grupo: Paradoxo dos gêmeos

A primeira atividade realizada nas três turmas, foi uma atividade em grupo que tinha como objetivo discutir os conceitos associados com a dilatação do tempo. Nessa atividade, foi possível comparar as respostas com aquelas dadas as questões 2, 3 e 4 do questionário inicial. A partir dessa análise percebeu-se que os alunos possuem algum conhecimento inicial sobre o tempo, mas voltado para o senso comum, desconhecendo, por exemplo, a relatividade da passagem do tempo, um dos temas abordados nessa atividade. Além disso, nenhum estudante apresentou o tempo como sendo uma dimensão.

A atividade consistiu de um pequeno texto contextualizador que apresenta uma situação-problema. Ao final do texto são colocadas três perguntas para serem respondidas pelos grupos. As respostas a essas perguntas estão apresentadas a seguir, onde usou-se o seguinte código Ri (onde i varia de 1 a 6) corresponde às respostas dadas pelos grupos.

Resumo das respostas à questão (a): Como se explica isso no contexto da Teoria da Relatividade?

1º ANO

R1: Na Terra o tempo passa mais rápido do que nessa estrela, então se Renan ficou na Terra, logo, ele envelhecerá mais rápido que Ana que foi para estrela.

R2: Quando uma pessoa está viajando na velocidade da luz, o tempo passa mais devagar, assim envelhece menos.

R3: O tempo passou relativamente diferente de acordo com os referenciais, a Terra e a astronave, que se movia a uma velocidade mais próxima da luz, que o referencial da Terra, o observador, que sentia mais os efeitos.

R4: O tempo para Ana passou mais lentamente, sendo a diferença perceptível por ela estar viajando a 80% da velocidade da luz.

R5: A teoria da Relatividade afirma que quanto mais próximo da velocidade da luz o tempo passa mais devagar, a velocidade da astronave era próxima da velocidade da luz, por isso, ela envelheceu menos.

R6: A distância percorrida por uma luz com referencial na nave é menor, na terra a distância é maior, então para permanecer a velocidade constante o tempo aumenta.

O grupo R1 deu uma explicação muito vaga e não relacionou a passagem do tempo com conceitos físicos. O grupo R2 conseguiu relacionar a passagem do

tempo com a velocidade do corpo. O grupo R3 conseguiu relacionar a passagem do tempo com a velocidade e com a dependência do referencial. Os grupos R4 e R5 conseguiram relacionar a passagem do tempo com a velocidade do corpo e com a velocidade da luz. Já o grupo R6 relacionou a passagem do tempo apenas com o referencial.

2º ANO

R1: Quando a velocidade é muito grande, aproximado da velocidade da luz o tempo passa mais devagar, por isso daria uma diferença na aparência de idade.

R2: De acordo com a Teoria da Relatividade de Einstein, o tempo flui mais devagar para quem está se movendo próximo a velocidade da luz, no caso, para Ana. Por isso que quando ela retornou à Terra, ela envelheceu menos.

R3: Isso se aplica de acordo com a dilatação do tempo, na qual a distância percorrida pela luz observada dentro da nave é menor que a observada por uma pessoa na Terra. Como a velocidade da luz é constante, o tempo fora da nave deve ser maior para igualar as velocidades.

R4: O tempo e o espaço se comportam de maneira diferente em velocidades próximas a velocidade da luz.

R5: De acordo com o postulado de Einstein, a velocidade da luz é sempre constante, por isso ocorre a dilatação do tempo para que não ocorra a variação da velocidade. Para Renan que permaneceu na Terra ficou mais velho, o tempo precisa dilatar para manter a velocidade constante da luz.

R6: O tempo e o espaço se comportam de forma diferente em velocidades próximas a velocidade da luz.

Os grupos R1, R2, R4 e R6 conseguiram relacionar a passagem do tempo com a velocidade do corpo e com a velocidade da luz. Já os grupos R3 e R5 relacionaram a passagem do tempo apenas com o referencial.

3º ANO

R1: Isso se explica devido ao fenômeno de dilatação do tempo, fundamentada na invariância da velocidade da luz.

R2: No contexto da teoria da relatividade, isso se explica pelo fato de, quando Einstein afirmou que o tempo e o espaço são relativos. Ele descobriu que poderia “frear e desacelerar” o tempo, para uns o tempo pode demorar mais a passar. No exemplo do espaço, é como se a velocidade lá retirasse tudo o que fosse possível da velocidade do tempo. No outro extremo para quem está parado, a velocidade está toda concentrada na dimensão do tempo.

R3: De acordo com a Teoria da Relatividade, o objeto com velocidade muito alta, seu tempo em vida passa mais lentamente. Ana, que está na astronave, seu tempo passa mais devagar que o de seu irmão, e ao voltar, terão diferenças de idades. Isso tudo acontece devido à invariância da velocidade da luz, logo, há a necessidade de mais tempo para ocorrer qualquer fenômeno.

R4: Segundo a Teoria da Relatividade o tempo passa mais devagar para quem está com velocidade da luz, por isso, ao retornar Ana encontra seu irmão alguns anos mais velho que ela.

R5: De acordo com a Teoria da relatividade, o tempo passa mais devagar para quem está em um movimento próximo a velocidade da luz em relação a outro referencial inercial em repouso. Isso ocorre pois, pelo referencial em repouso na Terra a trajetória da luz na espaçonave é maior como a velocidade da luz é constante o tempo terá que ser maior.

R6: Essa ocorrência se deve ao efeito Urachima. Estabelecendo que a velocidade da luz é a mesma em todas as condições, conclui-se que o tempo, para um móvel próximo a velocidade da luz, passa mais lentamente. Isso é provado utilizando um relógio de luz e o teorema de Pitágoras, mostrando que a distância que a luz percorre no móvel é maior que a distância percorrida pela mesma na Terra, nesse caso. Portanto é necessário uma dilatação do tempo.

O grupo R1 relacionou a passagem do tempo com o postulado de Einstein e o relógio de luz. O grupo R2 relacionou a passagem do tempo com a velocidade e tentou usar os argumentos de Brian Greene, de que existem duas velocidades, uma temporal e outra espacial. Já os grupos R3, R5 e R6 relacionaram a passagem do tempo com a velocidade do corpo, referencial e citaram o postulado do Einstein. Enquanto o grupo R4 relacionou a passagem do tempo com a velocidade do corpo e com a velocidade da luz.

Tab. 12 Categorização das respostas dadas a questão (a) da atividade *Paradoxo dos Gêmeos*

Turma	Resumo das Respostas	Grupos	Percentual (%)
1º ano	Relacionam a passagem do tempo com a velocidade e referencial	5	83
	Não conseguiram compreender a passagem do tempo na situação	1	17
2º ano	Relacionam a passagem do tempo com a velocidade e referencial	6	100
3º ano	Relacionam a passagem do tempo com a velocidade e referencial	6	100

A pergunta inicial do problema tinha como objetivo verificar se o aluno assimilou os conceitos sobre a relatividade do tempo introduzidos na aula. Pode-se notar que a maioria dos alunos compreendeu que o tempo é relativo. Apenas um grupo não conseguiu fazer as relações adequadas. Embora compreendam, de forma simples e conceitual, que o tempo de duração de um evento depende da

velocidade com que o corpo se move e do referencial, foi possível notar uma real mudança de conceito se comparamos com as respostas dadas no questionário inicial.

Alguns alunos tentaram explicar a dilatação do tempo usando o exemplo do relógio de luz proposto por Einstein, baseando a relatividade do tempo no postulado de que a velocidade da luz é constante para qualquer referencial.

Um dos grupos fez a tentativa de explicar a lentidão da passagem do tempo usando os argumentos de Brian Greene, apresentados no trecho do livro *O Universo Elegante* (2001, pag 74), utilizado na atividade, onde o autor divide a velocidade em duas componentes: uma espacial e outra temporal - aumentando uma a outra, conseqüentemente, diminui. Isso mostra o desenvolvimento de uma certa autonomia por parte desse grupo, já que esse é um conceito complexo e que não foi foco da atividade.

Na segunda pergunta da atividade, os alunos deveriam calcular a diferença de idade entre os dois irmãos usando a equação da dilatação do tempo. Essa etapa foi realizada com sucesso por todos eles, embora alguns apresentassem certa dificuldade em entender qual era o tempo próprio e qual era o tempo aparente. A questão é importante por quantificar o tempo em cada referencial, o que torna o problema mais claro e concreto para os alunos.

A terceira questão tinha como objetivo fazer com que os estudantes estabelecessem o paradoxo dos gêmeos. As respostas estão descritas abaixo e na tabela 14 a seguir.

