UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA INTERUNIDADES EM ENSINO DE CIÊNCIAS

**SITUAÇÕES DIDÁTICAS NO ENSINO DA RELATIVIDADE GERAL: ANÁLISE DO
ENGAJAMENTO DOS ALUNOS**

LETICIA ZAGO

São Paulo
Fevereiro de 2018

SITUAÇÕES DIDÁTICAS NO ENSINO DA RELATIVIDADE GERAL: ANÁLISE DO ENGAJAMENTO DOS ALUNOS

LETICIA ZAGO

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO INSTITUTO
DE FÍSICA, INSTITUTO DE QUÍMICA,
INSTITUTO DE BIOLOGIA E À FACULDADE DE
EDUCAÇÃO DA UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
ENSINO DE FÍSICA.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENSINO DE
FÍSICA

ORIENTADORA: PROF^a DR^a LUCIA HELENA

SASSERON

São Paulo

Fevereiro de 2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Zago, Leticia

Situações didáticas no ensino da relatividade geral:
análise do engajamento dos alunos. São Paulo, 2018.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientadora: Profa. Dra. Lúcia Helena Sasseron
Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física – Estudo e ensino; 2. Situações didáticas;
3. Engajamento disciplinar produtivo; 4. Ensino médio;
5. Ensino de relatividade.

USP/IF/SBI-016/2018

Nome: ZAGO, Leticia

Título: Situações Didáticas no ensino da Relatividade Geral: análise do engajamento dos alunos

Dissertação apresentada ao Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biologia e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora:

Titulares

Prof^a. Dr^a Lucia Helena Sasseron

FE – USP

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. Márlon Pessanha

DME/ CECH- UFSCar

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof^a. Dr^a. Maria Inês Ribas Rodrigues

UFABC

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Suplentes:

Prof. Dr. Esmerindo Bernardes

IFSC - USP

Prof^a. Dr^a. Maria Candida Varone de Moraes Cappechi

UFABC

Prof. Dr. Agnaldo Arroio

UFABC

*Dedico a minha vó Elza (in memoriam),
pela inspiração e pela disposição em viver, a
minha mãe Eranice, pelo apoio essencial em
cada momento, a meu pai José, pelo incentivo
desde sempre, a minha filha Clara, pela
compreensão dos momentos em que eu precisei
me dedicar a este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

À minha irmã Karina, por acreditar em mim e por não medir esforços em me ajudar em qualquer coisa. Ao meu irmão William e sobrinhos, Amanda, Bruno, Nicolas e Arthur, por compreender os momentos em que eu levava o trabalho para os almoços de família.

Ao meu cantor favorito Luigi, por me apoiar em cada momento dessa jornada, ouvindo e sugerindo ideias e por me inspirar no design das apresentações. Obrigada pelos momentos em que desviou seus planos, principalmente, para cuidar de nossa filha Clara.

À toda família que sempre estiveram na torcida em cada fase que estive na academia.

À minha “brabuleta” Karyna, por se tornar minha amiga e companheira fundamental em nossa jornada como mestrandas. Obrigada por cada conversa, choro, alegria, noites em claro de estudo, por cada comida, café, paçoca e pão para nos mantermos focadas na missão dissertação. Agora vamos voar amiga...

À minha querida Meg, minha melhor amiga que me incentiva e calcula a velocidade da luz comigo derretendo uma barra de chocolate no micro-ondas. Obrigada por compartilhar tantas ideias e por ouvir meus desabafos. Ainda vamos ouvir muito Eduardo Taddeo e fazer receitas veganas!

À minha roommate da Girls in the House Isabela, por essa grande evolução da nossa vida que essa amizade e convivência tem mostrado. Obrigada por compartilhar a guarda dos nossos filhos gatos, Pacato, Larissa e Jason. Ainda vai ter muito Sound Sisters...

Às amigas-irmãs da república Tapa da Pantera, Julia, Ligia, Nina, Lu Marmis, Leticia Leza, Amora, Elisa, Bebete, por acreditarem em mim, por me ouvirem, apoiarem e me aconselharem. Uma década de amor... Vocês são essenciais!

À minha pisciana amiga do coração Ana, por compartilhar desde a época de cursinho pré-vestibular a vida de estudos, trabalho e filhos. Você é guerreira e me inspira!

À minha amiga e apoiadora Naira, por acreditar nas minhas ideias e no meu potencial profissional. Muitos projetos inovadores surgirão...

Aos meus amigos professores de física Larissa (Sula), Tiago e Tiago, por cederem espaço aos desabafos e trocas de experiências e principalmente por apoiarem esse trabalho.

Aos amigos do LaPEF, por me receberem no grupo de apoio e por cederem espaço para discussões frutíferas nas reuniões, desabafos e pedidos de socorro.

Ao professor Prof. Dr. Esmerindo, pelo inestimável apoio dado em cada etapa deste trabalho, desde a estrutura física até a emocional. Eu não tenho palavras para agradecer tamanho suporte. Obrigada pelas discussões e trocas de ideias que vão muito além da academia.

Ao meu ex-orientador Prof. Dr. Marcelo, por todo caminho trilhado e aprendizado em 5 anos de trabalho de pesquisa.

À minha orientadora Profa. Dra. Lucia Helena Sasseron, por me acolher no meio do percurso e me receber em seu grupo de pesquisa. Obrigada por me guiar nessa jornada e por contribuir para meu crescimento profissional.

RESUMO

ZAGO, L., **Situações Didáticas no ensino da Relatividade Geral: análise do engajamento dos alunos**. Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades Ensino de Física, Universidade de São Paulo, 2018.

Dadas as necessidades da inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e a escassez de materiais didáticos que abordem a Relatividade Geral, propomos a construção e aplicação de uma Sequência Didática sobre o tema com o intuito de responder à questão: como os alunos se engajam em atividades propostas a partir de uma Sequência Didática sobre Relatividade no Ensino Médio? A partir das ideias do Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP) e pela Teoria das Situações Didáticas, elaboramos uma ferramenta para analisar o engajamento dos alunos nas diferentes interações ocorridas na aula sobre Princípio da Relatividade de Galileu. A partir dos resultados podemos observar a importância das interações ocorridas em torno das situações de validação do conhecimento, nos momentos em que os alunos procuram justificar suas hipóteses e quando a professora realiza a sistematização com base no conhecimento científico, pois revelam progresso intelectual do aluno e, portanto, evidências de Engajamento Disciplinar Produtivo. Deste modo fica claro a importância do papel das atividades e ações da professora para estimular o uso de mecanismos de prova por parte dos alunos.

Palavras-chave: Engajamento Disciplinar Produtivo, Situações Didáticas, Ensino da Relatividade, Ensino Médio.

ABSTRACT

ZAGO, L., **Didactic Situations in the teaching of General Relativity: analysis of students' engagement.** Thesis (Master's Degree) – Physics Interunits Teaching Program, São Paulo University, 2018.

Given the needs of the insertion of Modern and Contemporary Physics in High School and the shortage of didactic materials that address General Relativity, we propose the construction and application of a Didactic Sequence on the theme in order to answer the question: How students engage in activities proposed from a Didactic Sequence on Relativity in High School? Based on the ideas of Productive Disciplinary Engagement (DPE) and the Theory of Didactic Situations, we have developed a tool to analyze students' engagement regarding different interactions that occurred in Galileo Principle of Relativity class. According to the results, we could observe the importance of interactions taken around the validation of knowledge, when the students seek to justify their hypotheses and when the teacher performs the systematization based on scientific knowledge, because they reveal student's intellectual progress and, therefore, evidences of Productive Disciplinary Engagement. This makes clear the importance of the role of the teacher's activities and actions to stimulate students' use of proof mechanisms.

.

Keywords: Disciplinary Productive Engagement, Didactic Situations, Relativity Teaching, High School.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Problema de pesquisa e objetivos	18
2. ESTUDOS TEÓRICOS QUE FUNDAMENTAM A PESQUISA	21
2.1. Teoria das Situações Didáticas	21
2.1.1. Tipologia das Situações A-didáticas e a Situação de Institucionalização	27
2.1.2. Associação das situações	30
2.2. Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP)	33
2.2.1. O conceito de EDP	34
2.2.2. Estratégias que favorecem o EDP	37
2.2.3. Relevância do uso do EDP nas pesquisas em ensino de ciências	38
2.3. Tecendo as primeiras aproximações entre a TDS e o EDP	43
3. METODOLOGIA DE PESQUISA	47
3.1. Perfil metodológico	47
3.2. A pesquisa	48
3.2.1. A escola, um contexto	49
3.2.2. Os personagens da sala de aula	50
3.2.3. Preparação e organização das aulas	52
3.2.4. A gravação audiovisual como instrumento de obtenção dos dados	52
3.2.5. Transcrições e Episódios de análise	53
3.2.6. Extraindo os dados da aula 5	55
3.3. Fundamentos da Sequência Didática utilizada	56
3.3.1. Os elementos constituintes da Sequência Didática	57
3.4. A Sequência Didática utilizada	62
4. AS SITUAÇÕES DIDÁTICAS NA SALA DE AULA: UM OLHAR PARA O ENGAJAMENTO DOS ALUNOS	75
4.1. Análise das interações em sala de aula	76
4.1.1. Episódios ocorridos na aula 5	77
4.1.1.1. Momento 1: Retomada das discussões ocorridas no encontro anterior	77
4.1.1.2. Momento 2: Apresentação do problema	79
4.1.1.3. Momento 3: Realização da atividade pelo pequeno grupo	81
4.1.1.4. Momento 4: O que os alunos falam depois que terminar a atividade?	90
4.1.1.5. Momento 5: Intervenção da professora no pequeno grupo	91
4.1.1.6. Momento 6: Reações dos alunos após a intervenção do professor	94
4.1.1.7. Momento 7: Sistematização da atividade pelo professor com o grande grupo	97
4.2. Discussão dos resultados	101
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	143

REFERÊNCIAS	147
APÊNDICE A – Transcrição da aula 5 sobre o Princípio da Relatividade de Galileu	153
APÊNDICE B – Sequência Didática – Atividades do curso “A gravidade de Einstein”	176
APÊNDICE C – Cortes e seleção das cenas do filme Interestelar (Atividade 1)	239
ANEXO A – Pedido de autorização de filmagem	243

1. INTRODUÇÃO

“Não há ensino sem pesquisa e pesquisa sem ensino. Esses que-fazeres se encontram um no corpo do outro. Enquanto ensino continuo buscando, reprocurando. Ensino porque busco, porque indaguei, porque indago e me indago. Pesquisa para constatar, constatando, intervenho, intervindo educo e me educo. Pesquisa para conhecer o que ainda não conheço e comunicar ou anunciar a novidade.” (FREIRE, P. 1996, p.32).

As calçadas de Hollywood serviram inúmeras vezes como palco para passagem de famosos. Na década de 30 houve um momento em que elas presenciaram o encontro de duas grandes personalidades da época, Charles Chaplin e Albert Einstein. Diz a lenda que enquanto circulavam juntos pelas ruas, ambos eram ovacionados pelo público; em certo momento Chaplin comenta com Einstein que aqueles ali presentes aplaudiam o artista pois compreendiam o que ele fazia e aplaudiam o cientista mesmo sem entender o que sua obra significava.

O encontro entre eles realmente aconteceu, mas não sabemos se esta história é verdadeira. Apesar disso, imaginamos que a ideia ainda é válida nos dias atuais. Uma grande parte das pessoas referenciam Einstein como uma figura importante na Física, mas será que sabem ou entendem quais são suas reais contribuições para o conhecimento humano? Ou ainda, será que sabem quais as implicações no dia-a-dia trazidas por seus estudos? Em relação à educação, cabe uma pergunta central (dentre tantas outras possíveis): será que as proposições de Einstein chegam a ser discutidas na educação formal?

Nossa ideia não é entrar no mérito da importância de Einstein, até por que existem muitos outros cientistas dessa época tão importantes quanto ele. O nosso intuito é apontar dois fatores divergentes: o fato dos alunos citarem sua figura e obra como importantes e ao mesmo tempo em que eles terminam o ensino médio, final da educação básica, sem terem contato com as ideias que fundamentam suas teorias.

Imaginamos que apresentar as construções que ocorreram e que fundamentaram a proposição de certos conhecimentos possa auxiliar no rompimento de visões distorcidas sobre o fazer científico e, neste caso em específico, possa ajudar a combater a ideia de que para fazer ciência é requisito ser um gênio, pois se trataria de conhecimento tão difícil e inacessível que não pode ser alcançado pela maioria da população. Esta visão distorcida do trabalho científico como algo individualista e elitista, está ancorada na percepção de que o cientista sempre trabalha de forma isolada, como um gênio que descobriu e resolveu sozinho um mistério, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e cooperativo (GIL-PÉREZ *ET AL.*, 2001).

Albert Einstein é um físico do século XX, ou seja, suas contribuições fazem parte dos conhecimentos modernos. Sabemos que há mais de 20 anos já se tem um consenso da importância, relevância e necessidade da inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; BROCKINGTON, PIETROCOLA, 2005), assim como defendem os documentos oficiais dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). Elementos apontados nas diretrizes deste documento apresentam argumentos favoráveis à renovação curricular no ensino da Física. A perspectiva de que a física contribui para a formação de um “cidadão contemporâneo”, sendo “necessária para compreender e participar do mundo em que vivem” e que permita “perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos” (BRASIL, 2002, pg 59). Além disso, é preciso reconhecê-la como uma construção humana, “impregnada de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas sendo impulsionado” (BRASIL, 2002, pg. 59).

Entendemos que isso é um indicativo da necessidade de um ensino de ciências que contemple o crescente impacto das evoluções científicas e tecnológicas. Neste contexto de reforma curricular há a necessidade de tornar os alunos ativamente engajados em situações de aprendizagem potencialmente relevantes para eles e que sejam percebidas como úteis e importantes para suas vidas. Podemos identificar também

esta preocupação no documento de reforma curricular norte americano, o *National Science Education Standards* (1996):

O ensino de ciências deve envolver os estudantes em investigações de pesquisa orientada na qual eles interajam com seus professores e colegas. Os estudantes devem estabelecer conexões entre seu conhecimento de Ciência e o conhecimento científico encontrado em várias fontes, aplicar o conteúdo científico para novas questões, engajar-se na resolução de problemas, planejamento, tomada de decisão e discussões em grupo; e experimentar avaliações que são consistentes com uma perspectiva de aprendizagem ativa (p. 20, tradução nossa).

Mesmo com tais apontamentos, persiste a dúvida se essas mudanças chegam ao contexto escolar. Seria superficial dizer que não, pois, considerando somente a realidade brasileira, o cenário já é amplo, complexo e diverso. Mas sabemos que existem obstáculos que dificultam a inserção de tópicos de FMC, sejam eles epistemológicos e didáticos (PESSANHA, PIETROCOLA, 2013) ou ligados à formação de professores (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009; 2012).

Como mencionamos anteriormente, as contribuições dadas pelo cientista Albert Einstein se incluem nesses tópicos de FMC. Oportuno é observar que, por exemplo, as interpretações dadas ao conceito de *gravidade*, geralmente são abordadas restritamente na perspectiva newtoniana dada pela Teoria da Gravitação Universal (século XVII) e não na perspectiva einsteiniana dada pela Teoria da Relatividade Geral (1915). Isto contraria as ideias apresentadas em uma visão de reforma curricular, já que elas favorecem o estudo tanto da visão clássica quanto da visão moderna.

Podemos identificar tal fato ao questionarmos uma pessoa acerca de qual o motivo da queda de um objeto. Provavelmente receberemos como resposta: devido à gravidade! Mesmo que ela não conheça profundamente conceitos, leis e teorias que circundam a gravitação, uma pessoa que teve o contato com esses conhecimentos na escola, provavelmente usará a ideia de uma força que puxa os objetos. Além disso, muitas pessoas se lembram do suposto episódio da queda de uma maçã na cabeça do cientista Isaac Newton, para explicar o fenômeno, realçando a visão de que ele “descobriu” ou até mesmo “inventou” a gravidade dada essas circunstâncias.