Resumo das respostas à questão (c) Se o referencial fosse de Ana, quem estaria em movimento? Assim, como seria a passagem do tempo nesse referencial?

1º ANO

R1: A Terra estaria em movimento e a pessoa que ficasse na Terra envelheceria menos

R2: Renan. Ainda assim o tempo estaria passando mais lentamente, mesmo que Ana não percebesse

R3: A Terra, quem estivesse na Terra sentiria menos, já que a Terra estaria com maior velocidade relativa.

R4: Renan. Para esse referencial (Ana) o tempo passará mais devagar.

R5: O Renan com a Terra, e a passagem de tempo seria muito mais rápido, ou seja, ele veria a passando muito rápido.

R6: O Renan com a Terra, e a passagem de tempo seria muito mais rápido, ou seja, ele veria a passando muito rápido.

Os grupos R1 e R2 compreendem que o movimento é relativo e que o efeito de dilatação depende do referencial. Já os grupos R3, R4, R5 e R6 compreendem que o movimento é relativo.

2º ANO

R1: Os gêmeos estariam em movimento. Em relação a passagem de tempo seria comprimido, passando rapidamente.

R2: A Terra. O tempo na Terra passará de forma mais rápida, pois o espaço irá contrair.

R3: Se o referencial fosse a nave a Terra estaria em movimento. Assim o tempo não irá se dilatar, ou seja, não irá ter diferença de idade entre os gêmeos.

R4: O tempo é comprimido, e passa muito mais rápido na nave.

R5: A Terra. O tempo na nave irá dilatar, ou seja, ficará mais devagar.

R6: Se o referencial é a nave, quem se move é o espaço, ou seja, a estrela Alfa Centauri está indo até a nave. Seria normal a passagem do tempo, pois ele estaria em repouso.

O grupo R1 fez confusão na hora de escrever sobre quem se movimenta, mas compreende que a dilatação do tempo é relativa. Os grupos R2, R3 e R5 compreendem que o movimento é relativo e que o efeito de dilatação depende do referencial. Já o grupo R3 compreende que o movimento é relativo e não conseguiu ligar a informação da relatividade da velocidade com a dilatação do tempo. Enquanto que o grupo R6 compreende apenas que o movimento é relativo.

3º ANO

R1: terra estaria em movimento. A passagem de tempo para Ana, na nave, seria normal, para si mesma. Já a passagem de tempo na Terra seria mais rápida, para o mesmo referencial, no caso Ana.

R2: A nave de Ana estaria mais rápido que o Renan, mesmo ela sendo o referencial, ela saberia que está em movimento. Para Ana, a passagem do tempo seria normal, somente se comparado a passagem de tempo da Terra, é que para ela o tempo passaria mais devagar.

R3: Renan. O tempo para Ana passaria mais rápido do que para Renan.

R4: A nave. A passagem de tempo nesse referencial seria mais rápido.

R5: Renan estaria em movimento. O tempo passará mais devagar.

R6: Caso o referencial mude para a nave quem estaria em movimento seria a Terra, na velocidade de $0,8c$. Sendo assim a passagem do tempo nesse novo referencial, o foguete, seria passado normalmente, que nas condições seria 16,6 anos.

Os grupos R1, R3 e R6 Compreendem que o movimento é relativo e que o efeito de dilatação depende do referencial. Já o grupo R2 não compreende que o movimento é relativo, porém, entende que o tempo é relativo. O grupo R4 compreende que o efeito de dilatação depende do referencial e o grupo R5 compreende que o movimento é relativo.

Tab. 13 Categorização das respostas dadas a questão (c) da atividade *Paradoxo dos Gêmeos*

Turma	Resposta	Grupos	Percentual (%)
1º ano	Compreende que o movimento é relativo e que o efeito de dilatação depende do referencial.	6	100
2º ano	Compreende que o movimento é relativo e que o efeito de dilatação depende do referencial.	6	100
3º ano	Compreende que o movimento é relativo e que o efeito de dilatação depende do referencial.	6	100

A questão (c) dessa atividade tinha o objetivo de levar o aluno a compreender que o experimento é um paradoxo. Os alunos deveriam reconhecer que o movimento é relativo e que o efeito de dilatação do tempo depende do referencial adotado.

O que se pode perceber a partir das respostas é que, praticamente todos os alunos compreenderam que o movimento é relativo, mas, uma minoria ainda não conseguiu relacionar esse conceito com o efeito da dilatação do tempo. Todos eles perceberam que no referencial de Renan ele envelhece mais rápido, e no referencial de Ana ela envelhece mais rápido.

Foi possível observar ainda uma certa dificuldade por parte dos estudantes na hora de escrever sobre os conceitos que, na maioria das vezes, estão sendo discutidos por eles pela primeira vez. Deve-se ressaltar também que os alunos não

tiveram tempo de estudar em casa este conteúdo. As atividades foram realizadas em sala de aula e os conceitos foram desenvolvidos neste momento. Mesmo assim, o resultado pode ser considerado muito bom com relação a construção de novos conceitos, com ampliação e modificação dos subsunçores que estavam presentes inicialmente.

A nossa hipótese é que a maioria dos alunos inicia as atividades com o conhecimento de que o tempo é absoluto, e que sua passagem independe da velocidade do corpo. Esse seria o subsunçor usado. Além disso, devem possuir um conhecimento prévio de que o movimento é relativo, o que foi verificado na atividade inicial. Assim, nota-se que o subsunçor tempo foi modificado, e esses alunos já o compreendem como uma dimensão relativa, que depende do movimento de corpo e do referencial adotado. Já não tem a visão limitada de um tempo absoluto, ampliando assim a ideia de tempo na Física.

Atividade 3 – Atividade em grupo: Bomba no elevador

A segunda atividade em grupo foi construída tendo como base um trecho do livro *O Universo Elegante* (GREENE, pag 74). O texto foi adaptado de forma que, a contextualização fosse mais próxima da realidade dos alunos, visto que o livro faz alusão a uma situação corriqueira nos EUA.

Nessa atividade os alunos deveriam analisar o comportamento de um foguete que se afastava da Terra. Dentro do foguete havia uma balança com uma bomba. A medida que o foguete subia, o peso da bomba diminuiria e, conseqüentemente, o valor registrado na balança também diminuiria. O problema a ser resolvido era: se essa medida ultrapassasse 50% do valor inicial a bomba explodiria.

O objetivo era levar os alunos a compreenderem que o efeito do campo gravitacional é idêntico ao de uma aceleração. As respostas dadas pelos alunos aparecem sistematizadas abaixo:

1º ANO

R1: A medida que a bomba está se afastando da Terra, a força gravitacional diminui, assim o registro na balança também diminuirá. Considerando que aceleração e campo gravitacional são indistinguíveis basta ir aumentando gradativamente a aceleração da bomba, até que a força gravitacional seja nula e aceleração igual a experimentada na Terra.

R2: Colocar a bomba em um foguete e a medida que a gravidade diminui você acelera o foguete para que o peso não se altere, como diz a teoria: gravidade = aceleração. Inicialmente a velocidade do foguete tem que ser menor que o da gravidade, quando sair do campo gravitacional da terra, iguala ao da nave com a gravidade da Terra.

R3: A medida que vai subindo vai aumentando a aceleração, e isso faz com que há um equilíbrio.

R4: A bomba deve ser colocada em um foguete, que vá aumentando a aceleração, compensando em parte a diminuição da aceleração gravitacional.

R5: Colocando-se a bomba no foguete, deve-se manter uma aceleração menor que a da gravidade da Terra, evitando que o peso registrado na balança varie mais que 50%. Dessa forma, deve-se aumentar a aceleração da nave à medida que esta se afaste da superfície da Terra, já que o peso passará a diminuir. Então, quando afastar da Terra consegue, deve-se ter uma aceleração igual à da gravidade da Terra, mantendo um equilíbrio entre repouso na superfície da Terra e a viagem da bomba.

R6: O foguete deve começar com velocidade constante e a medida que ele se afas-

tar da Terra, a aceleração deve aumentar para compensar o campo gravitacional.

Os grupos R1, R3, R4, R5 e R6 entenderam que aceleração e campo gravitacional são indistinguíveis. Já o grupo R2 entendeu que aceleração e campo gravitacional são indistinguíveis, mas confundiu velocidade com aceleração.

2º ANO

R1: Como ao se afastar da Terra o peso diminui e quando acelera o peso aumenta, ele deverá colocar a bomba em um foguete que deverá ser proporcional. Se afastar 1 km da Terra deverá aumentar a velocidade 1 km/h.

R2: O foguete aumentaria sua aceleração na medida que sua distância da Terra aumentasse, assim, o peso não iria variar mais que 50%.