A gravidade existe independente do nascimento do cientista e até mesmo esse nome já era usado antes dele, na Antiguidade, para explicar o motivo de objetos caírem ao invés de subirem. A palavra “gravidade” originou-se do termo indo-europeu *gwer* que significa “pesado” (MARTINS, 2006). Contudo sabemos por meio de evidências históricas que a teoria newtoniana da gravitação não se deve ao fato de ter ou não caído tal objeto sobre a cabeça do cientista, se é que ocorreu tal fato (MARTINS, 2006). Na verdade, Newton estendeu essa ideia da gravidade para além da Terra; incluiu todo o sistema solar. Tornou-a universal! Trata-se de uma força invisível de atração entre massas. Assim se ensinarmos apenas em tal perspectiva, pode haver a percepção pelos alunos de que não há mais o que se descobrir sobre a gravidade: o que vem depois de Newton?

Em seu livro *Principia Mathematica* (1687), Newton estabeleceu que a força atrativa da gravidade emanava da matéria, mas ele não explicou fisicamente como era transmitida de uma massa para outra, nem quanto tempo essa transmissão levava para ocorrer. Ele assumiu que a força da gravidade viajava instantaneamente pelo espaço vazio de uma massa à outra, sem a necessidade de qualquer tipo de contato e nem de mediadores.

Então como pode um planeta “sentir” a gravidade solar? Além disso, como a gravidade solar avança espaço afora? A gravidade é como a luz, que não precisa de um meio para propagar-se, ou a gravidade é como o som, que precisa de um meio material para propagar-se? Como explicar a queda de duas massas diferentes com a mesma aceleração? Saberá a gravidade puxar os corpos com a quantidade de força exata para fazer com que todos os corpos caiam com a mesma aceleração?

Essas questões fazem parte de busca coletiva de alguns membros da comunidade científica, nela incluídos Albert Einstein. Ademais, Pais (1982, p.179) mostra em seu livro que o cientista afirma que:

Em 1907, (...) eu percebi que todos os fenômenos naturais poderiam ser discutidos em termos da relatividade especial exceto a lei da gravitação. Eu senti um profundo desejo de entender a razão por trás disto (...).

Neste contexto surge a Teoria da Relatividade Geral (RG), que completou o seu primeiro centenário no ano de 2015. Nela, Einstein traz uma nova concepção da gravidade, o campo gravitacional passa a ser uma deformação do espaço-tempo provocada pela presença de corpos massivos. Nenhum resultado experimental o inspirou e não foram observações que o levaram a formulá-la, ao invés ele fez uso de experimentos mentais (OSTERMANN, 2011).

Nesse sentido o ensino da Relatividade Geral possibilita, além da questão do que é gravidade e como ela é transmitida, a discussão das concepções sobre o espaço e tempo. O que identificamos como a possibilidade de contemplar aspectos epistemológicos da física, assim como avanços tecnológicos e inovações científicas.

No que concerne aos avanços tecnológicos, podemos identificar o GPS (Sistema Global de Posicionamento), dispositivo de uso da sociedade atual o qual localiza de endereços em mapas eletrônicos. Sem as correções relativísticas, dadas pelas teorias de Einstein, nas medições temporais do GPS, haveria erros de posicionamento de alguns quilômetros em um único dia.

Além disso, a RG fundamenta a física dos buracos negros e supernovas, assim como a astrofísica e cosmologia moderna. Também permite discutir recentes observações do fenômeno das ondas gravitacionais dos quais foram previstos pela teoria einsteiniana e são importantes na obtenção de informações acerca da formação do Universo. A detecção foi feita no Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser (LIGO), localizados nos Estados Unidos no ano de 2015.

Portanto, o ensino da RG permite o contato com temas atuais que podem gerar interesse dos alunos, já que evidências (STANNARD, 1990 apud OSTERMANN; MOREIRA, 2001)¹ mostram que alunos, ao serem questionados sobre o que eles sabiam sobre tópicos relevantes ao assunto, um terço deles já ouviram falar sobre buracos negros e tinha uma vaga ideia do se tratava. Essas informações, segundos os estudantes, foram aprendidas com base em informações dadas pela televisão e por filmes de ficção científica, porém eles sentiam-se intrigados e desejavam saber mais a respeito.

¹ STANNARD, R. Modern physics for the young. *Physics Education*, Bristol, v. 25, n. 3, p. 133, May 1990.

Referente aos termos oficiais dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) (Brasil, 2002, p.78), a RG se insere no tema Universo, Terra e Vida em que se destaca:

Confrontar-se e especular sobre os enigmas da vida e do universo é parte das preocupações frequentemente presentes entre jovens nessa faixa etária. Respondendo a esse interesse, é importante propiciar-lhes uma visão cosmológica das ciências que lhes permita situarem-se na escala de tempo do Universo, apresentando-lhes os instrumentos para acompanhar e admirar... Nessa abordagem, ganha destaque a interação gravitacional, uma vez que são analisados sistemas que envolvem massas muito maiores que aquelas que observamos na superfície da Terra.

Ressaltamos ainda no mesmo documento a perspectiva das unidades temáticas que representam relações com o tema da RG (BRASIL, 2002, pg. 79):

- “Compreender as interações gravitacionais, identificando forças e relações de conservação, para explicar aspectos do movimento do sistema planetário, cometas, naves e satélites”.
- “Compreender aspectos da evolução dos modelos da ciência para explicar a constituição do Universo (matéria, radiação e interações) através dos tempos, identificando especificidades do modelo atual”.
- “Identificar diferentes formas pelas quais os modelos explicativos do Universo influenciaram a cultura e a vida humana ao longo da história da humanidade e vice-versa”.

Embora haja uma diversidade de trabalhos (KARAM, 2007, 2006; VELARD, 2002; BERMAN, 1987; VILLANI, 1980; ARRISASSECQ, 2002, 2006; MEDEIROS, 2005; OSTERMANN, 2004, 2005; KOHNLEIN & PEDUZZI, 2005; GUERRA ET AL, 2007; NICOLAU JUNIOR, 2014) que apontam a Relatividade como parte do currículo de Física no Ensino Médio, percebe-se que há uma escassez em relação ao ensino de Relatividade Geral. A maioria dos trabalhos abordam apenas a temática da Relatividade Restrita ou ainda focam na perspectiva histórico-filosófica da ciência.

Com base nesse contexto amplo que envolve o ensino da Relatividade Geral no Ensino Médio, esta pesquisa busca contribuir para o aprofundamento de questões sobre envolvimento dos alunos com o tema. Acreditamos que o ensino de Física não deve se

preocupar apenas com os conteúdos curriculares, mas deve possibilitar o contato dos alunos com aspectos do fazer científico.

Nesse sentido, a partir da proposição e da implementação de uma Sequência Didática sobre RG no Ensino Médio, analisaremos o engajamento dos alunos por meio das interações discursivas ocorridas em aulas gravadas em vídeo (SOUZA, 2015).

O material proposto e que configura a SD foi desenvolvido com base em recursos didáticos de domínio público, desenvolvidos pela NASA e pela Universidade de Stanford (RANGE, 2004) (einstein.stanford.edu), como um subproduto do projeto Gravity Probe B, uma missão que verificou o efeito de arrastamento do espaço pela rotação da Terra previsto pela Relatividade Geral na década de 1960.

Além disso, a elaboração da Sequência Didática contou com ideias trazidas pela metodologia da Engenharia Didática (ARTIGUE, 1996), no intuito de auxiliar no desenho didático das atividades propostas. É importante enfatizar que nossa pesquisa não tem como finalidade validar a sequência didática, etapa comum nas pesquisas sobre propostas didáticas, uma vez que para isso torna-se necessário realizar mais de uma implementação.

Tais atividades planejadas são propostas para serem trabalhadas em grupos de alunos, de modo que possa proporcionar oportunidades para a discussão e compartilhamento de ideias na (re)construção dos conhecimentos que habitualmente se transmite já elaborados (CARVALHO, 2014).

Nesta pesquisa, nosso principal interesse é analisar o envolvimento dos estudantes com as aulas e os temas da RG sob o olhar dos referenciais da Teoria das Situações Didáticas (BROUSSEAU, 1986) e do Engajamento Disciplinar Produtivo (ENGLE; CONANT, 2002).

Brousseau (1986) nos ajuda a identificar e categorizar os tipos de situações ocorridas durante as interações dos estudantes entre si e/ou com o professor, com material fornecido e o com conhecimento durante a resolução de problemas em sala de aula. Qual o modo de resolução e como eles se manifestam? Os alunos realizam a tarefa pois há um interesse próprio em fazê-la?

Complementando tais percepções, Engle e Conant (2002) nos ajudam avaliar a interação dos conhecimentos científicos em sala de aula. Desta forma podemos

evidenciar através das interações discursivas e através das características emocionais, qual o nível de engajamento dos alunos na comunicação, na construção e na sofisticação de ideias como consequência da aplicação das atividades propostas.

A palavra *envolvimento* refere-se ao ato ou ação de envolver-se, ou seja, participar ou ser responsabilizado por. Já o termo *engajamento*, ao ato ou efeito de engajar ou engajar-se. Etimologicamente *engajar* significa “empenhar”, podendo ser utilizado no sentido da dedicação dada ao realizar uma tarefa, isto é, fazer alguma coisa com dedicação e afinho ou participar de maneira colaborativa em alguma coisa². Voltaremos a discutir o engajamento nos capítulos seguintes, de acordo com os referenciais teóricos adotados a fim de fundamentar a discussão de nosso problema de pesquisa.

1.1. Problema de pesquisa e objetivos

A Relatividade Geral é um tema que pode despertar o interesse e motivar os alunos frente a situações de ensino, mas isso não garante que eles participem efetivamente das atividades propostas pois podem ser encaradas como mais uma tarefa obrigatória ao contexto escolar, sem significado e interesse para suas vidas. Assim, planejar e criar ambientes que favoreçam a iniciativa e responsabilidade dos alunos por sua própria aprendizagem é o suficiente para torná-los engajados nas atividades propostas? Considerando as afirmações anteriores, neste estudo, colocamo-nos frente ao seguinte problema de pesquisa:

Como os alunos se engajam em atividades propostas a partir de uma Sequência Didática sobre Relatividade Geral no Ensino Médio?

Nosso objetivo geral é analisar se há o engajamento dos estudantes em atividades propostas que compõem uma Sequência Didática sobre Relatividade Geral. Neste sentido, trabalharemos com os seguintes objetivos específicos:

² Usaremos a partir de agora o termo engajamento pois estamos nos pautando no referencial de Engle e Conant (2002).

- Caracterizar as Situações Didáticas identificadas na aula analisada;
- Caracterizar o engajamento dos estudantes identificado na aula analisada;
- Buscar relacionar as Situações Didáticas com o engajamento dos estudantes.

Com base nas informações apresentadas e partindo de tais objetivos, desenvolvemos e implementamos, em aulas do Ensino Médio, uma sequência didática sobre Relatividade Geral com a intenção de possibilitar momentos nos quais os alunos interagem entre si e discutam as atividades do material proposto.

Nas páginas seguintes apresentaremos de forma mais detalhada as Situações Didáticas e o Engajamento Disciplinar Produtivo que nos permitirá traçar o cenário inicial para o desenvolvimento desta pesquisa.

2. ESTUDOS TEÓRICOS QUE FUNDAMENTAM A PESQUISA

Como já mencionado anteriormente, duas linhas teóricas fundamentam nosso estudo: a Teoria das Situações Didáticas (BROUSSEAU, 1986) e o Engajamento Disciplinar Produtivo (ENGLE, CONANT, 2002). A princípio, apresentaremos separadamente cada uma das teorias e depois estabeleceremos relações entre as ideias.

2.1. Teoria das Situações Didáticas

O cenário educacional à época do surgimento da Teoria das Situações Didáticas³ (início da década de 1970) sofria grande influência das ideias associadas à visão cognitiva trazida da epistemologia piagetiana. Em linhas gerais, as perspectivas deflagradas por Piaget expunham o aprender relacionado ao desenvolvimento do conhecimento em uma experiência individual do aluno.

Neste período, o campo da Didática da Matemática francesa iniciou as suas investigações quanto aos fenômenos que interferiam no ensino e na aprendizagem, com o olhar para aluno, professor e saber. Guy Brousseau foi um pesquisador pioneiro deste campo e dentre suas contribuições está o estudo das condições que poderiam ser fornecidas para que o aluno expresse a necessidade por um conhecimento determinado para tomar decisões, assim como entender os motivos dessas decisões (BROUSSEAU, 2008).

Segundo Brousseau (2008), autor da Teoria das Situações Didáticas (TSD), essas condições são determinadas pelas especificidades do conhecimento e, portanto, exigem acomodações originais e apropriadas. Aliás, a produção de conhecimentos pelos alunos no contexto de ensino varia de acordo com as condições didáticas que são dadas e se diferem dos saberes de referência (BROUSSEAU, 2006).

³ Na tese de doutorado de Brousseau (1986) encontram-se as principais ideias da teoria.

Nesta perspectiva, a Teoria das Situações Didáticas contribuiu com os estudos da compreensão das interações sociais entre alunos, professores e conhecimento no contexto da sala de aula, entendendo que elas condicionam o aprendizado e a forma de como ele é dado (BROUSSEAU, 1997).

Uma importante característica da TSD é a distinção entre o conhecimento e o saber. Para Brousseau (2014), o conhecimento é revelado pelos alunos em sala de aula quando eles manifestam sua atividade intelectual, visto que são estimulados a reagir, refletir, fazer declarações *etc.* Durante essa atividade, eles manifestam suas decisões, percepções, intenções, ações e seu raciocínio. Quando esses conhecimentos são reconhecidos por um repertório de referência (definições, teoremas, leis *etc.*) passam a ser chamados de saberes. Desta forma, o *status* de "conhecimento" e de "saber" de uma mesma afirmação pode variar de acordo com as circunstâncias (BROUSSEAU, 2014). De acordo com Brousseau, Centeno (1991)

Os conhecimentos são meios transmissíveis (por imitação, iniciação, comunicação, *etc.*), ainda que não necessariamente demonstráveis, de controlar uma situação e obter dela um resultado determinado, de acordo com uma expectativa e uma exigência social. O saber é produto cultural de uma instituição que tem como objetivo identificar, analisar e organizar os conhecimentos, a fim de facilitar sua comunicação (BROUSSEAU & CENTENO, 1991, apud BROUSSEAU, 2008, p. 31-32) ⁴.

Brousseau (2014) afirma que o aprendizado se manifesta tanto pelo aparecimento de novos conhecimentos e de novos saberes, como por meio da transformação de *status*: os conhecimentos tornam-se saberes; a negação de um conhecimento falso pode se tornar um saber ou os saberes podem ser enriquecidos e investidos em novas condições.

Outro aspecto importante da TSD é o entendimento quanto aos termos “situação” e “didática”. A *situação* corresponde ao modelo das interações que ocorrem entre alunos e professor em sala de aula. Conforme a definição de Brousseau (2002)

⁴ BROUSSEAU, G.; CENTENO, J. Rôle de la mémoire didactique de l'enseignant. Recherches en Didactique des Mathématiques, 1991. In BROUSSEAU, G. Introdução ao estudo das Situações Didáticas: conteúdos e métodos de ensino. Tradução de Camila Bogéa. São Paulo: Ática, 2008 p. 31-32).

Uma situação é caracterizada em uma instituição por um conjunto de relações e de papéis recíprocos de um ou vários sujeitos (aluno, professor, etc.) com um meio, visando à transformação deste meio segundo um projeto. O meio é constituído por objetos (físicos, culturais, sociais, humanos) com os quais o sujeito interage em uma situação (p.1)

Já *didática* é definida como a ciência que estuda as condições da comunicação e apropriação de um conhecimento específico, ou seja, as condições de ensino e aprendizagem (BROUSSEAU, 2008). O autor da teoria aponta que o estudo dessas condições permite reproduzir e aperfeiçoar ações controladas sobre o ensino.

Assim pode-se considerar a *Situação Didática* como o conjunto de relações explicitamente e/ou implicitamente estabelecidas entre um aluno ou um grupo de alunos, instrumentos ou materiais e o professor, isto é, uma situação construída com intenção de propiciar aos alunos a aprendizagem de um determinado conteúdo. (BROUSSEAU, 2008).

Desta forma, quando o professor tem a intenção de ensinar um conhecimento ou observar desenvolvimento dos conhecimentos pelos alunos, são necessários dispositivos em que os estudantes possam interagir na tentativa de resolver uma situação problema. Esses dispositivos são vistos na concepção de Brousseau como o meio didático. Ele abrange tanto um meio material, que são os objetos necessários, como jogos, situações-problemas e experimentos, quanto a maneira como o aluno interage com esses objetos. Quando estes meios entram em ação em uma situação didática, provocam efeitos sobre o ensino.

Além disso, as interações ocorridas na situação didática são norteadas pela forma com que tais dispositivos, ou, como chamaremos neste trabalho, as atividades que compõem a Sequência Didática, são apresentados. Como são dadas as informações aos estudantes? O que se pede? Como se solicita ações dos alunos frente a resolução de um problema? Partindo dessas questões entende-se que o meio deve ser modelado, planejado e organizado pelo professor (BROUSSEAU, 2008).

O meio das situações didáticas (*milieu*) é diferente de outros meios, pois possui intenções didáticas não reveladas, de modo que o aluno não perceba os pressupostos didáticos do professor (POMMER, 2013). Contudo ele deve oferecer o estímulo necessário e convidar os alunos a tomar a iniciativa para a busca de conhecimento.

Brousseau (2008) ressalta que o meio deve ser um subsistema antagônico e que propicie a autonomia. Primeiro porque o meio didático tem o papel de confrontar os alunos e levá-los a buscar soluções para a situação problema. Segundo porque permite que o aluno trabalhe de forma independente e, portanto, torna-se responsável por suas próprias decisões. Desta forma, é conveniente que o aluno alcance o “novo” conhecimento, “pelo menos em parte, através do esforço próprio” (POMMER, 2013, p.17) e não por qualquer ajuda do professor que minimize a responsabilidade dos estudantes frente ao processo de ensino aprendizagem.

Quando um sujeito age sobre o meio ele se torna um agente, que opera de modo racional e de acordo com as regras da situação. Pode ser tanto o professor, quando organiza a situação para ensinar, quanto o aluno, que age sobre o meio e, ao agir, aprende (AZEVEDO, 2008). O "agir" consiste em um sujeito escolher diretamente os estados do meio antagonista de acordo com suas próprias motivações (BROUSSEAU, 2008). Com base nestes pressupostos, Azevedo (2008, p.38) entende que “o aluno vai aprender na medida em que a situação se desenvolve, isto é, que ele interage com o material, em busca da solução dos problemas. Ao agir sobre o meio, o aprendiz manifesta seus conhecimentos”.

Em situações formais de ensino, o aluno pode adquirir conhecimento formulando hipóteses dentro de sua própria experiência dada pela interação com o meio didático. Nesse sentido, segundo Brousseau (2008), as situações didáticas deveriam se posicionar como uma proposta construtivista e contemplar a adaptação, assimilação e equilíbrio descrita por Piaget, assim como o trabalho intelectual do aluno deveria reproduzir características do trabalho científico propriamente dito, como garantia de uma construção efetiva de conhecimentos. Brousseau (2008) afirma que

(...) o aluno aprende se adaptando a um meio que é fator de contradições, de dificuldades, de desequilíbrios. Esse saber, fruto da adaptação do aluno, se manifesta por intermédio de novas respostas, que são a marca da aprendizagem. (p.34)

Segundo estas ideias, no contexto escolar a aprendizagem é, portanto, alcançada pela adaptação do aluno, quando ele assimila o meio criado pela situação didática. Os conhecimentos se manifestam principalmente como instrumento de controle das situações e são utilizados para a construção do saber. O professor interfere de forma a possibilitar caminhos para construção de uma ideia, sem que ele dê diretamente as respostas da situação problema. De acordo com Brousseau (2008)

Tomar consciência de seus conhecimentos pressupõe, por parte de quem aprende, a prática (efetiva ou fictícia) de certos tipos de interação social (formulação, comprovação) e também o uso de um repertório cultural determinado. Essa bagagem de conhecimentos culturais (formuláveis ou transmissíveis ao menos mediante procedimentos não-verbais) é objeto de um reconhecimento por meio de um sistema mais ou menos específico de saberes. (p.55)

Pelo exposto, entendemos que o ensino exige do professor ações específicas provocando no aluno as adaptações desejadas. Isso é feito pela escolha de problemas coerentes com o conhecimento desejado dando oportunidades favoráveis a iniciar o processo adaptativo. Para isso, o professor precisa conhecer e reproduzir tais condições, transferindo para o aluno a responsabilidade da resolução do problema, ao mesmo tempo que o auxilie e busque envolvê-lo neste processo. De acordo com Teixeira e Passos (2013), ao falarem da aprendizagem matemática por crianças, as situações didáticas

(...) devem ser, porém, sem alguma relação visível para o aluno, uma intenção didática desejada e sem qualquer intenção complementar. As crianças são hábeis em achar respostas de questões propostas, sem mesmo examinar seu sentido e sua validade, em alguns casos. O aluno, nesta situação, mostra conhecimento, mas não, necessariamente, o saber matemático. Esse saber vai sendo construído durante todo o desenvolvimento da situação. Esta construção do saber só evolui em função das decisões do ator (aquele que resolve) e das condições objetivas. (p.162)

Desta forma, podemos perceber que a Teoria das Situações Didáticas possui dois objetivos principais: um voltado ao estudo da consistência dos objetos e das propriedades necessárias para a construção lógica e invenção das situações, e outro com foco no

confronto científico da adaptação (empírica ou experimental) desses modelos e suas contingências (BROUSSEAU, 2008).

Segundo Brousseau (2008) o planejamento da situação didática necessita de momentos em que o aluno ou grupo de alunos encontram-se sozinhos diante do problema, sem que o professor intervenha. Portanto podemos identificar duas fases diante da situação criada: as Situações Didáticas e A-didáticas.

Como já vimos anteriormente, as **Situações Didáticas** são definidas pelos momentos em que o professor organiza ações e atividades que indicam a sua intenção de ensinar um conhecimento aos alunos, possibilitando e permitindo o desenvolvimento de ações para a construção do entendimento da situação problema. No entanto, como reforça Azevedo (2008), pode ocorrer do aluno executar a tarefa solicitada pelo professor, mesmo que o problema não tenha significado para ele.

Na **Situação A-didática** o aluno resolve o problema a partir de seus próprios conhecimentos. Consequentemente, o problema deve permitir que os alunos possam pensar, agir, falar e evoluir por iniciativa própria, criando assim condições para que eles tenham um papel ativo no processo de aprendizagem. Portanto é de extrema importância que o professor não intervenha diretamente como fornecedor de conhecimentos. Essa situação caracteriza-se como um momento de grande potencialidade para o aluno vir a romper com as velhas práticas da repetição ainda existentes nas práticas de ensino tradicional (SILVA 2008).

Vale destacar que os termos a-didático e não-didático não são sinônimos. Silva (2008) afirma que uma situação não-didática surge de forma eventual, não planejada, em que interações professor-aluno ou aluno-aluno não possuem uma relação específica com o saber em questão. Já as situações a-didáticas surgem nos momentos do processo de aprendizagem em que o professor não interfere diretamente, o aluno busca individual ou coletivamente a construção de um novo conceito. Sendo assim, ele investiga, debate e/ou aprofunda-se sobre o tema determinado, independente das intenções pedagógicas do professor e sistema educativo.

Um outro ponto importante nas situações a-didáticas é o conceito de *devolução* do problema, ato pelo qual o professor faz com que o aluno aceite a transferência da responsabilidade pelo resultado da situação. Aliás o surgimento da Situação A-didática

depende dessa etapa. Somente quando isso acontecer o aluno se empenhará, se motivará e/ou se desafiará a buscar uma solução para o problema (TREVISAN, 2015).

Geralmente o aluno não diferencia uma situação didática de uma situação a-didática, de acordo com Azevedo (2008)

(...) o que muda é sua ação na busca por resposta: uma execução mecânica para atender às expectativas do professor, ou a necessidade de solucionar um problema que tem um significado para ele. (p. 39-40)

Além disso, há situações a-didáticas específicas para cada tipo interações que ocorrem durante a resolução do problema. Veremos a seguir a tipologia das situações a-didáticas e um outro tipo de situação, a Institucionalização.

2.1.1. Tipologia das Situações A-didáticas e a Situação de Institucionalização

Brousseau (1997, 2008), analisando as principais atividades específicas da aprendizagem, propõe uma tipologia de situações representada pela própria Situação Didática, por três Situações A-didáticas: de Ação, de Formulação e de Validação, e pela Situação de Institucionalização. Esta classificação tem o objetivo de prever, explicar e categorizar certas relações das interações observadas (ou que se quer obter) entre os alunos, o professor e o meio didático.

1. Situação A-didática de Ação

Na Situação A-didática de Ação, o aluno toma decisões em ações imediatas, utilizando tentativa e erro para descobrir como o meio funciona, porém não explica e/ou explicita seus conhecimentos e procedimentos usados na resolução do problema.

Durante esse processo, se o meio manifesta certa regularidade, o aluno pode trabalhar com as informações (*feedback*) para antecipar suas respostas ou usá-las para as decisões futuras.

O padrão de manifestação observável é um padrão de resposta dado por um modelo de ação implícita, ou seja, por um conjunto de relações segundo as quais o aluno toma suas decisões sem ter consciência delas e antes mesmo de formulá-las. Azevedo (2008) afirma que

São situações que se assemelham a um jogo, em que o aluno conhecendo as regras que não lhe fornecem a estratégia de vitória – joga, apenas com o objetivo de ganhar, sem construir ainda uma estratégia vencedora. O conhecimento adquirido é de natureza mais experimental e intuitiva do que teórica. (p.41)

2. Situação A-didática de Formulação

Na Situação A-didática de Formulação, o aluno comunica suas hipóteses e ideias de maneira explícita para esclarecer suas ações, explicar suas escolhas e procedimentos, ainda que não justifique a validade dos mesmos. Nesta interação entre aluno e meio há troca de informações codificadas em uma linguagem (mensagem) a fim de comunicar o resultado obtido e a forma de obtenção. Nesta perspectiva, não há uma obrigatoriedade do uso de uma linguagem científica formal. “A formulação de um conhecimento corresponde a uma capacidade do sujeito de retomá-lo (reconhecê-lo, identificá-lo, decompô-lo e reconstruí-lo em um sistema linguístico)” (BROUSSEAU, 2008, p.29).

3. Situação A-didática de Validação

Na Situação A-didática de Validação, além de explicitar as condições dadas à formulação, os alunos precisam estabelecer a validade do conhecimento. Deste modo, o meio exige provas e demonstrações, ou seja, o uso de uma linguagem científica mais rigorosa.

A situação de validação compreende tanto o aluno justificar suas hipóteses, como verificar se suas escolhas estão corretas. Neste caso o emissor deixa de ser um informante e passa a ser um proponente, pois propõe e defende uma ideia. Já o receptor

se torna um oponente, pois questiona o emissor acerca da veracidade de suas afirmações, ou seja, convida-o a “provar” a validade das suas declarações frente ao meio. No entanto, como cita Brousseau (2008), ambos

colaboram na busca da verdade, ou seja, no esforço de vincular de forma segura um conhecimento a um campo de saberes já consolidados, mas entram em confronto quando há dúvidas. Juntos, encarregam-se das relações formuladas entre um meio e um conhecimento relativo a ele. (p.30)

Supõe-se que eles possuem uma relação simétrica à situação, tanto no que diz respeito à informação, quanto aos meios de ação disponíveis. Assim ao buscarem formas de convencimento, os agentes debatem segundo as regras do debate científico, ou seja, usando argumentos, teoremas, leis *etc* (MENEZES,2008). Brousseau (1997) afirma que

Nesse novo tipo de situação, os alunos organizam enunciados em demonstrações, constroem teorias – conjuntos de enunciados de referência - e aprendem como convencer os outros ou se deixar convencer sem ceder aos argumentos retóricos como autoridade, sedução, amor próprio, intimidação etc. (p.8)

As situações a-didáticas de validação devem permitir que os alunos coloquem em ação os saberes e conhecimentos científicos como meio eficaz de convencimento, ao mesmo tempo que os levam a rejeitar meios retóricos que não são boas provas.

4. Situação de Institucionalização

Na Situação de Institucionalização, o conhecimento produzido se torna um saber, ou seja, ele atravessa a passagem de resolução de uma situação de ação, de formulação e de validação e passa a ser uma referência para futuras utilizações pessoais ou coletivas. A *institucionalização* vem da necessidade de conceder a certo conhecimento o estatuto cultural de saber.

Nas situações de institucionalização cabe ao professor prover *feedback* aos alunos relativo às soluções apresentadas para a situação-problema. O professor reúne estas

produções dos alunos confirmando ou negando soluções. Além disso, ele identifica questões essenciais para a apropriação desse saber por meio da formalização e da generalização. Durante a situação de institucionalização, a intenção didática do professor é revelada.

No momento da institucionalização há o reconhecimento (justificado ou não) da validade e utilidade do conhecimento. A resolução dada pelo aluno à situação-problema é aceita pelo professor e pode ser declarada válida. Posteriormente o aluno deve perceber que esse conhecimento possui um *status* de saber e, portanto, faz parte do corpo de conhecimento socialmente legitimado e convencionado dentro de um campo de conhecimento.

Dentro do processo de ensino e de aprendizagem, a institucionalização é importante para a consolidação dos conhecimentos. Pois logo eles tendem a desaparecer nas “lembranças cotidianas, caso não fossem recolocados em um repertório especial, cuja importância e uso não foram confirmados pela cultura e pela sociedade” como destaca o autor (BROUSSEAU,2008).

2.1.2. Associação das situações

Como podemos notar, as situações descritas anteriormente propõem uma certa ordem das condições para a construção de um saber. Todas elas exigem do aluno um modo de se relacionar com um conhecimento, de modo que ele tenha um progresso intelectual.

A **Situação Didática** é vista por nós como uma situação mais ampla, pois dá início desde o planejamento de uma atividade, um problema, a abordagem, a disposição dos alunos, o tema até o momento que o professor expõe essas condições e revela uma intenção de ensinar um conhecimento. Nas circunstâncias da sala de aula, quando situação-problema (**meio**) é dado aos estudantes, a situação pode se manter didática mas se há oportunidade dos alunos sozinhos buscarem a solução do problema, essa situação pode se tornar a-didática.

A **Situação A-didática** aparece durante as interações ocorridas entre os estudantes quando eles passam a aceitar o problema, tornando-o um “problema real”.

Num primeiro momento pode ocorrer do aluno agir de forma intuitiva, por meio de tentativa e erro durante a resolução do problema, realizando ações manipulativas e agindo conforme as informações e respostas dada pelo meio (**Situação A-didática de Ação**).

Porém, quando há a necessidade de comunicar suas escolhas, o aluno deve mostrar sua intenção de resolver o problema de forma explícita, manifestando-se a oralidade com a explicitação de hipóteses (**Situação A-didática de Formulação**).

Para justificar suas escolhas, o aluno precisa usar mecanismos de explicação na resolução de problemas. Nesse contexto usa-se a oralidade, discussão entre pares (aluno-aluno e professor-aluno), argumentação e justificativa a fim de que o aluno garanta que suas declarações interagem de forma eficaz com o meio e que seu ponto de vista naquele determinado momento é aceito pela comunidade escolar (**Situação A-didática de Validação**).

O professor verifica a validade da resolução proposta ou realizada pelo aluno por meio da sistematização com base no conhecimento científico aceito pela comunidade científica, mostrando-lhe a utilidade do conhecimento como *status* de saber culturalmente e socialmente aceito. Essa situação se manifesta pela oralidade (escrita ou áudio visual) por meio da síntese do conhecimento científico (**Situação de Institucionalização**).