R3: A ideia é que a aceleração inicial não fizesse com que o peso aumentasse, tendo velocidade constante. Porém, após o afastamento da Terra a tendência é o peso diminuir, então, para compensar se deve aumentar a velocidade (aceleração).

R4: Para compensar a força gravitacional você terá que continuar acelerando para anular as forças, assim não aumentando o peso.

R5: A aceleração e gravidade, um tem que compensar o outro para o peso manter constante.

R6: O foguete deve começar com velocidade constante e a medida que ele se afastar da Terra, a aceleração deve aumentar para compensar o campo gravitacional.

O grupo R1 entendeu que aceleração e campo gravitacional são indistinguíveis, mas fez confusão com relação a velocidade do foguete. Já os grupos R2, R3, R4 e R6 entenderam que aceleração e campo gravitacional são indistinguíveis. Já o grupo R5 Não conseguiu escrever com clareza.

3º ANO

R1: Resolveria colocando a bomba com um foguete com a aceleração igual a gravidade da Terra, $9,8m/s^2$.

R2: O foguete deve subir acelerando a medida que seu peso diminui.

R3: Colocar a bomba em um foguete com aceleração de $4,9m/s^2$ em direção ao espaço sideral, inicialmente e gradativamente aumentar a aceleração até atingir $9,8m/s^2$.

R4: Como a Terra tem aceleração de $9,8m/s^2$, a bomba no foguete precisa começar numa aceleração de $4,9m/s^2$ e aumentando a aceleração do foguete gradativamente até chegar $9,8m/s^2$ quando não existir mais a ação da gravidade.

R5: Colocar a bomba em um foguete com aceleração de $4,9m/s^2$ em direção ao espaço sideral.

R6: Acelera-se o foguete para sair da Terra a uma velocidade e que o peso da balança varia 49,9% e partir daí mantém essa velocidade até que saia da Terra. Após sair da Terra o peso diminuirá e com isso será necessário aumentar a aceleração do foguete.

O grupo R1 não conseguiu entender o princípio de equivalência. Já o grupo R2 entendeu que aceleração e campo gravitacional são indistinguíveis, mas fizeram confusão com valores de aceleração. Enquanto os grupos R3, R4 e R6 entenderam que aceleração e campo gravitacional são indistinguíveis.

Pode-se considerar que a atividade foi bem sucedida e a maior parte dos estudantes conseguiu entender que os efeitos de um campo gravitacional e de uma aceleração são indistinguíveis. Mais uma vez, foi possível fazer uma ligação com o questionário inicial, quando os alunos responderam a questão sobre o movimento do trem. Assim, iniciamos a discussão com a ideia de sensação de movimento na primeira aula e concluímos discutindo o conceito de Princípio de Equivalência

Tab. 14 Categorização das respostas dadas à questão da bomba no elevador.

Turma	Resposta	Grupos	Percentual (%)
1º ano	Entendem que aceleração e campo gravitacional são indistinguíveis.	5	83
	Não entenderam o princípio de equivalência.	1	17
2º ano	Entendem que aceleração e campo gravitacional são indistinguíveis.	5	83
	Não entenderam o princípio de equivalência.	1	17
3º ano	Entendem que aceleração e campo gravitacional são indistinguíveis.	4	66
	Não entenderam o princípio de equivalência.	2	34

nessa atividade. Ao final da SD os alunos serão novamente questionados sobre essas ideias.

No problema apresentado aos alunos, a condição de que a medida na balança não poderia ultrapassar 50% do valor da massa inicial causou confusão em alguns estudantes, fazendo com que apresentassem valores para a aceleração e para a velocidade sem conexão com o que se pedia, como no caso do valor de $4,9m/s^2$ para a aceleração.

Na discussão dos resultados, os alunos relataram que esse conceito era bem mais fácil do que os anteriores sobre dilatação do tempo. Alguns fizeram uma analogia com a dinâmica do elevador, conteúdo estudado no 1º ano, onde analisamos o valor registrado por uma balança com um corpo em cima, dentro de um elevador que sobe e desce acelerado, como um dos casos de aplicação das Leis de Newton.

Atividade 4 – Atividade experimental: Curvatura do espaço-tempo utilizando um balão

A atividade experimental tinha como objetivo trabalhar os conceitos de espaço curvo, onde os Teoremas de Euclides, referentes ao espaço plano, não são válidos, como a soma dos ângulos internos de um triângulo e retas paralelas que nunca se cruzam.

Os alunos conseguiram realizar as medidas mas, como esse tipo de atividade experimental não é comum para eles, a atividade ocupou todo o tempo da aula.

O objetivo de se a superfície do balão para compreender o comportamento do espaço-tempo curvo só seria alcançado na aula seguinte, onde os estudantes assistiram alguns vídeos exemplificando o comportamento do tecido cósmico na presença de corpos massivos, como estrelas e eventos como buracos negros. Após a exibição desses vídeos, foi apresentada a Teoria do Big Bang, onde foi possível relacionar a atividade do balão com a expansão do universo.

As sistematizações das respostas dos estudantes a essa atividade estão descritos abaixo.

1º ANO

R1: A partir do momento que o balão vai enchendo as retas aumentam de tamanho e vão mudando de posição. Os ângulos também aumentam.

R2: Com os balões cheios, as retas não são mais paralelas e a soma dos ângulos internos passou de 180° .

R3: Como a superfície apresentada no balão não era mais plana as regras convencionais não eram mais aplicadas.

R4: A cada vez que enchemos o balão, as medidas aumentam, e se continuar enchendo as medidas vão se encontrar.

R5: Concluímos que ao encher o balão a soma dos ângulos internos do triângulo

aumenta e as retas variam as suas medidas se curvando, aumentando de tamanho.

O grupo R1 relacionou o volume do balão com o valor dos ângulos internos e comprimento das retas. Já o grupo R2 relacionou o volume do balão com o valor dos ângulos internos do triângulo e sua soma, além de perceber que as retas não seriam mais paralelas. Enquanto o grupo R3 relacionou a curvatura da superfície do balão com regras de geometria (mas não as citou) e o grupo R4 e R5 relacionaram o volume do balão com as medidas realizadas na atividade, tanto os ângulos como os comprimentos.

2º ANO

R1: Com o enchimento do balão, as medidas aumentam, tanto da reta quanto dos ângulos.

R2: Na medida que o balão vai enchendo o comprimento da reta foi aumentando. As medidas dos ângulos variaram, assim como a soma.

R3: A medida que o balão é enchido suas medidas, tanto das retas quanto dos ângulos aumentam. Assim, a soma dos ângulos internos se torna maior que 180° .

R4: As retas continuam paralelas, porém o comprimento da reta aumenta de acordo com que o volume do balão aumenta. O triângulo sofre alteração nos seus ângulos, de acordo com o aumento do volume os ângulos aumentaram, fazendo com que a soma dos ângulos fique acima de 180° .

Todos os grupos relacionaram o volume do balão com as medidas realizadas na atividade, tanto os ângulos como os comprimentos.

3º ANO

R1: As linhas tiveram um aumento em seu comprimento, ficando curvas e não paralelas. A soma dos ângulos internos do triângulo no espaço curvo deu mais que 180° .

R2: A soma dos ângulos internos de um triângulo não é sempre 180° . Quanto maior fica o balão (universo) maior também ficara a soma dos ângulos internos e das retas.

R3: A medida que o balão vai enchendo a reta vai aumentando de acordo com a sua curvatura.

R4: Em um espaço curvo não se aplica o postulado de Euclides o qual estabelece que a soma dos ângulos internos de um triângulo é 180° . As retas que em uma superfície plana eram paralelas, no espaço curvo perdem essas características, além disso, adquirem tamanhos diferentes.

R5: Conclui-se que, quanto mais enche o balão, as retas acabam se tornando não paralelas, e os ângulos internos do triângulo aumentam.

Todos os grupos relacionaram o volume do balão com as medidas realizadas na atividade, tanto os ângulos como os comprimentos. E o grupo R4 fez menção explicitamente ao espaço euclidiano.

A atividade experimental, entre todas as atividades da SD, foi a que representou uma novidade para os alunos, pois a escola não possui laboratório e os estudantes nunca são expostos a esse tipo de atividade. Conversando com eles durante a atividade foi possível perceber, que eles nunca haviam feito um relatório experimental antes.

A atividade exigia a participação do grupo, pois era necessário que eles realizassem o experimento, medissem e anotassem os dados, e preenchessem as tabelas. Apesar da dificuldade em escrever o relatório, o objetivo foi alcançado, pois eles conseguiram perceber a existência de uma geometria para o espaço curvo

Tab. 15 Categorização das conclusões dos estudantes com relação à atividade do balão.

Turma	Resposta	Grupos	Percentual (%)
1º ano	Relacionaram o volume do balão com as medidas realizadas na atividade, tanto os ângulos como os comprimentos.	5	100
2º ano	Relacionaram o volume do balão com as medidas realizadas na atividade, tanto os ângulos como os comprimentos.	4	100
3º ano	Relacionaram o volume do balão com as medidas realizadas na atividade, tanto os ângulos como os comprimentos.	5	100

diferente do que eles estavam acostumados, e que é a geometria euclidiana é válida para o espaço plano. Com essa atividade os alunos puderam construir uma visão melhor sobre o significado da curvatura do espaço na presença de corpos massivos.

Atividade 5 – Questionário Final

Esse questionário foi planejado para ser utilizado após a realização de todas as atividades citadas anteriormente e tinha como objetivo verificar se as metas do trabalho foram atingidas. Algumas perguntas são idênticas às contidas no questionário inicial, o que possibilitou uma análise na mudança e na ampliação dos subsunçores dos estudantes.

As tabelas a seguir mostram os resultados para essa atividade, questão a questão.

A questão 1 teve como objetivo comparar se o aluno assimilou a informação de que, Einstein é o responsável principal pela criação da Teoria da Relativi-

Tab. 16 Questão 1 – Quais as contribuições científicas relacionadas à Albert Einstein?

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Teoria da Relatividade	22	88
	Conceitos de espaço e tempo	3	12
2º ano	Teoria da Relatividade	12	60
	Conceitos de espaço e tempo	8	40
3º ano	Teoria da Relatividade	20	83
	Teoria da Relatividade e Bomba atômica	3	13
	Não sabe.	1	4

dade. Embora não fosse exigida uma explicação, pode-se observar que quase todos os alunos responderam Teoria da Relatividade ou conceitos de espaço e tempo. Apenas um aluno no 3º ano não soube responder a questão de forma correta. Outro fato interessante é, que 13% dos alunos dessa mesma turma ainda consideram que o responsável pela bomba atômica foi Albert Einstein.

A questão 2 teve como objetivo verificar se o aluno compreendeu que as ideias de Einstein se aplicam a situações diferentes e mais gerais, como as discutidas na Mecânica Clássica. A maior parte dos alunos afirmou, que a Teoria da Relatividade é uma complementação das Leis de Newton ou que é aplicada em situações diferentes, associando-se com referenciais não inerciais. Foi possível perceber uma mudança muito significativa, pois no questionário inicial nenhum aluno soube dizer, por exemplo, em qual situação as leis de Newton não são aplicadas.

A questão 3 teve como objetivo analisar se o aluno assimilou a ideia de que a visão de Einstein modificou o conceito de espaço e tempo absolutos, defendida por Newton. Pode-se observar, que a maior parte dos alunos compreendeu que Newton acreditava num espaço absoluto, imutável, e que Einstein modificou a ideia para um espaço-tempo relativo. Uma pequena parcela diferenciou as ideias

Tab. 17 Questão 2 – A Teoria da Relatividade prova que as leis Newton estavam erradas? Justifique.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Entendem que a Teoria de Relatividade é uma complementação e se aplica a situações diferentes.	20	68
	Entendem que a Teoria da Relatividade mudou os conceitos físicos sobre espaço e tempo.	5	20
	Inconclusivos	3	12
2º ano	Entendem que a Teoria da Relatividade é uma complementação e se aplica a situações diferentes.	11	52
	Entendem que a Teoria da Relatividade mudou os conceitos físicos sobre espaço e tempo.	9	42
	Inconclusivos	1	6
3º ano	Entendem que a Teoria da Relatividade é uma complementação e se aplica a situações diferentes.	20	83
	Entendem que a Teoria da Relatividade mudou os conceitos físicos sobre espaço e tempo.	1	4
	Não sabe.	3	13

usando conceitos de curvatura do tecido cósmico e outra pequena parcela ainda não conseguiu responder a pergunta.

Essa questão tem certa relação com a questão 2, onde os alunos responderam que a Teoria da Relatividade se aplica a situações diferentes. Assim, as Leis de Newton continuam válidas nas situações do dia a dia. Na questão 3, os alunos responderam sobre a mudança conceitual a respeito do tempo.

A questão 4 volta a apresentar a possibilidade de uma viagem no tempo. Dessa vez, a maior parte dos alunos relacionou a passagem do tempo com a velocidade com que o corpo se move. Porém, alguns alunos disseram que para viajar

Tab. 18 Questão 3 – Qual a diferença entre a visão de espaço e tempo de Newton e de Einstein?

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Diferenciam as ideias de Newton e Einstein sobre o espaço e o tempo. Onde para Newton era absoluto e para Einstein era relativo.	20	80
	Diferenciam as ideias de espaço e tempo com base na curvatura do espaço-tempo	1	4
	Não responderam/inconclusivas	4	16
2º ano	Diferenciam as ideias de Newton e Einstein sobre o espaço e o tempo. Onde para Newton era absoluto e para Einstein era relativo.	18	86
	Diferenciam as ideias de espaço e tempo com base na curvatura do espaço-tempo	1	5
	Não responderam	2	9
3º ano	Diferenciam as ideias de Newton e Einstein sobre o espaço e o tempo. Onde para Newton era absoluto e para Einstein era relativo.	18	75
	Diferenciam as ideias de espaço e tempo com base na curvatura do espaço-tempo	2	9
	Não responderam/inconclusivas	4	16

no tempo o corpo deve se mover mais rápido que a luz.

Uma outra parte dos alunos disse que a viagem no tempo só é possível fora da Terra, provavelmente baseados nos experimentos mentais de Einstein, onde o exemplo era uma nave, enquanto que outros viram essa possibilidade através de um buraco negro.

Uma parcela pequena de alunos ainda continua acreditando não ser possível a viagem no tempo para o futuro nem para o passado.

Tab. 19 Questão 4 – Você acha que é possível viajar no tempo? Como?

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Relacionam a possibilidade viajar no tempo se movendo em velocidade próxima a velocidade da luz ou acima dela.	20	82
	Não souberam responder	3	10
	Entendem que não é possível viajar no tempo	2	8
2º ano	Relacionam a possibilidade viajar no tempo se movendo em velocidade próxima a velocidade da luz ou acima dela.	17	81
	Entendem que não é possível viajar no tempo	1	5
	Não souberam responder	3	14
3º ano	Relacionam a possibilidade viajar no tempo se movendo em velocidade próxima a velocidade da luz ou acima dela.	10	42
	Entendem que não é possível viajar no tempo	4	17
	Não souberam responder	10	41

A questão 5 também se repete nesse questionário para verificação de mudanças nos subsunçores. Mais de 74% dos alunos mostrou entender que a velocidade da luz é o máximo de velocidade possível na natureza. A mudança foi muito considerável. Porém, uma pequena parcela de estudantes ainda acredita que não existe uma velocidade limite. Essa parcela coincide com a parcela que respondeu, na questão anterior, que para viajar no tempo o corpo deve se mover mais rápido que a luz.

Alguns alunos disseram que a velocidade da luz é o limite até o momento, o que mostra a percepção do caráter de modelo científico que pode se alterar à medida que a ciência avança.

A questão 6 está relacionada com a questão do trem sem janelas do questionário inicial e também com a atividade da bomba no elevador, mas dessa vez

Tab. 20 Questão 5 – Existe algum limite na natureza para a velocidade?

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Entendem que a velocidade da luz é o limite de velocidade na natureza.	20	80
	Não sabem	2	8
	Não existe limite	3	12
2º ano	Entendem que a velocidade da luz é o limite de velocidade na natureza.	19	90
	Não sabem	2	10
3º ano	Entendem que a velocidade da luz é o limite de velocidade na natureza.	18	74
	Não sabem	3	13
	Não existe limite	3	13

pergunta-se diretamente o que o aluno entende por PE. Mais uma vez houve considerável mudança conceitual, com mais de 57% dos alunos entendendo que a aceleração e o campo gravitacional são equivalentes, não sendo possível diferenciá-los.

Outra resposta que apareceu com frequência foi a relação entre massa inercial e gravitacional, sendo que esse conteúdo não foi tratado na SD.

Tab. 21 Questão 6 – O que você entende por Princípio de Equivalência?