Desta forma cada situação pode fazer com que o aluno progrida e, assim, ela também pode progredir “de tal modo que a gênese do conhecimento pode ser o resultado de uma sucessão (espontâneo ou não) de novas perguntas e respostas em um processo que eu chamo de dialética” (BROUSSEAU, 2008, p. 32). As sucessões das situações unem-se para acelerar as aprendizagens (sejam elas espontâneas ou provocadas (BROUSSEAU, 2008).

O quadro 1 esboçado por nós, apresenta resumidamente as características principais das situações propostas por Brousseau (1986, 2008).

Quadro 1 – Principais características das situações propostas por Brousseau

Situação Didática (SD)
Apresentação da atividade ou qualquer ação organizada pelo professor em que manifesta a intenção de ensinar. Aluno executa a tarefa solicitada pelo professor, mesmo que o problema não tenha significado para
Situação A-didática De Ação (SAA)
Aluno age e/ou toma decisões por meio de tentativa e erros, mas não identifica e/ou explicita o conhecimento.
Situação A-didática De Formulação (SAF)
Aluno comunica suas hipóteses e ideias de maneira explícita sem explicar, justificar e argumentar.
Situação A-Didática De Validação (SAV)
Aluno comunica suas hipóteses e ideias utilizando mecanismos de explicação e prova, argumentando e justificando suas estratégias.
Situação De Institucionalização (SI)
Professor retoma, sintetiza, sistematiza e/ou valida junto com a turma o conhecimento explicitado durante as aulas.

Na perspectiva deste trabalho, acreditamos que a Teoria das Situações Didáticas pode auxiliar na interpretação da natureza das interações e das ações dos alunos durante a resolução de problemas propostos pelas atividades que compõem a Sequência Didática.

Em nosso entendimento, a criação de meios didáticos são formas de favorecer a construção autônoma do conhecimento pelo aluno. Devemos, portanto, nos preocupar em levantar hipóteses acerca dos possíveis modelos de interações do aluno com o que será proposto, a fim de propiciar a participação efetiva do aluno na resolução do problema e o comprometimento na busca do conhecimento.

Diante das ideias apresentadas, surgem dúvidas que devem ser por nós consideradas quando da análise dos dados. Dentre elas, um aspecto central está vinculado à participação dos alunos nas atividades de sala de aula: dadas as situações didáticas criadas com o fim de propiciar momentos de aprendizagem em que o conhecimento manifesta-se pela atividade intelectual do aluno, nos momentos em que são dadas oportunidades para os alunos trabalharem com os colegas na busca da solução do problema, a preocupação deles está em atender uma demanda do professor

ou em realizar a tarefa porque sentem-se engajados e assumiram a responsabilidade sobre suas escolhas e sobre a resolução do problema?

Segundo as concepções de Brousseau (1997, 2008), podemos interpretar que a construção do conhecimento por parte aluno ocorre quando um problema tem um real significado e passa ter um verdadeiro sentido, devemos considerar que isso ocorre apenas nos momentos que o aluno se interessa e se compromete na resolução as atividades da sequência didática proposta. Consequentemente podemos dizer que o aluno está engajado na realização da tarefa. Em nosso entendimento, esse cenário pode ser revelado quando analisamos o nível de engajamento dos alunos.

Para entender e discutir melhor estes aspectos, pautamo-nos a proposta de Engajamento Disciplinar Produtivo, de Engle e Conant (2002). Na subseção a seguir apresentaremos como esse conceito é usado em trabalhos científicos que focam suas pesquisas no ensino de ciências e que buscam responder questões ligadas ao engajamento dos alunos. Posteriormente abordaremos as definições e princípios estabelecidos pelos autores que propuseram o tema e como isso nos permite a construção do nosso instrumento de análise.

2.2. Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP)

O ensino de física sobre tópicos de Física Moderna e Contemporânea, aí incluída a Relatividade, pode motivar e gerar interesse nos alunos frente a situações-problema (Guerra *et al*, 2007, Köhnlein, Peduzzi, 2005, Caruso, Freitas, 2009, Andrade *et al*, 2007, Karam *et al*, 2007). Mas isso é suficiente para encorajá-los à iniciativa e à responsabilidade por sua própria aprendizagem? Mesmo alunos motivados podem permanecer como espectadores na realização de uma atividade. Deste modo, como analisar o nível de engajamento dos alunos frente às situações-problema propostas em sala de aula? Os alunos se comprometem com a resolução das atividades? As interações ocorridas revelam progresso intelectual?

Diante de tais questionamentos parece-nos interessante analisar o Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP) proposto por Engle e Conant (2002). Os autores buscam entender os ambientes, as situações e as ações que fomentam o engajamento dos alunos

em situações de ensino, assim como procuraram analisar como os estudantes se relacionam com as discussões sobre temas das ciências. A pesquisa de Engle e Conant (2002) foi realizada a partir da análise de como que os alunos se relacionam com as discussões sobre temas das ciências.

2.2.1. O conceito de EDP

Os autores do conceito de EDP (ENGLE E CONANT, 2002) entendem que o engajamento dos estudantes, durante as aulas, aparece em três níveis diferentes: o Engajamento, o Engajamento Disciplinar e o Engajamento Disciplinar Produtivo. Descreveremos a seguir cada uma dessas ideias.

I. Engajamento

Antes de definirmos engajamento com bases nas ideias propostas por Engle e Conant (2002), apresentaremos o significado mais geral da palavra. Ao usarmos esse termo, engajamento, estamos nos referindo ao ato ou efeito de engajar ou engajar-se. Quando um sujeito se engaja em algo, ele empenha-se, realiza uma tarefa com dedicação e afinho e/ou participa de maneira colaborativa em alguma coisa.

A partir dessa visão mais ampla temos mais facilidade para entender a ideia geral. Segundo Engle e Conant (2002), o engajamento, no contexto escolar, se define pelo momento em que os alunos participam da tarefa proposta trazendo contribuições relevantes para o tema em discussão.

As questões que norteiam a análise do engajamento são do tipo: Como os alunos estão participando? Qual a proporção de estudantes que estão participando? Como a contribuição de um estudante é percebida por outro estudante? Eles mantêm a discussão por um longo período de tempo? Há presença de características emocionais expressas ao longo da atividade?

Desta forma, em situações de ensino, o engajamento pode ser observado por meio das interações discursivas entre aluno-aluno e aluno-professor que demonstram a participação na resolução de um problema proposto. Considera-se também a interação

entre os estudantes com os meios físicos (SOUZA, 2015). Desta maneira pode-se inferir o engajamento dos alunos à medida que suas contribuições agregam elementos significativos ao tema em discussão. Tais contribuições não são feitas de forma independente, mas sim em articulação à contribuição de outros alunos. Também pode-se identificar se a turma está engajada quando poucos alunos estão distraídos e/ou estão envolvidos com tarefas que não fazem parte das atividades do tema abordado.

Durante a realização de uma atividade o engajamento revela que: os alunos prestam atenção uns aos outros, o que pode ser observado pela atitude na postura corporal e no contato olho no olho; e quando eles frequentemente expressam envolvimento passional e espontaneamente permanecem envolvidos com o tema por mais tempo.

II. Engajamento Disciplinar

O termo disciplinar traz outros aspectos às interações discursivas ocorridas durante a resolução de um problema. Ele inclui questões e práticas do discurso de uma disciplina. Assim, o engajamento disciplinar se define pela vinculação da participação dos estudantes ao cumprimento de uma tarefa, já que se destaca o contexto escolar. Ele marca, principalmente, a habilidade de o aluno transitar do discurso escolar, mais geral, para o discurso científico, mais específico.

Concordamos também que esta fase simboliza o momento em que o aluno, envolvido e interessado pela atividade proposta pelo professor, percebe o funcionamento e as regras do meio que ele interage, tais como: prazo de entrega, regras de formatação para a apresentação escrita, construir um plano de trabalho, seguir procedimentos específicos de um trabalho em laboratório *etc* (SOUZA, 2015).

Podemos, portanto, observar indícios de engajamento disciplinar quando há discussão de hipóteses e ideias, trabalho colaborativo e presença de características emocionais, referentes a construção de um plano de trabalho com o propósito de resolver o problema.

III. Engajamento Disciplinar Produtivo

Segundo Engle e Conant (2002), o engajamento disciplinar é considerado produtivo quando os estudantes expressam progresso intelectual. Tal progresso pode ser observado pelo avanço na qualidade e sofisticação das ideias expostas pelos alunos, pelo surgimento de novas questões em virtude das interações discursivas, pelo reconhecimento do próprio erro e pela elaboração de novas conexões entre ideias e projeções para atingir um objetivo.

Além disso, o progresso intelectual também está relacionado à forma como o aluno transita entre o contexto escolar e o contexto de suas experiências e vivências durante a resolução do problema. Porém o que se constitui como produtividade depende da disciplina, da tarefa, do tópico e da compreensão dos interesses e conhecimentos prévios alunos no momento em que se inicia a busca da solução de um problema.

Concordamos com a relação entre os termos: “disciplinar produtivo” e “fazer ciência” realizada por Souza (2015) baseadas nos termos colocados no trabalho de Jiménez-Aleixandre *et al* (2000). Assim como Souza (2015), destacamos que o obstáculo de se progredir intelectual pode estar no conjunto de ações e atividades ou procedimentos formais que compõem a rotina escolar. Desta forma, é preciso questionar se o que está sendo feito se baseia em: cumprir expectativas do que se espera que os estudantes e professores façam na escola ou um ambiente educacional que promova e facilite tanto as construções dos estudantes, suas representações e avaliações de hipóteses quanto seus métodos de investigação.

Em linhas gerais, os princípios propostos por Engle e Conant (2002) nos possibilitam perceber que independentemente do nível, há evidência de engajamento se considerarmos três pontos fundamentais: o tópico em discussão, a natureza do trabalho entre os estudantes e características emocionais expressas ao longo da atividade de ensino (SASSERON, DUSCHL, 2016).

Logo, questionamos: quais os mecanismos que podem possibilitar engajamento? Quais ambientes que favorecem o surgimento e manifestação do EDP?

2.2.2. Estratégias que favorecem o EDP

Engle e Conant (2002) sugerem algumas estratégias para a criação de ambientes de aprendizagem que fomentem o engajamento disciplinar produtivo. Segundo estes pesquisadores, elas devem agregar quatro princípios:

1) Problematizar os conteúdos: a fim de incentivar os alunos a perguntar, propor, desafiar e fazer contribuições intelectuais, ao invés de esperar que eles simplesmente assimilem fatos e procedimentos. Hiebert *et al.* (1996 apud ENGLE e CONANT, 2002, p. 404)⁵ acrescentam que esse ambiente “deve permitir e encorajar os estudantes a problematizar o que se estuda, a fim de definir problemas que despertam a sua curiosidade e que tenham significado” (tradução nossa).

Engle e Conant (2002) mostram que mesmo questões aparentemente fechadas podem ser abertas e problematizadas na perspectiva dos estudantes quando eles as interpretam, usando seus conhecimentos prévios e os recursos disponíveis.

2) Conceder autoridade aos estudantes: com o intuito possibilitar que eles atuem na resolução de problemas. Tal autoridade se aplica aos alunos de forma individual, no pequeno grupo ou para toda classe.

3) Conceder aos estudantes responsabilidade para com os outros e com as normas disciplinares: vinculado tanto ao trabalho intelectual ocorrido na resolução do problema, quanto às ações desempenhadas no contato com os colegas (por exemplo: respeitar e ouvir a fala do colega, prezar pelo bem-estar coletivo *etc*).

4) Conceder recursos aos estudantes: com o intuito de possibilitar que os princípios expostos acima sejam cumpridos. Acreditamos que esses recursos possam ser os dispositivos que permitem os alunos interagir na busca de solucionar o problema. Dispositivos como: os materiais disponíveis (problemas, objetos manipulativos) e a forma de interação deles com tais materiais. De modo mais específico, pode ser o tempo necessário para o aluno dedicar-se e aprofundar-se a um problema, o acesso às informações relevantes ou às normas disciplinares (SILVA, MORTIMER 2011).

⁵ HIEBERT, J., CARPENTER, T. P., FENNEMA, E., FUSON, K., HUMAN, P., MURRAY, H., et al. Problem solving as a basis for reform in curriculum and instruction: The case of mathematics. Educational Researcher, 1996.

2.2.3. Relevância do uso do EDP nas pesquisas em ensino de ciências

Trabalhos da área de pesquisa em ensino de ciências utilizam a ideia do Engajamento Disciplinar Produtivo (ENGLE E CONANT, 2002). Esses estudos mostram a preocupação de promover ambientes que possibilitem a participação ativa dos estudantes para a resolução de problemas em sala de aula, ou seja, pressupõem que as ações de ensino devam encorajar os estudantes a tomarem iniciativa e responsabilidade por sua própria aprendizagem.

Nossa busca sobre a relevância do uso do EDP nas pesquisas em ensino de ciências envolveu a investigação de trabalhos publicados desde a criação dessas ideias. Grande parte dos trabalhos foram encontrados nas seguintes revistas nacionais e internacionais: *Ciência e Educação*, *Investigações em Ensino em Ciências*, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Journal of Science Education*, *Internacional Journal of Educational Research* e *Science Education*. Procuramos também por trabalhos nacionais publicados em eventos que focalizam suas discussões no ensino de ciências e foram identificadas algumas pesquisas no Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e no Encontro Nacional no Ensino de Química (ENEQ).

A partir da busca pelas expressões “*Engajamento Disciplinar Produtivo*” e “*Productive Disciplinary Engagement*” nas palavras-chave e no assunto, encontramos um total de 56 trabalhos nas revistas acima citadas no período de 2004 a 2016. Destes trabalhos, 8 são nacionais e 48 internacionais. Podemos ver pelo gráfico 1 abaixo a distribuição temporal desses estudos.

Gráfico 1 – Distribuição temporal dos trabalhos que mencionam EDP

Por essa distribuição, percebemos que desde a publicação da proposição de Engle e Conant (2002) há uso dessas ideias em pesquisas nacionais e internacionais em ensino de Ciências, com um número ainda reduzido nas pesquisas locais. O gráfico ainda revela que há um aumento de trabalhos ao longo dos anos, com destaque para o ano de 2014.

De modo geral, grande parte das pesquisas encontradas destacam a importância das estratégias e ações dos professores que corroboram com a sustentação, continuidade e surgimento de evidências de engajamento disciplinar produtivo entre os estudantes. Há também trabalhos que focalizam suas análises nas abordagens de ensino, em destaque as de cunho investigativo. Por fim, encontramos estudos que analisam o nível de engajamento dos estudantes frente as interações discursivas e/ou avaliam as interações dos conhecimentos científicos em sala de aula.

Percebemos que esses trabalhos valorizam as abordagens e estratégias em que os alunos tenham oportunidades de comunicarem suas ideias, hipóteses e reflitam sobre elas no decorrer das discussões. Assim como reconhecem a importância no papel do professor na elaboração desses ambientes, no planejamento das estratégias e ações que promovam essas interações.

Em destaque aos trabalhos nacionais, pesquisadores têm apontado a importância do professor na promoção das interações, no incentivo ao surgimento de ideias, bem

como a discussão e avaliação dessas interações no movimento discursivo conduzido pelo professor para a instauração de um problema. As estratégias do professor contribuem para que os alunos participem e foquem nas discussões em diferentes fases de uma atividade por um tempo maior, o que garante um engajamento mais efetivo. Abordagens comunicativas que abrem espaço para diferentes opiniões, em que o professor ouve, respeita e analisa os pontos de vista dos alunos, também procuram fazer que os alunos assumam o problema na perspectiva pretendida (SASSERON, DUSCHL, 2016, SILVA, MORTIMER, 2011).

Mas para que isso aconteça, é necessário tempo para que os alunos trabalhem os conhecimentos científicos. Isso demanda alterações na forma do professor trabalhar, fazendo com que ele valorize e retome o problema em vários momentos. O que torna necessário que ele resista ao hábito de entregar as repostas já prontas, permitindo tempo para que os alunos reflitam melhor sobre os assuntos. A falta de tempo e foco em cumprimento de um extenso programa de estudos não corroboram no enriquecimento das interações dos alunos com o tema (COUTO, AGUIAR JR, 2015).