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Entendem que os efeitos da aceleração e do campo gravitacional são iguais.	17	68
	Entendem que a massa inercial e gravitacional são equivalentes.	5	20
	Não entendem o princípio de equivalência	3	12
2º ano	Entendem que os efeitos da aceleração e do campo gravitacional são iguais.	12	57
	Entendem que a massa inercial e gravitacional são equivalentes.	5	24
	Não entendem o princípio de equivalência	4	19
3º ano	Entendem que os efeitos da aceleração e do campo gravitacional são iguais.	19	79
	Não entendem o princípio de equivalência	5	21

Tab. 22 Questão 7 – Explique como a lua se mantém em órbita ao redor da Terra.

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Define atração gravitacional como uma força de ação a distância entre os corpos.	12	48
	Define atração gravitacional como uma perturbação no espaço tempo.	13	52
2º ano	Define atração gravitacional como uma força de ação a distância entre os corpos.	8	38
	Define atração gravitacional como uma perturbação no espaço tempo.	11	52
	Não sabem	2	10
3º ano	Define atração gravitacional como uma força de ação a distância entre os corpos.	16	66
	Define atração gravitacional como uma perturbação no espaço tempo.	4	17
	Não sabem	4	17

A questão 8 é mais uma que se repete. Dessa vez o conceito não foi consideravelmente modificado na turma do 3º ano. Notamos que a maioria dos alunos ainda pensa de acordo com a Teoria de Newton para a gravitação. No 1º e no 2º ano já foi possível observar que mais de 50% dos alunos tentou explicar a atração entre corpos utilizando o conceito de perturbação no espaço tempo, que gera uma deformação no tecido cósmico.

Tab. 23 Questão 8 – O que você acha que é um buraco negro?

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Corpo muito massivo que gera um campo gravitacional que deforma tanto o espaço tempo que nem a luz consegue escapar.	16	64
	Estrela morta que possui grande massa concentrada, gerando um campo gravitacional intenso que nem a luz consegue escapar.	5	20
	Buraco no espaço que nada consegue escapar	4	16
2º ano	Corpo muito massivo que gera um campo gravitacional que deforma tanto o espaço tempo que nem a luz consegue escapar.	8	38
	Estrela morta que possui grande massa concentrada, gerando um campo gravitacional intenso que nem a luz consegue escapar.	7	33
	Buraco no espaço que nada consegue escapar	6	29
3º ano	Corpo muito massivo que gera um campo gravitacional que deforma tanto o espaço tempo que nem a luz consegue escapar.	4	17
	Estrela morta que possui grande massa concentrada, gerando um campo gravitacional intenso que nem a luz consegue escapar.	6	25
	Buraco no espaço que nada consegue escapar	7	29
	Buraco que surge da morte de uma estrela	2	8
	Região no espaço que atrai tudo	5	21

A questão 8 também se encontra no questionário inicial. Pode-se observar que aparece uma quantidade maior de respostas onde os conceitos foram modificados. Embora uma grande quantidade de alunos ainda pense que o buraco negro é um buraco, podemos notar que muitos alunos descreveram o buraco negro como um corpo massivo e que sua massa se concentra em pequenas dimensões, gerando deformações enormes no espaço tempo. Muitos ainda citaram que nem a luz conseguiria escapar de tais regiões.

Uma outra parcela entende que tais buracos se originam de estrelas mortas, evento conhecido como supernova.

Tab. 24 Questão 9 – O que você entende sobre a Teoria do Big Bang?

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Entendem que o Big Bang é uma expansão que deu origem ao universo.	8	32
	Entendem que o Big Bang é uma explosão que deu origem ao universo	13	52
	Teoria que explica como o Universo surgiu	4	16
2º ano	Entendem que o Big Bang é uma expansão que deu origem ao universo.	8	38
	Entendem que o Big Bang é uma explosão que deu origem ao universo	9	43
	Teoria que explica como o Universo surgiu	4	19
3º ano	Entendem que o Big Bang é uma expansão que deu origem ao universo.	5	21
	Entendem que o Big Bang é uma explosão que deu origem ao universo	14	56
	Teoria que explica como o Universo surgiu	3	13
	Não sabe	2	10

A questão 10 também se repete. Os conceitos foram consideravelmente modificados, visto que, inicialmente quase nenhum aluno havia citado o surgimento do universo como uma expansão, mas sim como se fosse uma explosão.

Portanto, mesmo que mais de 50% dos alunos ainda descreva o Big Bang como uma explosão, é possível observar que mais de 20% já tenha formado conceito de expansão e que a Teoria do Big Bang é só um nome mal colocado.

Tab. 25 Questão 10 – Você acha que os tópicos de Teoria de Relatividade deveriam ser estudados no ensino médio?

Turma	Resposta	Nº de alunos	Percentual (%)
1º ano	Acreditam que sim, pois aumentam o conhecimento do estudante sobre o universo.	13	52
	Acreditam que sim, pois é uma Física atual e mais interessante.	10	40
	Acreditam que não, pois o assunto é muito complexo	2	8
2º ano	Acreditam que sim, pois aumentam o conhecimento do estudante sobre o universo.	10	48
	Acreditam que sim, pois é uma Física atual e mais interessante.	10	48
	Acreditam que não, pois o assunto é muito complexo	1	4
3º ano	Acreditam que sim, pois aumentam o conhecimento do estudante sobre o universo.	10	42
	Acreditam que sim, pois é uma Física atual e mais interessante.	10	42
	Acreditam que não, pois o assunto é muito complexo, além de não ser cobrado no vestibular.	4	16

Finalizando as atividades da sequência didática, após um mês, os alunos conseguiram assimilar bem os conceitos de Teoria da Relatividade abordados na

SD. A maioria dos estudantes acredita que o conteúdo estudado pode ampliar seu conhecimento sobre o universo. Alguns disseram que uma reformulação do programa de Física deveria ser feita, e como esses conceitos são atuais e mais interessantes, deveriam ser incluídos numa nova proposta.

Como era esperado, uma parte, embora pequena, pensa que a Teoria da Relatividade é muito complexa para ser estudada no Ensino Médio. Tal interpretação apareceu num percentual maior no 3º ano. Outros alunos disseram que não deveríamos estudá-la devido ao fato de não fazer parte do conteúdo previsto no Enem.

Questão 11: Para finalizar, deixe seu comentário acerca do projeto realizado na escola sobre a Teoria da Relatividade

A questão que finaliza a sequência didática tem como objetivo verificar a impressão dos alunos acerca do projeto de forma holística. Seguem abaixo, algumas respostas dos estudantes.

“O projeto nos permitiu entender um pouco melhor o que ouvimos sempre em documentários, conhecer mais sobre o universo, sobre como este surgiu, sobre buracos negros, desvendando-os e derrubando muitos mitos.”

“O projeto realizado foi muito interessante. Envolvendo cientistas os quais muitos conheciam apenas pelas características?comuns, as quais a sociedade diz, por exemplo, Einstein o cientista da “língua pra fora”. Apenas se sabia isto, e com o projeto realizado se aprofundou o conhecimento, percebendo sua real e magnífica importância na história da humanidade. Além de deixar muitos cálculos difíceis de lado e vendo novos cálculos os quais por sua vez são mais fáceis.”

“O projeto foi muito bom, aumentou a visão de mundo dos alunos, mostrando as possíveis teorias do surgimento da Terra, assunto que não estudaríamos no 2ºano”.

“Foi muito bom realizar este projeto, pois aprendi novas matérias que não são ensinadas no ensino médio”.

“O projeto foi muito interessante, já que pegou assuntos do cotidiano em que criamos ideias erradas ou então nem pensamos sobre, como Buracos negros, e até mesmo a gravidade”.

“Foi uma ótima ideia e despertou em todos os alunos uma curiosidade que nem todos teriam sobre os temas, além de ser bem interessante”.

“Gostei demais e me identifiquei muito. Vou levar tudo isso para o resto da minha vida, pois o universo ainda é um grande mistério. . .”

“O projeto foi muito bom e produtivo, gostei muito, meu conhecimento agora está mais amplo”.

“O projeto permitiu que temas muitas vezes recorrentes no dia a dia, como o ”tempo é relativo” ou os buracos negros nos filmes, pudessem ser entendidos, em parte, nos seus sentidos físicos, afastando-se da ideia comum e entrando na ciência em si. De uma forma geral foi bastante válido e acrescentou conceitos

antes desconhecidos ou somente mal interpretados ao nosso conhecimento”.

“Eu gostei muito do projeto porque agente vê a diferença da física antiga e a física atual, e que a física atual é mais fácil e mais legal de ser estudada”.

“O projeto fez com que eu pudesse aprender mais sobre o físico Albert Einstein e também entender mais sobre as leis da teoria da relatividade”.

“Foi uma ótima ideia e despertou em todos os alunos uma curiosidade que nem todos teriam sobre os temas, além de ser bem interessante”.