Além disso, no estudo de Couto, Aguiar Jr (2015), eles afirmam que durante essas interações é preciso respeito entre os alunos quando um colega comunica suas ideias. Isso é fundamental para que haja compreensão das proposições apresentadas e para que os alunos deem prosseguimento ao raciocínio construído coletivamente.

No entanto, mesmo que haja abertura para os estudantes tornarem-se ativos durante as atividades, pode ocorrer certa resistência inicial já que muitas vezes eles não estão acostumados e geralmente não são motivados a expressarem suas ideias durante as aulas. O estudo de Almeida, Oliveira, Mozzer (2015) revela que quando os alunos percebem que suas ideias não serão julgadas como corretas ou incorretas, bem como seus conhecimentos prévios são valorizados, eles passam a ter uma segurança maior para se expressarem e se sentem mais confiantes para iniciar uma interação.

Evidências de engajamento são manifestadas quando alunos assumem funções tipicamente associadas com o professor (GONÇALVES, MUNAYER, GONÇALVES, 2016), podendo escolher o caminho pelo qual realizarão a tarefa, tornando-se autônomo suas decisões e capazes de compartilhar da autoridade do professor na sala de aula (GONÇALVES, SILVA, 2016).

Sasseron e Duschl (2016) revelam que o aparecimento do EDP cria oportunidades de levar, para além no contexto escolar, discussões debatidas em sala de aula. Neste contexto, os alunos tornam-se preparados para lidar com situações sociais e culturais variadas, já que se apropriam dos conhecimentos produzidos pela humanidade. O estabelecimento de engajamento disciplinar produtivo (ENGLE & CONANT, 2002) também é manifestado em momentos que os estudantes usam as ideias uns dos outros na comunicação e justificação de seus pontos de vista quando suscitados por ações do professor.

A partir dos estudos sobre o surgimento de EDP e sobre o desenvolvimento de interações discursivas em aulas de ciências, Souza (2015) propõe indicadores de EDP que contemplam e detalham os três momentos do EDP especificados na sua definição. Eles são utilizados como forma de categorizar essas interações identificadas em sala de aula.

A análise feita no estudo de Souza (2015), a partir desses indicadores, mostra que eles tendem a surgir em uma certa sequência. Primeiro aparecem indicativos de Engajamento, indicador tipo E, relacionadas aos momentos iniciais da atividade, quando ocorre a problematização. Uma vez que os estudantes interagem entre si, com o professor, com os recursos fornecidos para solução do problema e tomam consciência da tarefa a ser realizada, podem ocorrer casos de ED e EDP, Engajamento Disciplinar e Engajamento Disciplinar Produtivo respectivamente. A seguir, descrevemos as categorias construídas por Souza (2015):

Quadro 2 – Indicadores de EDP

Engajamento (E)
E1- Discussão sobre o tema.
E2- Há trabalho colaborativo.
E3- Presença de características emocionais.
Engajamento Disciplinar (ED)
ED1- Discussão sobre ideias e hipóteses para a construção de um plano de trabalho.
ED2- Há trabalho colaborativo para concretização de ações, proposições e/ou análise de ideias.
ED3- Presença de características emocionais relacionadas às ações para a resolução do problema
Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP)
EDP1- Discussão sobre sofisticação de ideias e construção de relações explicativas.
EDP2- Há trabalho colaborativo na construção da explicação e reconhecimento de limites nas suas aplicações.
EDP3- Presença de evidências do uso de ideias em outros contextos, ressaltando a apropriação do conhecimento.

Fonte: Souza (2015)

Entendemos que esta ferramenta analítica possibilitará verificar evidências de Engajamento Disciplinar Produtivo na realização das atividades propostas, como consequência da aplicação da Sequência Didática. Da mesma forma, pode nos ajudar na construção de uma nova ferramenta de análise, que congrega as ideias apresentadas por Brousseau.

Com o intuito de apresentar a relação entre essas duas concepções, a Teoria das Situações Didáticas (TSD) e do Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP), passaremos a compor as aproximações entre essas ideias.

2.3. Tecendo as primeiras aproximações entre a TDS e o EDP

Com base nas exposições teóricas anteriores, percebemos que as ideias da Teoria da Situações Didáticas (BROUSSEAU, 1986) podem se relacionar às proposições do Engajamento Disciplinar Produtivo (ENGLE, CONANT, 2002), pois ambas partem da ideia do estímulo à participação ativa dos estudantes na resolução de problemas em contextos de ensino.

Os princípios que impulsionam o surgimento de EDP durante as interações dos estudantes nas discussões sobre o tema trabalhado em aula parecem ser semelhantes àqueles que Brousseau (1986, 2008) destaca como elementos que favorecem a aprendizagem nas situações ocorridas em contextos de ensino.

A problematização, por exemplo, mencionado por Engle e Conant (2002) como um dos elementos necessários para a criação de um ambiente de aprendizagem, é uma das características associadas ao meio didático, proposto por Brousseau (2008) pois visa ao confronto e incentiva a proposição e o questionamento de ideias na busca de soluções.

Ambas perspectivas (TSD e EDP) destacam a importância de os alunos assumirem a responsabilidade pelo desafio. Isso é marca da devolutiva do problema e das situações a-didáticas, ou seja, demonstra a aceitação do problema pelo aluno e os momentos que professor não intervém como fornecedor de conhecimentos. Isso também pressupõe o comprometimento dos alunos com discussões sobre o tema e com o trabalho em grupo.

As ações de ensino são estabelecidas a fim de conceder e incentivar a autoridade (ENGLE, CONANT, 2002) e a autonomia dos estudantes (BROUSSEAU, 2008) quanto as suas ações, a comunicação e explicação de suas ideias. Apesar de não serem conceitos sinônimos, acreditamos que são ideias que se reforçam, já que os estudantes passam a ter propriedade e poder sobre suas escolhas, ao mesmo tempo que possuem liberdade de guiá-las.

Por fim, conforme Engle e Conant (2002), os recursos oferecidos aos estudantes para o fomento de momentos de interações remetem aos dispositivos escolhidos, materiais fornecidos, o tema selecionado, a sequência didática, as estratégias e abordagens utilizadas e toda organização e disposição pré-estabelecida para resolução do problema fornecido pela atividade. Esses recursos se relacionam tanto com situações

didáticas planejadas e sustentadas durante as aulas, mas principalmente pelos momentos em que as situações se tornam a-didáticas, em que alunos se reagem, refletem e fazem declarações graças aos estímulos provocados. Nesses momentos, o conhecimento é manifestado pela atividade intelectual e podem surgir evidências de progressos intelectuais. O que não descarta a importância das situações de institucionalização, em que o professor sistematiza as ideias com base no conhecimento científico, dando ao conhecimento status de saber.

Entendemos que por meio das interações, percebidas pelo discurso e pelas ações do professor e dos alunos, podemos compreender a forma com que os estudantes participam da resolução do problema e o nível de sua participação nesta tarefa. Nosso intuito não é entender o motivo da interação ocorrida, mas caracterizar como as situações didáticas geradas pelas atividades podem manifestá-las, evidenciando o engajamento dos alunos.

Desta forma, pretende-se avaliar como a constituição das diferentes situações seja elas didáticas, a-didáticas e de institucionalização, evidenciam formas de engajamento (E), engajamento disciplinar (ED) e engajamento disciplinar produtivo (EDP). Para isso construímos, uma ferramenta de análise (figura 1) que congrega tais considerações e nossas percepções nesse cenário.

Cada círculo envolve uma tonalidade de cor e representa um tipo de situação. Assim, podemos identificar que a cor roxa refere-se à Situação Didática, a cor azul à Situação A-didática de Ação, o verde à Situação A-didática de Formulação, o amarelo à Situação A-didática de Validação e por fim o vermelho à Situação de Institucionalização.

Percebemos que cada cor retratada possui um degrade em três níveis, eles representam exatamente os três níveis de engajamento, ou seja, as intensidades de cada cor específica simbolizam os indicadores do tipo E, ED ou EDP nas diferentes situações.

A tabela de cores abaixo dos círculos funciona como uma legenda complementar. Se seguirmos a linha E, percebemos que a ela possui a menor intensidade de cada cor, ou seja, são as mais claras. Da mesma forma a linha ED apresenta uma intensidade média, maior que E e menor que EDP. Assim linha EDP é retratada pela maior intensidade de cada cor, ou seja, são mais escuras.

Figura 1 – Instrumento de análise

A análise de uma aula com base nos referenciais teóricos que fundamentam essa pesquisa, gera uma extensa tabela das transcrições com as falas, as ações e gestos, os tipos de situações e os níveis de engajamento. O que dificultaria uma visualização objetiva da análise da aula, pois não poderíamos ver com clareza quando as situações surgem e se modificam e como os níveis de engajamento se revelam e se mantêm durante a aula.

Uma forma de olhar esses movimentos no decorrer de toda a aula seria a partir da construção de uma segunda tabela que envolvesse apenas os turnos, pois eles retratam as interações ocorridas pela falas, ações e gestos dos estudantes por meio de um número que acompanha uma ordem cronológica dos acontecimentos ocorridos em sala de aula.

Neste caso, a tabela de turnos deveria ser pintada de acordo com a ferramenta analítica proposta, ou seja, as cores iriam aparecendo segundo a análise das interações conforme o que já foi discutido nos referenciais.

Se pela leitura da transcrição, por exemplo, identificarmos que durante uma interação entre o professor e os alunos, eles encontram-se em uma Situação Didática, de acordo com os pressupostos estabelecidos por Brousseau (2008), escolheremos a cor a roxa para pintar os turnos que representam essa característica em comum. Mas

antes de escolher a intensidade da cor roxa, devemos buscar indícios de engajamento conforme os indicadores propostos por Souza (2015).

Dando prosseguimento ao exemplo, se os alunos discutirem sobre o tema, trabalharemos de forma colaborativa e/ou apresentaremos características emocionais, teremos casos de indicadores no primeiro nível, ou seja, E1, E2 e E3 respectivamente. Logo a intensidade da cor poderá ser escolhida, neste caso a cor roxa mais clara. Vale ressaltar que mesmo dentro de uma mesma situação, os turnos podem revelar diferentes níveis de engajamento.

Fica evidente que durante análise é preciso primeiro identificar o(s) turno(s) que revela(m) uma situação e depois poderemos procurar evidências de engajamento. Assim, feita a escolha correspondente à análise e à indicação dada pela ferramenta poderemos pintar cada um dos turnos.

Como resultado final teremos uma tabela da análise geral da aula, o que nos permite uma visualização de como os padrões de cores aparecem e as mudanças de cores e intensidade se relacionam. Este tipo de análise nos trará informações mais gerais sobre a aula, ou seja, mostra uma visão mais ampla das interações ocorridas. Poderemos ver os movimentos que antecede o surgimento das situações, como elas se relacionam e qual o nível de engajamento dos alunos que aparecem em cada uma delas.

Partindo das concepções apresentadas, TDS e EDP, passaremos a discorrer a forma que desenvolvemos a Metodologia empregada na resolução da nossa questão de pesquisa.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste trabalho, desejamos abordar como as diferentes situações, os diferentes momentos, interações e discussões em sala de aula se relacionam e nos permitem evidenciar diferentes níveis de engajamento nos estudantes do Ensino Médio. Para isso, buscaremos tais evidências no contexto da implementação de atividades que compõem a Sequência Didática, proposta nesta pesquisa, sobre Relatividade Geral.

Nas páginas a seguir, traçaremos algumas ideias sobre como foi elaborada e desenvolvida nossa pesquisa.

3.1. Perfil metodológico

Nosso objetivo é analisar o engajamento dos alunos dentro de um conjunto de relações estabelecidas entre eles com o professor e com saber, durante aplicação de uma proposta didática previamente planejada para o ensino da Relatividade no Ensino Médio. Desejamos investigar como as atividades evidenciam certos comportamentos e permitem determinadas ações dos alunos e do professor em sala de aula e de que modo estes elementos se relacionam e propiciam discussões e debates sobre o tema.

Deste modo, a metodologia de pesquisa empregada neste trabalho é de natureza qualitativa, uma vez que pretendemos usar a coleta de dados, obtidos diretamente na fonte (ambiente), através do contato do pesquisador com a situação pesquisada, preocupando-se mais com o processo do que com o produto, de modo a retratar as perspectivas dos participantes (LÜDKE, ANDRÉ, 1986).

Defendemos ainda que o presente trabalho seja considerado um estudo de caso, a singularidade do objeto desta pesquisa reside justamente no fato de analisar uma sequência didática específica, associada a um curso de uma disciplina eletiva, aplicado no Ensino Médio de uma escola pública de tempo integral. Assim, estamos de acordo com as ideias apresentadas por Lüdke & André (1986) sobre:

[...] o estudo de um caso, seja ele simples ou específico [...] O caso é sempre bem delimitado, devendo ter seus contornos claramente definidos no desenrolar do estudo. O caso pode ser similar a outros, mas é ao mesmo tempo distinto, pois tem um interesse próprio, singular [...] O interesse, portanto, incide naquilo que ele tem de único, de particular, mesmo que posteriormente venham a ficar evidentes certas semelhanças com outros casos ou situações. Quando queremos estudar algo singular, que tenha um valor em si mesmo devemos escolher o estudo de caso (p. 17).

E entendemos que um estudo de caso pode contribuir para a compreensão dos fenômenos individuais, organizacionais, sociais e políticos complexos de forma a preservar as características holísticas e significativas dos eventos da vida real (YIN, 2001).

Reunindo estes apontamentos, reforçamos a importância em se considerar todo o contexto envolvido na aplicação da Sequência Didática quando olharmos as interações e as discussões promovidas em sala de aula com o auxílio da proposta.

3.2. A pesquisa

Tendo em vista a preocupação de proporcionar um ambiente que fomente o engajamento dos alunos durante aulas de Física, colocamo-nos frente ao seguinte problema:

“Como os alunos se engajam em atividades propostas a partir de uma Sequência Didática sobre Relatividade Geral no Ensino Médio?”

Com base no referencial teórico anteriormente apresentado, para nossa análise, lançaremos mão das atividades propostas pela Sequência Didática e do uso de nossa ferramenta de análise sobre evidências de EDP e do aparecimento de Situações Didáticas e A-Didáticas.

3.2.1. A escola, um contexto

Nossos dados foram coletados numa escola da Rede Pública do Estado de São Paulo, situada em um bairro de classe média-baixa, na região norte da cidade de São Carlos. Nesta escola, são oferecidas turmas de Ensino Fundamental II e Médio Regular, atendendo cerca de 380 alunos por ano.

Foi fundada no ano de 1979 e desde 2014 passou a fazer parte do programa “Escola Ensino Integral”. De acordo com as Diretrizes estabelecidas pela Secretaria de Educação do Estado de São Paulo, essas escolas contam com uma jornada de estudos maior que escolas estaduais regulares e incluem em sua matriz curricular a orientação de estudos, a preparação para o mundo do trabalho e o auxílio na elaboração de um projeto de vida. O Programa do Ensino Integral prevê, entre outros recursos, a oferta de disciplinas eletivas conjuntamente com as disciplinas regulares. Isto quer dizer que os alunos escolhem as disciplinas eletivas que querem cursar tendo em vista o conhecimento da ementa proposta e de acordo com suas motivações e objetivos pessoais. São oferecidas diferentes disciplinas eletivas concomitantemente a cada semestre. Na escola em que coletamos nossos dados, elas aconteciam no período vespertino. As vagas são limitadas e oferecidas para as três séries do Ensino Médio, a fim de formar um ambiente integrado que incentive a convivência e a troca de experiências. As propostas e os temas das disciplinas eletivas são elaborados por um grupo de, ao menos, dois professores de disciplinas distintas, “desde que trate de um assunto relevante e que seja abordado de modo a aprofundar os conteúdos da Base Nacional Comum” (SÃO PAULO, 2012, pg. 29). Isso revela a preocupação com a interdisciplinaridade como eixo metodológico para a abordagem dos temas explorados nas disciplinas eletivas. Além disso, elas são planejadas de modo a culminar com a realização de um produto ou evento a ser apresentado para toda a escola.