“Eu amei esse trabalho, aprendi muito, coisas que eu não tinha nem noção, e hoje eu posso discutir com alguém sobre o assunto porque eu aprendi”.

“O projeto foi muito bom, pois aprofundou em assuntos que todos tinham vontade de saber mais, mas não tinham o interesse de se aprofundarem sozinhos, devido a sua complexidade, e realizando o projeto, possibilitou que os assuntos estudados dessem maior bagagem de conhecimento, tanto de mundo, quanto científico”.

“O projeto permitiu conhecermos termos e teorias, de maneiras simples, com os quais dificilmente entraríamos em contato com as corretas definições. Além disso, é interessante o estudo da Física além dos livros escolares, permi-

tindo termos noção de conceitos mais atuais”.

“Achei muito interessante pois a teoria da relatividade é algo diferente do que se costuma estudar no ensino médio e também porque estuda a formação do universo”.

“Foi uma boa iniciativa, trazendo um conteúdo a mais ao ensino médio, mesmo não sendo cobrado nos vestibulares mais comuns”.

“O projeto foi muito interessante e trouxe várias novidades as quais talvez nunca teríamos contato. Adorei”.

“Independente da questão de notas, acredito que o projeto tenha sido uma experiência bem proveitosa. As questões abordadas no projeto, os ensinamentos, são assuntos amplamente interessantes e reflexivos. Permitem que as pessoas se interessem mais pela física teórica e pela explicação de diversos fenômenos”

“Achei interessante, porque particularmente gosto de Astronomia, mesmo considerando um assunto muito complexo”.

Atividade 6 – Apresentação Final

O último trabalho, que finalizava a sequência didática, foi a apresentação dos grupos com os temas pré-selecionados.

- Grupo 1: Teoria da Relatividade Restrita
- Grupo 2: Princípio de Equivalência
- Grupo 3: Curvatura do espaço-tempo
- Grupo 4: Buracos Negros
- Grupo 5: Teoria do Big Bang

Nesta apresentação, todos os alunos usaram slides para desenvolver os temas estabelecidos. Um dos grupos usou banners, e o que mais chamou a atenção foi um grupo do 1º ano que ficou com o tema Dilatação do tempo. Os estudantes criaram um pequeno vídeo com super heróis viajando no tempo. Nesse vídeo eles contaram com a participação do professor como vilão, o que mostra a criatividade desse grupo.

Todas as apresentações foram coerentes com o nível exigido, pouquíssimas correções se fizeram necessárias, além de todos obedecerem ao tempo de vinte minutos sugerido para cada apresentação. Com isso verificamos o grande comprometimento dos alunos, o que era necessário para a execução da atividade e construção do conhecimento. Tudo isso contribuiu para o sucesso da SD.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É um fato conhecido que a maioria dos professores trabalha o conteúdo de Mecânica no 1º ano do EM, que com a carga didática reduzida em grande parte das escolas, os professores acabam priorizando os conteúdos da Cinemática. No estado de Minas Gerais a carga horária das escolas públicas consiste em duas aulas de Física semanais, enquanto que a rede particular oferece de 4 a 5 aulas, além de monitorias. Embora o tempo seja reduzido, a SD pode ser incorporada

nas aulas das escolas públicas, levando praticamente 4 semanas para tal aplicação. Essa implementação ofereceria ao professor uma nova abordagem dos conceitos de cinemática.

A presente proposta sugere uma possibilidade de trabalhar o conceito de movimento de uma forma mais ampla, usando as ideias da Teoria da Relatividade. A divisão da SD possibilita que o professor trabalhe apenas o tópico de Teoria da Relatividade Restrita, porém, o ideal seria abordar o conteúdo todo.

Na rede particular de ensino os conceitos de Teoria da Relatividade Restrita são abordados no 3º ano, mas a teoria da Relatividade Geral nem é citada. Já na rede estadual de ensino, os conceitos da TRR podem ser encontrados nos livros didáticos do PNLD, portanto estão acessível a qualquer aluno ou professor.

Enquanto na rede particular, o conteúdo é trabalhado de forma tradicional, devido ao ritmo de cursinho Pré-ENEM, que é predominante nas salas de aula, a SD propõe uma abordagem voltada para atividades em grupo e centrada no desenvolvimento do aluno. Já na rede pública, devido ao tempo reduzido, o professor acaba optando por determinados conteúdos ou abordando-os de forma mais superficial. Assim, a SD seria uma possibilidade de enriquecer as aulas de Mecânica no EM, público ou privado.

A mudança da proposta curricular usual foi bem recebida pelos alunos desde o início e aprovada ao seu término, como pode ser verificado nas falas dos próprios estudantes. Os alunos relataram o que significou para eles participar do trabalho e qual a importância da aquisição dos conhecimentos sobre o mundo. Muitos concluíram que o novo conhecimento amplia a ideia de mundo, além de os tornar mais reflexivos sobre o próprio universo e o seu lugar nessa imensidão ainda desconhecida. Para a maioria, essa foi uma oportunidade única de discutir a Teoria da Relatividade e conhecer as verdadeiras contribuições científicas de Einstein.

Uma colocação muito interessante, e que chamou a atenção, foi a de um aluno ao dizer que mesmo que o tema não seja cobrado nos vestibulares tradicionais e ENEM a iniciativa de mudança foi muito boa. Isso nos faz refletir sobre o Ensino de Física mecanizado e voltado apenas para os vestibulares e ENEM. Muitas vezes essa forma de ensino é falha, não sendo capaz de despertar o interesse e a curiosidade do aluno sobre uma ciência tão interessante como é a Física. E, de fato, o que se observa é que a curiosidade por parte dos alunos se torna cada vez mais rara na sala de aula, transformando o processo de ensino aprendizagem mais difícil e desagradável.

Uma minoria dos estudantes comentou que os conceitos não devem ser trabalhados no Ensino Médio por serem muito complexos. Porém, ao analisarmos os dados e os resultados gerais do trabalho, a conclusão que podemos tirar não é essa. Os significados captados pelos alunos realmente são avançados, mas isso não foi motivo para prejudicar o bom desempenho desses estudantes nas avaliações. Quando comparamos os dados da atividade inicial com os resultados obtidos nas atividades no decorrer da SD e também com os resultados da atividade final, podemos afirmar que esse tipo de trabalho é bastante animador. Mesmo que, muitos alunos utilizem respostas prontas nas atividades, as quais não possibilitam nenhuma verificação de aprendizagem, pudemos perceber uma parcela considerável que assimilou o novo conhecimento, modificando seus subsunçores, evidenciados na atividade inicial.

As atividades se mostraram bem-sucedidas, partindo do questionário inicial até a atividade final, pois inferiu-se uma mudança muito grande nos subsunçores dos alunos e aquisição de novos conhecimentos. A princípio uma minoria conhecia as contribuições de Einstein, e no fim quase todos sabiam que o físico alemão escreveu a Teoria da Relatividade. Nenhum aluno conhecia os conceitos

de espaço e tempo segundo a Teoria da Relatividade, e no final já sabiam que não eram absolutos, como pensava Newton. Poucos alunos conheciam um limite de velocidade na natureza, e no fim entendiam que a velocidade da luz no vácuo é o limite. A maioria dos estudantes conhecia a Teoria da Gravitação Universal de Newton, pode-se ver que esse era um subsunçor quase unânime, e tiveram a oportunidade de ampliá-lo, entendendo agora, como se comporta o tecido cósmico na presença de massa. Com isso puderam perceber, e perceberam, que novas Teorias da Física apenas ampliam as anteriores, e que a Teoria da Relatividade não mostra que as ideias de Newton estavam erradas, e sim que existe um limite para aplicá-las. Na Teoria da Relatividade Geral os alunos apenas somaram mais conhecimento, visto que os conceitos não foram modificados, em sua maioria. Compreenderam melhor conceitos como Princípio de Equivalência, Buracos Negros e a Teoria do Big Bang. Esses conceitos foram praticamente corrigidos, pois muitos pensavam que buracos negros eram buracos e que o Big Bang foi uma explosão. Assim, saíram dessa SD compreendendo que buracos negros são regiões com enorme concentração de massa que deformam muito o espaço-tempo e que o Big Bang foi uma expansão e não uma explosão.

Ainda, dentro do trabalho de pesquisa realizado, foi necessário buscar e pensar em como ensinar os conceitos de FMC para alunos do Ensino Médio. Foi uma tarefa árdua, pois a matemática seria muito avançada para os alunos. As ideias começaram a surgir a partir do contato com o livro *Mangá de Relatividade* (NITTA, YAMAMOTO, TAKATSU, 2011) e da percepção que poderia utilizar um formato diferente do tradicional e propor uma SD toda voltada para atividades em grupo, explorando muitos vídeos e imagens.

A princípio, foi suposto que os alunos não aceitariam comprar os livros, mas isso foi fácil de resolver, pois maioria dos alunos da escola pertencem à classe

média, e recursos financeiros não foram um problema. Um outro problema enfrentado foi fazer com que os alunos fossem honestos nas atividades, respondendo realmente aquilo que sabiam, sem se preocuparem com a resposta estar ou não correta, caso contrário os resultados não seriam confiáveis. Nada como uma boa conversa e um contrato professor-aluno para resolver tudo isso. Assim, tudo correu bem e os alunos compareceram em todas as aulas para que as atividades fossem realizadas nas datas previstas.

Um problema, talvez o mais complicado, foi aplicar a atividade no 3º ano, próximo a realização do Enem. Todo 3º ano é ansioso por natureza devido a pressão de término da vida escolar, escolha do curso e faculdade, e é claro: o próprio ENEM. Para alguns, a preparação para a faculdade começa muito cedo, e talvez essa pressão seja desnecessária de ser colocada nos ombros de um adolescente. Como esperado, a dedicação e interesse foram menores nessa turma, o que é aceitável, mas nada que comprometesse a execução do projeto.

8 VISÃO PESSOAL FINAL

Todos os anos, como professor de Física, revisito os conceitos de Física na sala de aula e sempre os encaro de forma diferente. A interação com os alunos modifica tanto minha desenvoltura didática como meu conhecimento científico, ou seja, a cada dia eu modifico a minha condição de professor. As aulas sobre Relatividade me colocaram novamente na posição de aprendiz, pesquisei e estudei muito sobre a vida de Einstein, sobre suas contribuições e sobre a Teoria da Relatividade. Embora seja antigo meu interesse por Relatividade, o excesso de aulas nunca me permitia ler e estudar mais sobre o assunto. E foi desenvolvendo esse trabalho, no Mestrado, que tive essa oportunidade de aprofundar sobre meu tema preferido na Física: A Teoria da Relatividade.

Pude verificar, que meus últimos anos em sala de aula não passaram de reprodução de conteúdo de apostilas. Isso realmente destrói a vontade de mudança que herdamos da época de graduação. O modelo de avaliação das escolas não me permitia executar nenhuma avaliação que não fosse apenas prova tradicional.

Posso dizer que o Mestrado em Ensino de Física contribuiu muito, em diversos aspectos, para a minha formação. Possibilitou uma ampliação dos meus conhecimentos e dos conhecimentos dos alunos, além de despertar a curiosidade dos estudantes, o que é raro hoje em dia. Mostrou que é possível ensinar FMC para adolescentes em um nível acessível para tal idade. Dessa forma, o ensino de Física se torna mais interessante, renova-se o currículo e inova-se as aulas tradicionais. Como consequência, o interesse pela ciência e pela reflexão podem aparecer com mais frequência nas escolas tornando o futuro de muitos alunos mais promissor.

Referências

- [1] AZEVEDO, S. S. M., SCHRAMM, D. U. S., SOUZA, M. O. *Jogando com a Física: uma experiência na sala de aula*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA – SNEF 2015, 21., 2015, Uberlândia. **Simpósio**. Uberlândia: Livraria da Física, 2015.
- [2] BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1977.
- [3] BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnologia. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio – Ciência da Natureza Matemática e Suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação; Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999.
- [4] CHIZZOTTI, A. *Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais*. São Paulo: Cortez, 1991.
- [5] CORDEIRO, L. F. *Física: Ensino Médio*. Curitiba: Positivo, 2011.
- [6] DAN, B. Pgp-modern Physics. *Gravity Visualized*. Acessado em 20/06/2014. Disponível em: <<http://prettygoodphysics.wikispaces.com/PGP-Modern+Physics>>.
- [7] EINSTEIN, A. *A Teoria da Relatividade Especial e Geral*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999. Tradução de: Carlos Almeida Pereira.
- [8] FAGUNDES, H. V. *Teoria da Relatividade: no nível matemático do ensino médio*. São Paulo: Livraria da Física, 2009.
- [9] FRANCO, M. L. P. B. *Análise de Conteúdo: abordagens qualitativas*. Brasília: Liber Livro Editora Ltda, 2012.

- [10] GAZZINELLI, R. *Quem tem medo da Física Quântica?* Belo Horizonte: UFMG, 2013.
- [11] GREENE, B. *O Universo Elegante: Supercordas, dimensões ocultas e a busca da teoria definitiva.* São Paulo: Companhia da Letras, 2001. Tradução de: José Viegas Filho.
- [12] LÜDKE, M., ANDRÉ, M. E.D.A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas.* São Paulo: EPU, 1986.
- [13] MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais. Proposta Curricular – CBC: Ensino Médio - Física. 2006. Disponível em: <[http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/index.aspx?&usr=pub&id_projeto=27&id_objeto=39035&id_pai=38935&tipo=txg&n1;=&n2=Proposta Curricular - CBC&n3=Ensino Médio&n4=Física&b=s&ordem=campo3&cp=780031&cb=mfi](http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/index.aspx?&usr=pub&id_projeto=27&id_objeto=39035&id_pai=38935&tipo=txg&n1;=&n2=Proposta%20Curricular%20-%20CBC&n3=Ensino%20M%C3%A9dio&n4=F%C3%ADsica&b=s&ordem=campo3&cp=780031&cb=mfi)>. Acesso em: 20 out. 2014.
- [14] MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais. Reinventando o Ensino Médio. 2014. Disponível em: <[https://www.educacao.mg.gov.br/images/stories/noticias/2013/Julho/17-07-13_ -_ reinventado_ ensino_ Medio_ WEB.pdf](https://www.educacao.mg.gov.br/images/stories/noticias/2013/Julho/17-07-13_-_reinventado_ensino_Medio_WEB.pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2014.
- [15] MOREIRA, M. A. *Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares.* São Paulo: Livraria da Física, 2011.
- [16] MOREIRA, M. A. *Metodologias de Pesquisa em Ensino.* São Paulo: Livraria da Física, 2011.
- [17] NITTA, H., YAMAMOTO, M., TAKATSU, K. *Guia Mangá Relatividade.* São Paulo: Novtec, 2011

- [18] OSTERMANN, F., MOREIRA, M. A., Uma Revisão Bibliográfica sobre a Área de Pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre: v. 5, n. 1, p.23-48, 2000.
- [19] PIRES, A. S. T. *Evolução das Ideias da Física*. São Paulo: Livraria da Física, 2008.
- [20] SOUZA, R. E. *Introdução à Cosmologia*. São Paulo: Edusp, 2004.
- [21] STANNARD, R. *Modern physics for the young*. *Physics Education*, Bristol, v. 25, n. 3, p. 133, May 1990.
- [22] TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez.1992.

ANEXO A

A seguir está apresentada a autorização da Editora Novatec para o uso dos trechos do livro Guia Mangá de Relatividade.

Joseil Carvalho Freire

Para novatec@novatec.com.br

Mar 22

Olá,

Meu nome é Joseil e sou mestrando em ensino de Física na UFLA. No meu trabalho desenvolvo uma sequência didática sobre Teoria da Relatividade e uso várias ferramentas e materiais pedagógicos. Um deles é um livro da editora Novatec "Guia Manga de Relatividade" dos autores Hideo Nitta, Masafumi Yamamoto, Keita Takatsu. Envio em anexo a imagem da compra que fiz de 16 exemplares, que foram divididos em 4 grupos de alunos, além de 8 exemplares adquiridos pelos próprios alunos. TODOS usaram livros originais!

Solicito da editora Novatec a permissão para utilizar trechos do livro no texto da minha dissertação, todo material possui caráter educacional e pedagógico.

Desde já, agradeço!

Prof. Joseil,

Bom dia!

Agradecemos o seu contato e mensagem com as informações sobre o livro.

Para a utilização de trechos na sua tese de dissertação, precisamos que você nos indique os trechos, nós enviaremos para autorização das editoras estrangeiras, e após retornaremos a você. Se for um pequeno trecho, a própria lei de Direitos Autorais autoriza, como um parágrafo, no caso dois ou três quadradinhos, e você pode usá-lo com a devida referência, sem a necessidade de autorização. Mas se você precisar usar mais do que isso, precisaremos pedir autorização para as editoras estrangeiras.

Assim que você tiver os trechos, por favor me envie, e pedirei a autorização.