Essas informações são importantes para entender a organização da Sequência Didática, a disposição dos alunos durante as aulas e para traçar o perfil os participantes.

3.2.2. Os personagens da sala de aula

A fim de atrair o público alvo, cada disciplina eletiva oferecida na escola contemplava um nome dentro do assunto proposto, e por esse motivo era de comum conhecimento que os alunos participantes das nossas aulas já despertavam um certo interesse pelo tema. “A gravidade de Einstein” foi o título escolhido entre os professores responsáveis pela disciplina. Ficou explícito então pelo nome que haveriam discussões sobre a gravidade vista em uma perspectiva da ciência moderna. A figura 2 abaixo representa o cartaz de divulgação da disciplina.

Figura 2 - Cartaz de divulgação da disciplina eletiva.

Durante o período de escolha das disciplinas eletivas, percebemos grande interesse dos estudantes pelo nosso curso “a gravidade de Einstein”. Por questões de organização, espaço e disponibilidade de materiais 36 alunos foram indicados pelo corpo docente da escola para participar da mesma. Os estudantes selecionados cursavam o

1º, 2º ou 3º ano do Ensino Médio e possuíam faixa etária entre 15 a 17 anos de idade.

Pelo caráter interdisciplinar da disciplina já mencionado, as aulas ocorreram com o apoio dos professores de Física e Filosofia que eram responsáveis pelo planejamento, pela implementação e pela avaliação dos alunos.

O professor de Física já havido participado e recebido, anteriormente em suas aulas, projetos educacionais ocorridos na universidade, como, por exemplo, o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID). Este contato inicial foi importante para nossa entrada na escola e possibilidade de atuar nas aulas.

Ambos professores (de Física e de Filosofia) envolveram-se pouco nas discussões ocorridas durante as aulas, o que ficou a cargo desta pesquisadora e de uma aluna de iniciação científica do curso de Licenciatura em Ciências Exatas na USP de São Carlos. Contudo, ambos os professores participaram de forma efetiva dos momentos de planejamento das atividades e dos materiais, no auxílio às questões disciplinares, no controle de frequência dos alunos, na organização dos pequenos grupos de trabalho e na criação de uma comunidade virtual, onde adicionaram questões e links com notícias que poderiam auxiliar na discussão do tema, principalmente voltados à filosofia da ciência.

Uma vez que havia maior pré-disposição em trabalhar o tema e o material desenvolvido, as aulas foram ministradas pela investigadora desta pesquisa e as gravações de áudio e vídeo das discussões estabelecidas em aula foram feitas pela aluna de iniciação científica participante do projeto.

Depois da implementação da primeira aula da Sequência Didática, os encontros passaram a ocorrer com os alunos trabalhando em pequenos grupos e, a partir de então, foi selecionado um grupo para a gravação das discussões estabelecidas nesses momentos. A participação e frequência em aula foram critérios utilizados para esta seleção.

3.2.3. Preparação e organização das aulas

Antes da coleta dos dados, aconteceram reuniões semanais entre os professores da escola e esta pesquisadora para a definição do número de encontros, dos tópicos abordados e das atividades que aconteceriam em classe e extra-classe. Em conformidade com o calendário da escola, ocorreram 10 encontros em que foram trabalhadas atividades específicas da Sequência Didática. Outros quatro encontros ocorreram como atividades da disciplina eletiva e, nestes, houve a produção do trabalho final pelos alunos, que é apresentado na culminância da disciplina, e para visitas à Universidade de São Paulo (USP), no campus de São Carlos, em atividades de divulgação científica relacionadas ao tema da disciplina.

Ao longo da coleta de dados, semanalmente, havia encontros na escola ou no IFSC para planejamentos das aulas. Estas reuniões, contavam com a presença desta pesquisadora, dos professores da escola e dos docentes do Instituto de Física de São Carlos, Dr. Marcelo Alves Barros e Dr. Esmerindo Bernardes responsáveis pelo projeto na escola.

3.2.4. A gravação audiovisual como instrumento de obtenção dos dados

Para colocar em prática nossa investigação, pautamo-nos em duas fontes de informações: as gravações em áudio e em vídeo das discussões estabelecidas em sala de aula durante implementação da sequência didática sobre o tema “Relatividade Geral”.

Este tipo de coleta permite acesso a uma complexidade de detalhes subjacentes às interações ocorridas, tais como as falas, os gestos, entonações e ações manipulativas. Além disso, este tipo de procedimento permite revisitar as informações quantas vezes forem necessárias durante a análise, garantido uma maior fidelidade aos detalhes observados.

As aulas gravadas tiveram início em agosto e foram finalizadas em dezembro do ano de 2015. Ao todo, são 10 aulas gravadas cada uma com duração de 1 hora e 40 minutos.

Antes de iniciarmos a implementação da sequência didática e, conseqüentemente, a gravação das aulas, a escola emitiu um comunicado aos pais explicando o motivo das gravações e solicitando a concessão de imagem e do som para uso exclusivo como dados de pesquisas. Todos os alunos e/ou seus responsáveis autorizaram as gravações. Para preservar a identidade dos envolvidos, os nomes reais não foram mantidos nas transcrições das aulas.

Nas gravações, utilizamos duas câmeras e um gravador de áudio. Uma das câmeras estava posicionada de modo a captar os áudios e as imagens da sala toda. A outra câmera e o gravador de áudio foram posicionados estrategicamente em pontos próximos do pequeno grupo, de modo que fossem capazes de captar os sons de todos alunos do grupo.

As transcrições, portanto, se utilizaram de ambos os recursos de coleta, áudio e vídeo, a fim de confrontar os sons obtidos permitindo esclarecer dúvidas sobre a fala dos alunos. Mesmo assim em alguns momentos, pelo fato de ser uma sala numerosa, com muitas pessoas falando ao mesmo tempo, algumas falas não conseguiram ser ouvidas com clareza.

3.2.5. Transcrições e Episódios de análise

Escolhemos para análise a aula de número cinco por tratar de uma discussão de princípios importantes para a Relatividade⁶. A transcrição desta aula foi realizada na íntegra, procurando retratar fielmente cada fala escutada e, para melhor compreensão do que ocorria, mencionamos ações e gestos ocorridos.

Como mencionado anteriormente, os nomes dos estudantes e dos professores foram alterados a fim de manter a privacidade. Desta forma, na transcrição da aula analisada (Apêndice A) os alunos foram nomeados com o símbolo " A_n " e professores com a sigla " P_n ", onde n é um número inteiro.

A professora P_1 é considerada a docente principal, ela conduz a aula e é pesquisadora deste estudo. A professora P_2 é uma docente auxiliar, ela realiza as

⁶ Mais à frente, apresentaremos a sequência didática em sua íntegra. A aula escolhida para a análise é a aula 5.

filmagens, é aluna de iniciação científica e participante do projeto. A professora P₃ é docente de Filosofia da escola e o professor P₄ é docente de Física da escola.

A transcrição e a divisão dos turnos, marcados pelo revezamento de locutores e o conteúdo das falas, seguiram critérios de apresentação propostos por Preti (2000). O quadro 3 sintetiza algumas das normas de transcrição:

Quadro 3 – Critérios para transcrição das aulas estabelecidos por Petri (2000)

Ocorrências	Sinais
Incompreensão de palavras ou segmentos	(Inaudível)
Hipótese do que se ouviu	(Hipótese)
Entonação enfática	PALAVRA
Prolongamento de vogal ou consoante	::::
Silabação	-
Interrogação	?
Qualquer pausa	...
Comentários descritivos do transcritor	((comentário))
Superposição, simultaneidade de vozes	[Trecho sobreposto]
Indicação de que a fala foi tomada ou interrompida em determinado ponto. Não no seu início, por exemplo.	(...)
Citações literais ou leituras de textos, durante a gravação	“Trecho lido”

Organizamos a transcrição referente à aula que será analisada (Apêndice A), em um quadro composto por três colunas, nas quais estão explicitados o turno da fala, a transcrição integral da fala e os gestos e ações concomitantes que auxiliam na compreensão das operações e interações em curso. Já na apresentação dos episódios de ensino selecionados para análise, são adicionadas mais duas colunas onde estão presente os indicadores de EDP (Engajamento Disciplinar Produtivo) propostos por Souza (2015) e a tipologia da situação (Situação Didática ou A-Didática de Ação, de Formulação, de Validação ou Situação de Institucionalização) proposta por Brousseau (2008).

Os episódios de ensino são definidos pelos “momentos extraídos de uma aula, onde fica evidente uma situação que queremos investigar” (CARVALHO, 2011, p. 33). Quer dizer que para selecionarmos os episódios, precisamos recortar fragmentos dos

turnos que revelam interações significativas que auxiliam na busca de responder problemas de pesquisa em questão.

Com base na transcrição das falas ocorridas nas aulas como resultado da implementação das atividades, separamos nossa análise em sete momentos de interação ocorridos ao longo da dinâmica de sala aula. Esses momentos de interação revelam em que fase da discussão sobre o tema os alunos estão assim como demonstram se o professor está presente e interage com um grupo de alunos ou com a sala toda.

Na aula analisada nesta investigação foram encontrados um total de sete momentos, que foram separados em ordem cronológica dos acontecimentos ocorridos em aula: 1) retomada das discussões ocorridas da aula anterior, 2) apresentação da atividade, 3) realização da atividade pelos alunos no pequeno grupo, 4) comentários dos alunos quando eles terminam a atividade, 5) intervenção da professora no pequeno grupo, 6) reação dos alunos após a intervenção da professora e 7) sistematização da atividade pela professora com toda a turma.

Diante desse contexto, selecionamos os episódios de acordo com esses momentos, a fim avaliar como os alunos engajam-se com as atividades propostas nas diferentes perspectivas de interação na sala de aula. Os dados apresentados, receberam fidedignidade em apresentações frente ao grupo de pesquisa do LaPEF, Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física, em que discutíamos a interpretação dos mesmo de acordo com o referencial teórico e com ferramenta analítica proposta nesta pesquisa.

3.2.6. Extraíndo os dados da aula 5

Todas as atividades propostas em nossa Sequência Didática, são consideradas por nós, importantes e servem como base para o entendimento da Relatividade Geral. Ressaltamos esse fato recordando que nessa pesquisa investiga-se o engajamento dos estudantes nas diferentes situações didáticas ocorridas em atividades que compõem uma Sequência Didática sobre Relatividade Geral.

A Sequência Didática utilizada, apresentada a seguir, é composta por oito atividades desenvolvidas em dez aulas. Para nossa análise selecionamos a atividade 4, realizada na aula 5, cujo tema abordado é o Princípio da Relatividade de Galileu.

Escolhemos esta aula por apresentar diversos momentos de interação em que há discussão sobre o tema. A atividade proposta estabelecia a análise de situações hipotéticas via experimentos mentais e se baseava na resolução teórica de problemas, criando um ambiente propício para o levantamento de hipóteses, o debate entre pares e consequentemente, a construção colaborativa de ideias e explicações.

Outro aspecto que pauta a seleção desta aula para análise está envolvido com elementos do próprio tema, uma vez que ele é importante para o entendimento das leis que governam o mundo físico, segundo o qual há uma classe de fenômenos que se manifestam independentemente da escolha do referencial, tornando-o importante para fundamentar discussões posteriores acerca dos postulados da Relatividade Especial e da Relatividade Geral.

A seguir apresentaremos com mais detalhes a organização dos conteúdos trabalhados em sala de aula, assim como os materiais e recursos oferecidos aos alunos.

3.3. Fundamentos da Sequência Didática utilizada

Procurando criar um ambiente propício para a investigação desta pesquisa e contribuindo com a produção de materiais didáticos que auxiliem no ensino da Relatividade Geral, mostraremos a seguir como nossa sequência foi desenhada.

Como mencionado na introdução deste trabalho, o tema da Relatividade Geral envolve tópicos que já fazem parte do interesse próprio de muitos estudantes. Pensando nisso, desejamos propor um ensino que leve os alunos a envolverem na busca dos conhecimentos científicos em sala de aula, possibilitando o contato dos alunos com aspectos do fazer científico.

Nossa Sequência Didática, ou sequência de atividades de ensino/aprendizagem, foi definida por “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (ZABALA, 1998, p.18).

A elaboração das atividades contou com algumas das ideias trazidas pela metodologia da Engenharia Didática (ARTIGUE, 1996) como análise preliminar, concepção e análise a priori e experimentação, assim como atividades de base já desenvolvidas em pesquisas e projetos educacionais. Mas a estrutura final da Sequência Didática obteve sua forma final quando foi considerado o contexto de implementação.

3.3.1. Os elementos constituintes da Sequência Didática

O ponto de partida da Sequência Didática proposta nesta pesquisa foi inicialmente baseada em recursos didáticos de domínio público desenvolvidos pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e pela Universidade de Stanford (Range, 2004) como sub produto do Projeto Gravity Probe B (GP-B), uma missão que visava verificar experimentalmente efeitos previstos pela Relatividade Geral: a medida da curvatura do espaço-tempo ao redor da Terra e o arrastamento do espaço-tempo dado pela rotação da Terra. Um conjunto de materiais educacionais e atividades práticas foi criado, testado e aperfeiçoado durante um período de 8 anos, pelo grupo GP-B Educação e Divulgação Pública (E&PO), com o objetivo de traduzir os dados observados para o idioma familiar da Física do Ensino Fundamental e Médio, tornando-o também acessível ao público em geral.

Os materiais didáticos propostos estão disponíveis para serem baixados gratuitamente na plataforma virtual da missão⁷, são de domínio público e podem ser usados para reprodução. O guia *“Gravity Probe B: Examinando espaço-tempo de Einstein com giroscópios”* (tradução nossa) encontram-se em formato PDF e foi organizado para o uso de educadores e alunos.

⁷ <https://einstein.stanford.edu/>

Figura 3 – Capa do guia do Educador -
Gravity Probe B: Examinando espaço-tempo de Einstein com giroscópios

Este guia fornece uma visão geral da história, ciência e tecnologia da missão, incluindo uma introdução à teoria do espaço-tempo curvo de Einstein. Ao final do guia são distribuídas seis atividades para serem trabalhadas em sala de aula. Em nosso trabalho usaremos as atividades traduzidas e adaptadas por Jorge Augusto Mendes Geraldo e Esmerindo Bernardes. O quadro 4 a seguir lista todos os temas e atividades trabalhadas nesta proposta, as quais delinearam inicialmente nossa Sequência Didática.

Quadro 4 - Organização das atividades propostas pelo GP-B Guia do Educador

Atividade	Objetivo
1 - Entendendo a Gravidade de Newton	Observar o efeito de um ímã sobre bolinhas e associar este efeito à hipótese central da gravitação de Newton: que a gravidade é transmitida instantaneamente pelo espaço.
2- O Princípio da Equivalência	Os estudantes realizarão atividades que os levarão a suspeitar se a gravidade é realmente uma força.
3- A rapidez da Gravidade?	Os estudantes devem calcular o tempo gasto para que os planetas sintam a gravidade do Sol.
4- Modelos de Espaço-Tempo	A partir de um modelo do espaço-tempo construído com tecido, tubos de PVC e bolinhas, os estudantes devem levantar questões importantes sobre seu mecanismo.
5- Arrastamento do Espaço-Tempo	Através de um modelo simples, os estudantes poderão ver como a rotação da Terra pode afetar objetos no espaço próximo a ela.
6- A Física dos Giroscópios	O que é um giroscópio e qual o seu papel na tentativa de verificar o efeito de arrastamento do espaço-tempo.

Dado o nosso primeiro olhar para essas atividades, percebemos que, em linhas gerais, as atividades seguem um percurso lógico evidenciando as necessidades de questionar a teoria da gravidade newtoniana para entender como Einstein chegou à ideia de curvatura do espaço-tempo como uma alternativa. Nesta perspectiva nos perguntamos primeiramente se esses elementos eram suficientes para a implementação da sequência no nosso contexto de sala de aula.