Obrigada,



Ana Carolina Prates

Novatec Editora
Tel: (11) 2976-8773

www.novatec.com.br

• **Joseil Carvalho Freire**

Mar 25 *

Para Ana Carolina Prates

Olá Sra. Ana Carolina,

Como disse anteriormente, eu gostaria de inserir na minha dissertação apenas as páginas que utilizei como atividade de grupo. Vale frisar que o professor que utilizar a sequência didática deve comprar o livro como eu o fiz diante de todos os grupos de estudantes.

as páginas são:

I) 54 a 63

II) 64 a 77

III) 82 a 105

IV) 120 a 132

Obrigado!

• **Ana Carolina Prates**

Abr 20 *

Para Joseil Carvalho Freire

Olá Prof. Joseil

Me desculpe a demora, na verdade achei que já havia respondido em a semana passada não estava na editora.

Sim, pode usar essas páginas com a devida referência à obra.

Obrigada,



Ana Carolina Prates

Novatec Editora

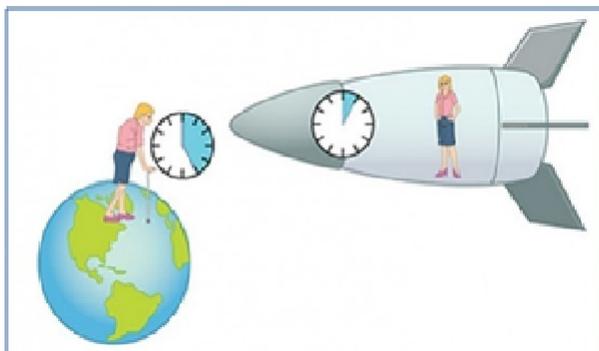
Tel: (11) 2976-8773

www.novatec.com.br

APÊNDICE A

Atividade 1: Questionário Investigativo

1. Você conhece alguma contribuição científica relacionada à Albert Einstein?
Se a resposta for sim, qual?
2. No dia a dia é comum as pessoas usarem o termo “o tempo é relativo”. O que você entende por isso?
3. Quantas dimensões existem? Quantas são necessárias para localizar um corpo numa determinada região?
4. Você acha que é possível viajar no tempo? Como?
5. Será que existe algum limite para a velocidade que um móvel pode alcançar? Se existe, qual é?
6. Suponha que você esteja viajando num trem, que não possua janelas, numa estrada perfeitamente plana. Como você saberia se o trem está em movimento?
7. Quem é responsável por manter a Lua orbitando a Terra?
8. Você já ouviu falar sobre buraco negro? O que você acha que é um buraco negro?
9. Você já ouviu falar sobre a Teoria do Big Bang? O que você entende sobre essa expressão?
10. Você acha que existe alguma limitação para as Leis de Newton? Em caso afirmativo, quais são- elas?



Atividade 2: Paradoxo Dos Gêmeos

Dois gêmeos, Ana e Renan, fazem a seguinte experiência: Ana parte da Terra numa astronave, com destino a uma estrela distante, enquanto Renan permanece na Terra. Ao retornar, a viajante (Ana) encontra com o gêmeo que ficou na Terra e observa que este está alguns anos mais velho do que ela.

Considere que a viagem foi realizada da Terra até a estrela α -Centauri, situada a distância de 4 anos-luz do nosso planeta. Ana parte para α -Centauri à velocidade de $0,8c$, e retorna com a velocidade de mesmo módulo. Além disso, despreze o movimento da Terra em relação ao sol e considere a Terra e α -Centauri fixas no referencial de Renan.

- Como se explica isso no contexto da Teoria da Relatividade?
- Determine a diferença de idade dos dois gêmeos após o retorno.
- Se o referencial fosse a nave de Ana quem estaria em movimento? Assim, como seria a passagem do tempo para Ana e Renan?

Atividade 3: A Bomba no Elevador

Imagine que estamos no ano 2060 e que você é o principal perito em explosivos do BOPE, razão pela qual acaba de receber uma chamada telefônica urgente para

investigar o que parece ser uma sofisticada bomba deixada no coração do Rio de Janeiro, onde se encontram milhares de inocentes. Você corre para o local, examina o artefato e confirma o seu pior pressentimento: é uma bomba nuclear tão poderosa que, mesmo que fosse enterrada nas profundezas da Terra, ou jogada no fundo do mar, o dano causado pela sua explosão seria catastrófico. Depois de estudar atentamente o mecanismo de detonação, você verifica que não há nenhuma esperança de desarmá-la e ainda por cima descobre um outro detalhe: a bomba está montada sobre uma balança e se o peso por ela registrado variar mais de cinquenta por cento em qualquer sentido, a bomba explode. O mecanismo de tempo revela que você tem apenas uma semana para agir. O destino de milhões de pessoas depende de você — que fazer? Sabendo que não há nenhum lugar, nem na superfície da Terra, nem no seu interior, em que o artefato pudesse ser detonado com segurança, você parece ter apenas uma opção: lançar a bomba nas profundezas do espaço exterior, onde a explosão não causará nenhum mal. Porém, dois agentes levantam as seguintes opiniões:

Agente Newton:

"À medida que a bomba se afaste no espaço, o seu peso diminuirá com a diminuição da atração gravitacional da Terra. Com isso, o peso registrado na balança também diminuirá, o que levará a bomba a explodir bem antes de alcançar a segurança do espaço profundo.

Agente Einstein:

"Para lançar a bomba no espaço precisamos colocá-la em um foguete. À medida que o foguete acelera verticalmente, o registro do peso na balança aumentará, e isso também causará a explosão prematura da bomba. A base da bomba pressionará a balança com maior força, do mesmo modo como o seu corpo pres-

siona com maior força o assento do seu carro quando você o acelera. A bomba comprimirá a balança, o registro do peso aumentará e o artefato explodirá quando esse aumento chegar a cinquenta por cento.”

E agora? Como você resolveria esse problema?

Atividade 4: Atividade experimental

Curvatura do Espaço-tempo utilizando um balão

Nessa atividade os alunos devem explorar a construção de figuras geométricas na nova superfície e compará-las ao espaço plano de Euclides. Serão construídas, com o balão vazio, duas retas paralelas e um triângulo. Em seguida, com o balão inflado, os alunos realizarão medidas dos ângulos e arestas dos triângulos, além de observarem o paralelismo das retas iniciais. Temos dois objetivos com esta atividade: primeiro, o aluno deve verificar a diferença nas medidas das figuras nos dois tipos de superfície; segundo, os alunos devem ser capazes de relacionar esse comportamento do balão ao tecido do cosmos, tanto na sua curvatura quanto na sua expansão, que será explorada na aula seguinte.

Objetivos

- Compreender a curvatura do espaço-tempo em duas dimensões.
- Verificar o comportamento de figuras geométricas no espaço curvo.
- Relacionar o comportamento geométrico do balão com o universo.

Materiais

- Balão big, Canetinhas;
- Transferidor, Régua.

Procedimentos

- 1 Com o balão vazio, desenhe duas retas paralelas, e de mesmo comprimento, usando a canetinha e a régua. Meça o seu comprimento. Anote os dados na tabela do final da atividade.
- 2 Do outro lado do balão desenhe um triângulo qualquer. Enumere os vértices desse triângulo e meça os ângulos internos com o transferidor. Anote os dados.
- 3 Em seguida encha o balão de ar e meça novamente os comprimentos das retas e dos ângulos internos do triângulo desenhado. Anote os valores nas medidas 2,3 e 4.
- 4 Encha mais um pouco o balão, meça novamente os comprimentos das retas e dos ângulos internos do triângulo desenhado. Anote os valores nas medidas 2,3 e 4. Repita o procedimento mais uma vez.
- 5 As retas paralelas desenhadas no início permanecem paralelas após encher o balão?

Medida	Comprimento da reta(cm)	Ângulo 1(°)	Ângulo 2(°)	Ângulo 3(°)	Soma dos ângulos internos
1 (balão vazio)					
2 (balão cheio)					
3 (balão cheio)					
4 (balão cheio)					

CONCLUSÕES

Atividade 5: Questionário Final - Avaliação da Sequência Didática

1. Quais as contribuições científicas relacionadas à Albert Einstein?
2. A Teoria da Relatividade prova que as leis Newton estavam erradas? Justifique.
3. Qual a diferença entre a visão de espaço e tempo de Newton e de Einstein?
4. Você acha que é possível viajar no tempo? Como?
5. Existe algum limite na natureza para a velocidade?
6. O que você entende por Princípio de Equivalência?
7. Explique como a lua se mantém em órbita ao redor da Terra.
8. O que você acha que é um buraco negro?
9. O que você entende sobre a Teoria do Big Bang?
10. Você acha que os tópicos de Teoria de Relatividade deveriam ser estudados no ensino médio?
11. Para finalizar, deixe seu comentário acerca do projeto realizado na escola sobre a Teoria da Relatividade.