Considerando o contexto de seu desenvolvimento no escopo da divulgação da missão, em especial as atividades 5 e 6 não foram aproveitadas nesta pesquisa, por tratarem de temas mais específicos da compreensão dos conceitos relacionados ao GP-B e seu funcionamento.

Um olhar mais apurado desse material didático foi feito e discutido nas reuniões com os participantes deste projeto: dois professores universitários, um da área de ensino de Física e outro um físico-teórico, ambos docentes da USP; a aluna bolsista de iniciação científica e a pesquisadora deste estudo, as mesmas que participaram das implementações das atividades. Nesta etapa, não tínhamos ainda a presença dos professores de Física e de Filosofia da escola onde aplicamos a sequência didática.

Nossas discussões estavam voltadas à compreensão dos elementos presentes nas atividades, da forma como foram organizados e apresentados os temas. Para

entender melhor as considerações que darão forma a nova sequência de atividades, descreveremos brevemente as principais ideias das atividades que selecionamos como base de nossa proposta.

a) Atividade 1 - Entendendo a Gravidade de Newton

A primeira atividade do material propõe aos alunos o desafio de contornar uma bolinha de aço em torno de um ímã circular. A partir dessas tentativas os alunos deveriam observar e descrever o que acontece nas diferentes tentativas em que eles rolam a bolinha. O material indica que os estudantes analisem a velocidade, direção de lançamento e posição inicial bolinha e seus efeitos, a fim de discutir as interações ocorridas pela força de atração do ímã. Na introdução da atividade há uma breve apresentação sobre as ações da gravidade como uma força de atração entre os objetos na perspectiva da Teoria da Gravitação de Newton. O texto centraliza essa ideia no contexto das interações entre os planetas e cometas com o Sol.

O objetivo da atividade é demonstrar como os planetas orbitam o Sol a partir de uma força (gravitacional) que age a distância, ou seja, é transmitida instantaneamente pelo espaço de um corpo ao outro. O ímã representa o Sol; seu campo magnético representa o campo gravitacional do Sol. A bolinha representa um planeta movendo-se próximo ao Sol. É um desafio imenso fazer a bolinha contornar o ímã por “tentativa e erro”, pois isto requer uma velocidade e posição inicial únicas, como faz um planeta que permanece em órbita em torno do Sol.

A atividade também tem o propósito de levantar suposições acerca das questões: Como pode um planeta “sentir” a gravidade solar? Como um planeta sabe que o Sol está Lá? Além disto, como a gravidade solar avança espaço afora? A gravidade é como a luz, que não precisa de um meio para propagar-se, ou a gravidade é como o som, que precisa de um meio material para propagar-se?

b) Atividade 2 - O Princípio da Equivalência

A segunda atividade propõe uma série de discussões entre os alunos a partir de experimentos, seja eles mentais ou com uso de materiais, a fim de discutir a queda de corpos a partir da ideia da força de atração gravitacional. O primeiro procedimento sugere que os alunos imaginem o esforço realizado para empurrar uma carruola, vazia ou cheia de cimento. Os estudantes são levados a discutir sobre o peso, o esforço realizado ao empurrá-la, o tempo de queda das carruolas caindo simultaneamente de uma mesma altura e sobre a intensidade da força gravitacional. O segundo e o terceiro procedimentos estão relacionados às hipóteses e às evidências da queda de objetos reais, que possuem as mesmas dimensões e massas diferentes. A ideia da atividade é perceber que os objetos caem em direção ao chão e atingem o solo simultaneamente, independentemente de sua massa. Isto é contra intuitivo, pois nós assumimos que objetos mais pesados caem mais rapidamente. O quarto procedimento, também através de um experimento mental, aborda os mesmos experimentos já discutidos anteriormente, mas aqui eles passam a estar numa nave longe de influências gravitacionais em duas situações diferentes: em repouso ou em um movimento acelerado. Essas ideias são trabalhadas em atividades que devem ser realizadas pelos alunos com o intuito de introduzir os conceitos presentes no Princípio da Equivalência.

No final do material é apresentada a visão de Einstein para o motivo da aceleração simultânea na queda dos corpos, a ideia de que o espaço-tempo ao redor da Terra está curvado em direção ao centro da Terra, e objetos “caem” porque eles estão seguindo o único caminho neste espaço-tempo curvado.

c) Atividade 3 - A rapidez da Gravidade?

A fim de confrontar as situações criadas na atividade anterior, a terceira atividade apresenta a seguinte questão: assumindo que nada poderia viajar mais rápido que a luz, incluindo qualquer energia ou forças, e a luz não pode propagar-se instantaneamente pelo universo, como poderia a gravidade fazê-lo?

Neste contexto não há qualquer atividade ou passagem que explique a Relatividade Especial e suas consequências. São apenas dadas informações da velocidade da luz e que ela é limite. Assumindo tal informação, os alunos calcular o tempo gasto para que os planetas sintam a gravidade do Sol, os valores encontrados no tempo são provas que elas não podem ser instantâneas.

Há uma série de observações que devem ser feitas pelos alunos com o intuito de refletir sobre esse assunto.

d) Atividade 4 - Modelos de Espaço-Tempo

A partir de uma estrutura parecida com a atividade 1, mas entendendo a força gravitacional como a geometria de um espaço-tempo deformado pela presença de matéria. Os alunos usam uma estrutura com tecido e massas diferentes para investigarem o porquê o espaço-tempo é curvado próximo a aglomerados de massa e energia (planetas, estrelas, galáxias, buracos negros, etc.), fazendo com que os planetas e luas orbitem e com que a luz se curve. As atividades são apresentadas através de desafios que os alunos podem tentar realizar com os materiais a fim de responder as questões que discutem os conceitos presentes na Teoria da Relatividade Geral. Ao final das atividades são dadas informações sobre os primeiros testes feitos e que serão utilizados que buscam verificar na prática a teoria.

3.4. A Sequência Didática utilizada

A partir do conhecimento dessas atividades e de nossas reflexões, realizamos uma revisão de artigos apresentados na literatura que poderíamos para auxiliar na adaptação dessas atividades e na produção de novas. Nossa busca iniciou-se nos trabalhos publicados que abordam a Relatividade com implicações no ensino.

Embora haja uma diversidade de trabalhos (KARAM, 2007, 2006; VELARD, 2002; BERMAN, 1987; VILLANI, 1980; ARRISASSECQ, 2002, 2006; MEDEIROS, 2005; OSTERMANN, 2004, 2005; KOHNLEIN & PEDUZZI, 2005; GUERRA *et al*, 2007; NICOLAU JUNIOR, 2014) que aponta a Relatividade como parte do currículo de Física

no Ensino Médio, percebe-se que há uma escassez em relação ao ensino de Relatividade Geral, especificamente. A maioria dos trabalhos existente está vinculada à teoria da Relatividade Especial, em especial com temas de relevância para esta pesquisa no que se refere: a) às dificuldades do ensino da Relatividade Especial em decorrência dos obstáculos epistemológicos dos alunos; b) do uso inadequado e de representações errôneas dos conceitos presentes principalmente em livros e materiais didáticos; c) de visões distorcidas quanto as abordagens históricas.

Também a produção e análise de implementações didáticas sugerem o uso materiais didáticos que buscam ilustrar o Princípio da Equivalência a partir de objetos lúdicos e os efeitos de deformação espacial e da dilatação temporal a partir de diagramas e da aproximação com a obra de Salvador Dalí, assim como atividades que usam abordagens histórico - filosófica que contribuem à receptividade dos alunos com o tema e na percepção da participação de outros personagens além do Einstein com problemas envolvidos na época do surgimento das teorias, incluindo, por exemplo, o Princípio da Relatividade de Galileu que pode contribuir para uma ênfase nos aspectos conceituais da física e servir também como uma porta de entrada para o tratamento de tópicos da relatividade.

Considerando esta busca e o material anteriormente mencionado, nossas ampliações e incursões de informações adicionais e suas atividades para o desenvolvimento da nossa Sequência Didática buscam dar conta de tratar de:

1. Elementos de abordagem histórico-filosófica da ciência;
2. O Princípio da Relatividade de Galileu a fim de confrontar a invariabilidade da velocidade da luz como um novo princípio;
3. Conceitos da Relatividade Especial para confrontar a ideia da perda de simultaneidade, fusão entre espaço e tempo, a dilatação temporal e a contração espacial;
4. Elementos trazidos pela teoria da Relatividade Geral como possíveis geometria do espaço-tempo, geodésica, buracos de minhoca e ondas gravitacionais.

No diagrama abaixo, apresentamos três blocos que sintetizam a Sequência Didática utilizada.

Diagrama 1 – Estrutura dos temas da Sequência Didática

Também é possível organizar inicialmente os temas em atividades dentro do tempo previsto em número de aulas (quadro 5). Antes de apresentar esta composição, destacamos a inclusão de uma atividade de abertura das discussões sobre a tema a partir sessão do filme Interestelar. Pois é acreditamos que possa despertar o interesse dos alunos em saber se os acontecimentos, dos quais não vemos no dia-a-dia, que ocorrem no filme são cenas de ficção ou são baseadas em teorias científicas.

Quadro 5 – Blocos, atividades e tempo de duração

Bloco	Atividade e temas	Aulas*
1	Sessão e discussão do filme <i>Interestelar</i>	Aula 1
	Gravidade newtoniana	Aula 2
	Princípio da equivalência	Aulas 3 e 4
2	Princípio da Relatividade de Galileu	Aula 5
	A velocidade da luz	Aula 6
	Teoria da Relatividade Especial: Invariabilidade, Simultaneidade, Relógio de luz e Salvador Dalí	Aulas 7 e 8
3	Espaço- tempo: constelação 3D e diagrama	Aula 9
	Teoria da Relatividade Geral: Diagrama espaço-tempo e geodésica	Aula 10

*cada aula tem duração de 1 hora e 40 minutos

Todas as atividades desenvolvidas foram organizadas para que os alunos trabalhassem em grupo na resolução de uma situação problema. Desta forma, as atividades sugerem aos alunos questões e problemas relacionados ao tema e/ou aos fenômenos naturais. Nossa hipótese é que, proposto desta maneira, os alunos tenham um ambiente propício para o debate e portanto, podem engajar-se durante a aula.

No intuito apresentar nossa proposta descreveremos a seguir cada uma das atividades, explicitando nossas intenções e objetivos a elas associados quando do planejamento da sequência didática. O material completo das atividades e das discussões que podem ser feitas pelo professor encontra-se nos apêndices do trabalho (Apêndice B) e ali, está formatado do mesmo modo que o utilizado em sala de aula.

a) Atividade 1 - Sessão e discussão do filme Interestelar

A atividade inicial da sequência propõe a discussão de temas que envolvam conceitos e fenômenos científicos a partir da exibição e análise de cenas de um filme.

Escolhemos o filme *Interestelar* (2014), dirigido por Christopher Nolan em colaboração com o físico teórico Kip Thorne, por ser um gênero de ficção científica. Portanto, é abordado durante toda a trama acontecimentos ligados à ciência, neste filme especificamente, conceitos sobre a Relatividade Especial e Relatividade Geral.

O objetivo da exibição deste filme em sala de aula, principalmente no início da Sequência Didática, serve de conexão entre os conhecimentos prévios dos estudantes e o assunto que se pretende abordar.

Por se tratar de um filme de longa duração, não há necessidade e pretensão de exibi-lo na íntegra. Por isso foram recortadas as cenas relevantes para o debate pretendido, suficientes para ser assistido em uma aula. O intervalo de tempo das cenas selecionadas pode ser consultado no apêndice C.

Para uma melhor compreensão do enredo do filme, o roteiro dado aos alunos descreve a sinopse e apresenta um guia das observações das cenas, para que eles possam identificar e refletir sobre o que se vê nas situações exibidas pelos recortes. Terminada a sessão, é sugerida uma roda de discussão entre toda a turma com o intuito de retomar as cenas indicadas no guia e as que chamam a atenção dos estudantes.

Para auxiliar o debate, o material didático apresenta questões com o intuito de levantar os conhecimentos dos alunos sobre o tema. Elas proporcionam a discussão de alguns conceitos ligados a física como: gravidade, medições temporais, relatividade, dimensões, buraco negro e viagens interestelares. Há por exemplo perguntas como o porquê dos objetos caírem, se o tempo passa igualmente para todos os personagens, se os astronautas flutuam todo tempo no espaço, o que seria Buraco Negro e o caminho de minhoca e se as viagens interestelares são possíveis.

Nosso objetivo principal é resgatar os conceitos já aprendidos pelos alunos a partir de fenômenos ocorridos nas cenas com o intuito de apresentar e despertar o interesse dos alunos pelo tema, no caso a relatividade.

b) Atividade 2 - Gravidade newtoniana

Esta atividade é uma adaptação de uma proposta do material da NASA em que foi chamada de “Observando a Gravidade de Newton”. Antes de dar início ao experimento proposto por eles, adicionamos uma introdução sobre a queda dos objetos com o propósito de discutir o porquê isso acontece.

A ideia de gravidade é apresentada no seu contexto histórico, surgida na antiguidade, no significado da palavra de origem, na razão de alguns acontecimentos

diários e na visão estabelecida por Newton. Incluímos também uma discussão sobre quais foram as contribuições do cientista abordando a falsa ideia de que ele “descobriu” a gravidade.

Neste momento da atividade são levantadas questões iniciais sobre a força de atração entre os corpos como: porque alguns corpos são atraídos para o centro da Terra enquanto outros orbitam ou só desviam sua trajetória? Porque os corpos menores se movem em direção aos corpos maiores? Como a força da gravidade é transmitida e quanto tempo isso demora?

Na fase da atividade experimental feita pelos alunos e já descrita anteriormente onde eles apresentavam as atividades decorrentes dos projetos educacionais da missão Gravity Probe B, foi oferecida uma estrutura para investigação do movimento das bolinhas de aço em torno do ímã (Figura 4)

Figura 4 – Alunos manipulando o material didático produzido pela oficina do Instituto de Física da USP de São Carlos

O propósito desta atividade não é ensinar gravitação através da força magnética, uma vez que são de naturezas diferentes. Portanto é importante ressaltar durante a atividade as diferenças, vantagens e desvantagens de usar esta estratégia envolvendo a analogia, já que a força gravitacional é uma força atrativa e a força magnética é tanto atrativa como repulsiva.

É um desafio imenso fazer a bolinha contornar o ímã por “tentativa e erro”, pois isto requer velocidade e posição iniciais únicas, como faz um planeta que permanece em órbita em torno do Sol. Esta ideia abre espaço para levantar suposições sobre como a gravidade funciona: como a gravidade solar avança espaço afora? A gravidade precisa de um meio para propagar-se?

Na discussão final da atividade é apresentada um trecho da obra *Principia - O sistema do mundo* (1687) de Newton e da sua ideia do experimento da bala de canhão para entender o motivo de alguns objetos caírem em volta da Terra e não para o centro dela.

c) Atividade 3 - Princípio da Equivalência

A atividade 3 também é uma adaptação dos materiais fornecidos pela NASA. Ela está dividida em etapas e deve ser abordada em duas aulas. O objetivo destas aulas é estudar a queda de objetos a partir do repouso em situações que há presença ou ausência de campos gravitacionais.

Na introdução do material fornecido aos alunos, retomamos algumas ideias levantadas na aula anterior, a fim de conectar com tema que virá a seguir. A primeira etapa da atividade, que também deve ser feita em grupo, procura relacionar através da análise de um experimento mental o tanto que a gravidade puxa um objeto (o peso do objeto; respondendo à força gravitacional) e o tanto que o objeto resiste a esta força (a inércia do objeto; massa inercial respondendo a uma mudança de movimento).

A parte 2 tem por objetivo testar hipóteses sobre o tempo de queda dos objetos: quem cai primeiro? Em um primeiro momento são usadas bolinhas iguais e de massas diferentes. Em um segundo momento deveriam ser testadas a queda de duas folhas de massas iguais e porém uma perfeitamente esticada e a outra totalmente amassada.

Ao final dessas etapas é sugerida a discussão do professor com a turma inteira sobre os resultados obtidos e da queda de corpos em locais que não há a resistência do ar, por exemplo, na lua ou no vácuo. Para isso recomendamos o uso de vídeos que mostrem a experiência.

As etapas 3 e 4 abordam especificamente o princípio da equivalência. Na etapa 3 os alunos deveriam imaginar-se numa nave longe do campo gravitacional em que eles

pudessem realizar os seguintes experimentos: queda de duas bolinhas enquanto flutuam na nave e quando ela passa a realizar um movimento acelerado. Depois da realização da atividade pelos alunos o Princípio da Equivalência deve ser apresentado.

Através da manipulação do Brinquedo de Einstein (figura 5), a última etapa discute a ideia do elevador de Einstein

Figura 5 – Montagem experimental do brinquedo de Einstein

No fechamento da atividade, sugerimos a discussão da ideia do elevador apresentada por Einstein, assim como a aplicação dos conceitos debatidos em cenas do filme *Interestelar*, uma vez que os astronautas mostrados no filme, quando estão longe de campos gravitacionais, passam a andar normalmente na nave quando ela começa a girar com aceleração da gravidade.

d) Atividade 4 - Princípio da Relatividade de Galileu

A atividade 4 aborda o Princípio da Relatividade de Galileu, com intuito de explorar a ideia de que movimento e repouso são indistinguíveis, ou seja, não há movimento ou repouso absoluto.

A primeira etapa da atividade, que deve ser discutido entre o grupo de alunos, traz um problema a ser resolvido: você está em movimento ou em repouso? Essa questão central foi abordada na atividade da seguinte forma: primeiro apresentamos a informação de que no repouso não há mudança de posição no decorrer do tempo e no movimento há mudança de posição no tempo.

A partir daí os alunos deveriam realizar dois experimentos mentais. Cada experimento consistia em imaginar uma situação hipotética e discutir questões relacionadas a tais situações. O primeiro tinha o objetivo de diferenciar o estado de

repouso e movimento a partir de referenciais distintos. O segundo está relacionado com a possibilidade ou não de diferenciar o estado de repouso do movimento uniforme através de experimentos feitos dentro do referencial adotado.

Depois da análise e discussão dos alunos nos grupos é apresentada um trecho da obra de Galileu Galilei, *Diálogo sobre os dois principais sistemas do mundo* (1631), em que se apresenta o Princípio da Relatividade de Galileu. Ao final, é levanta a questão de se este princípio da relatividade vale para a luz.

e) Atividade 5 - A velocidade da luz

Seguindo a questão levantada anteriormente, esta atividade propõe um experimento a fim de calcular a velocidade da luz a partir do uso do micro-ondas. Antes de começar o experimento, inserimos na introdução uma breve explicação sobre a natureza da luz vista como uma onda, no caso especificamos algumas características como comprimento de onda, frequência, reflexão, interferência e o conceito de onda estacionárias. Assim como a ideia do espectro das ondas eletromagnéticas para entender que a luz visível é da mesma natureza das micro-ondas.

Os alunos têm que investigar uma posição dentro do aparelho micro-ondas onde, ao aquecer uma massa de macarrão instantâneo para lasanha sem a presença do prato giratório, eles devem encontrar a presença de dois máximos de aquecimento. Esses máximos representarão dois pontos onde há interferência construtiva entre as ondas refletidas pelas paredes do forno.

Isto permite que os alunos encontrem o comprimento de onda, já que a distância encontrada entre os pontos revela uma aproximação do valor de meio comprimento de onda. Os alunos devem também procurar informações sobre a frequência das micro-ondas, que podem ser encontradas nas etiquetas que apresentam informações sobre o aparelho.

Sabendo essas informações eles podem calcular um valor próximo da velocidade da micro-onda e portanto a velocidade da luz. Durante toda a atividade são levantadas questões sobre o que acontece na massa de lasanha, o que significa os padrões de aquecimento e sobre a diferença entre o valor da velocidade da luz obtido experimentalmente e o valor teórico.

Com base nesse valor e nas discussões feitas na atividade anterior, levanta-se a questão do referencial: ele vale para os casos em que a luz está em jogo?

f) Atividade 6 - Teoria da Relatividade Especial

Esta atividade também deve ser trabalhada em duas aulas, por possuir várias etapas de discussão. A partir do resgate do que os alunos viram até então, introduz-se considerações feitas por Einstein sobre a luz, incluindo os postulados por eles propostos em sua Teoria da Relatividade Especial.

Apoiados nessas informações os alunos devem discutir questões ligadas aos experimentos mentais que abordam a invariabilidade da velocidade da luz e simultaneidade. No caso da simultaneidade é apresentado um simulador.

Após feito o fechamento das ideias apresentadas por toda a turma, os alunos iniciam uma nova discussão baseada na análise da ideia de um experimento de pensamento denominado relógio de luz cujo o foco conceitual está articulado a constância da velocidade da luz. Este experimento é imaginado em uma nave que viaja horizontalmente com velocidade constante, onde um astronauta emite um pulso de luz na vertical e ele refletido ao atingir um espelho. Os alunos devem além disso calcular o intervalo de tempo medido a partir de diferentes referenciais e relacionar o resultado com a obra de Salvador Dalí, *A Persistência da memória*.

Sugerimos que os alunos analisem a obra e tentem relacionar com resultados obtidos e apresentar em um cartaz suas considerações. Feito isso os grupos devem realizar uma apresentação simultânea de suas reflexões, revezando entre os grupos para que possam além de exibir suas ideias ouvir as de outros grupos. Esta etapa da atividade tem o propósito de introduzir o conceito de dilatação temporal como consequência dos postulados da Relatividade Especial, mostrando os impactos que esta revelação aparece em obras de arte da mesma época. Além disso, essa informação se torna relevante quando volta-se a cenas do filme em que isso também acontece.

g) Atividade 7 - Espaço- tempo

A atividade 7 propõe a construção de uma constelação 3D através das informações da distância em ano luz que cada estrela conte. Finalizada esta etapa o material levanta questões sobre dimensões espaciais e temporais, assim como a ideia de olharmos uma luz vinda do passado.

Na segunda etapa os alunos devem usar imagens de um folioscópio, a fim de compreender diagrama espaço-tempo para velocidades constantes. A dilatação do tempo e contração do espaço devem ser apresentadas e discutidas no final.

h) Atividade 8 - Teoria da Relatividade Geral

A última atividade da Sequência Didática, baseada em materiais da NASA, resgata todos os conteúdos trabalhados durante as aulas anteriores e com o intuito de finalmente trabalhar a Teoria da Relatividade Geral.

Na primeira parte da atividade os alunos montam um diagrama espaço-tempo a partir de dados de uma tabela que apresenta os valores do intervalo de tempo e da mudança de posição de um objeto em queda livre. Pela observação do diagrama resultante e comparando com outro diagrama feito anteriormente na ausência de qualquer aceleração, os alunos são apresentados ao conceito de geodésica.

Em outra parte da atividade, os alunos passam a estudar a ideia de geodésica para novas geometrias espaciais. É usado uma folha para a geometria plana e uma esfera de isopor para a geometria curva.

Através de alguns procedimentos, desenhos nas superfícies da folha e da esfera, e com ajuda de um palito de dente quebrado ao meio representando a ideia de um vetor, os alunos devem observar o não paralelismo absoluto no espaço curvo. Para continuar a discussão dessas ideias, usa-se a representação desses espaços curvados num plano através da obra *Círculo limite III* (1959) ilustrado pelo artista gráfico Maurits Cornelis Escher.

Aproveitando esse momento é apresentada a visão da geodésica no espaço-tempo quadrimensional, dando a entender que os corpos seguem geodésicas no espaço-

tempo curvo. Desta forma podemos questionar quem deforma a estrutura do espaço-tempo.

O fim da sequência didática é representado pela visão da gravidade Einstein, contida em sua Teoria da Relatividade Geral. Utiliza-se a mesma estrutura da atividade 2, sobre a Gravidade Newtoniana, porém agora com o auxílio de um tecido esticado representado de forma simplificada e bidimensional o espaço-tempo e de bolinhas de massa diferente.

Foi proposto que os alunos realizassem uma série procedimentos usando a analogia da deformação de um tecido (espaço-tempo) com a presença de uma grande massa e o movimento de pequenas massas em torno dela. São discutidos os conceitos relacionados às trajetórias, retomando a ideia da atividade 1 sobre órbitas e a ideia de lente gravitacional.

Sugerimos ao final da discussão apresentar as aplicações dessa nova visão de gravidade como a precessão anômala a órbita de mercúrio, deflexão da luz na presença de grandes massas, desvio para o vermelho gravitacional, atraso temporal de Shapiro, ondas gravitacionais e os arrastamentos do Espaço-tempo.

4. AS SITUAÇÕES DIDÁTICAS NA SALA DE AULA: UM OLHAR PARA O ENGAJAMENTO DOS ALUNOS

Professora diz:

_"Em um barco há 15 cabras e 26 ovelhas. Qual é a idade do Capitão?"

Alunos respondem:

_"41 anos!"

Problema: A idade do Capitão (BROUSSEAU, 2013).

A situação exposta acima refere-se à implementação do problema: A idade do Capitão. Este teste foi feito em 1979 pelos pesquisadores do IREM, da Universidade Joseph Fourier, em Grenoble, na França. Notamos que mesmo que não seja possível responder tal questão, por falta de informações suficientes, quando a professora pergunta aos alunos, eles prontamente respondem "41 anos".

Ao analisarmos a resposta dada pelos alunos, chegamos à conclusão de que eles somaram o número de cabras com o número de ovelhas presentes no barco e disseram que esta era a idade do capitão. Ao investigar o motivo de tal resultado, os pesquisadores questionaram as crianças sobre o porquê da resposta e elas disseram "Porque a professora perguntou!".

Essa situação nos leva a refletir sobre a análise dos dados desta pesquisa. Os temas trabalhados e a forma como foram propostas as atividades que compõem a nossa Sequência Didática sobre o tema Relatividade Geral, quando implementadas, permitem nos dizer que alunos as realizam porque eles realmente assumiram a responsabilidade sobre o resultado da situação problema?

Neste momento voltamos nossa atenção para as interações discursivas ocorridas em sala de aula, pois é por meio delas que as falas e expressões corporais revelam a produção de ideias, opiniões, hipóteses, argumentos dos alunos e portanto podemos observar como os conceitos são construídos e revelados.

A partir dos referenciais teóricos anteriormente mencionados, em nossa análise procuraremos integrar as observações e evidências mostrando de que modo os alunos

engajam-se durante as interações nas diferentes situações em sala de aulas (Situação Didática; Situação A-didática de Ação, Situação A-didática de Formulação, Situação A-didática de Validação; Situação de institucionalização) (BROUSSEAU, 2008).

Também procuramos identificar se há engajamento dos estudantes com a proposta e, em havendo, classificaremos em *Engajamento (E)*, *Engajamento Disciplinar (EP)* e *Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP)*, conforme as categorias propostas por Souza (2015), com base no trabalho de Engle e Conant (2002).

Com base nessas ideias poderemos analisar: Qual o modo de resolução das atividades e como eles se manifestam? Os alunos realizam a tarefa pois há um interesse próprio em fazê-la? Novamente, será por meio das interações ocorridas e através das características emocionais, evidente no discurso e nas ações dos alunos, que serão reveladas a forma com que eles participam na resolução do problema e o nível de engajamento dos alunos na comunicação, na construção e na sofisticação de ideias como consequência da aplicação das atividades propostas.

4.1. Análise das interações em sala de aula

Iniciaremos nossa análise por meio da observação dos dados obtidos pela transcrição das aulas gravadas. Apresentaremos alguns episódios selecionados como expressivos para esta investigação. Nas páginas que seguem mostraremos apenas as transcrições destes trechos junto de nossas observações, uma vez que a transcrição completa dessas aulas pode ser encontrada nos apêndices deste trabalho.

Importante retomar que as aulas buscam reproduzir as atividades conforme são descritas na Sequência Didática proposta e são organizadas de acordo com uma dinâmica comum em que são demarcados diferentes momentos de interação, ou seja, momento de interação do professor com o grande grupo, interação aluno-aluno no pequeno grupo e interação do professor com pequeno grupo. Aliás, os episódios serão apresentados de acordo com esses momentos.

Ambas aulas iniciam-se com a retomada das discussões ocorridas no encontro anterior com o objetivo de relembrar conceitos importantes e fundamentais para os novos debates. Posteriormente há uma discussão prévia sobre o novo tópico a ser tratado, são

levantadas questões com o propósito dos alunos relacionar informações já conhecidas com novas ideias. A aula segue com a exposição da atividade impressa no material e a partir daqui os alunos iniciam a atividade por conta própria, com discussões em pequenos grupos. Após certo tempo a professora realiza algumas intervenções nos pequenos grupos. Por fim, a atividade é finalizada com o compartilhamento de ideias e hipóteses de todos os grupos, onde a professora realiza a sistematização e fechamento da atividade.

Embora as atividades tenham sido discriminadas no capítulo de apresentação da Sequência Didática, abordaremos durante a análise alguns detalhes da proposta a fim de tornar mais claro o tema abordado no episódio ocorrido. Dentre todas as aulas gravadas, no total de 10 aulas nas quais a sequência didática foi aplicada, centramos nossa análise na aula 5. Tais aulas tratam os temas do Princípio da Relatividade de Galileu e do Princípio da Equivalência, respectivamente.

A seguir apresentaremos os episódios dessas aulas seguidos de nosso entendimento sobre análise dos resultados.

4.1.1. Episódios ocorridos na aula 5

Analisaremos agora as transcrições dos debates ocorridos na aula 5 da qual foram selecionados 8 episódios de ensino.

Esta aula iniciou-se com os alunos já dispostos nos grupos definidos desde a primeira aula da implementação da Sequência Didática. Além dos alunos, estavam presentes neste dia: a professora principal (P_1), a professora auxiliar (P_2) e a professora de Filosofia da escola (P_3). O professor de Física da escola (P_4) não estava presente neste dia, pois precisou se reunir com a coordenação da escola.

4.1.1.1. *Momento 1: Retomada das discussões ocorridas no encontro anterior*

Este momento de interação entre a professora principal (P_1) com a turma toda tem duração de 4 minutos e compreende os turnos 1 ao 37. Inicialmente a professora (P_1)

retoma as ideias discutidas na atividade da aula anterior, sobre o *Princípio da Equivalência*, e relembra alguns pontos acerca da gravidade que foram vistos ao longo das aulas passadas: gravidade como uma força de atração e como equivalente à aceleração.

Uma vez que essa exposição inicial é longa, optamos por não exibir em sua totalidade, porém a mesma pode ser consultada nos apêndices do trabalho. Também não analisaremos nenhum episódio em específico. Apenas comentaremos o que essa fase inicial traz em relação às situações e aos níveis de engajamento.

A nosso ver esse início da aula revela uma **Situação de Institucionalização (SI)** já que as ações ocorridas reforçam e elevam os conhecimentos discutidos na aula anterior ao status de saber. Também encontramos indicadores de engajamento **E1**, já que os alunos discutem sobre o tema. Há também indícios de engajamento disciplinar **ED2**, uma vez que alguns alunos respondem as perguntas da professora de forma colaborativa.

Posteriormente a esta conversa inicial, a professora principal (P_1) questiona os alunos acerca da transmissão da gravidade: *a gravidade viaja instantaneamente pelo espaço vazio ou existe uma velocidade limite?* Esta fala da professora (P_1) marca a abertura do segundo bloco de atividades da Sequência Didática, **Qual a rapidez de propagação da gravidade?** que inclui uma série de atividades a fim de responder tal questionamento. A primeira atividade do bloco é a atividade em que analisaremos a seguir, acerca do *Princípio da Relatividade de Galileu*.

Aqui também inicia-se a conexão entre o que já foi abordado em aulas passadas e o que será discutido nesta aula. Como é clara intenção da professora principal (P_1) de querer ensinar algo novo aos alunos, temos estabelecida uma **Situação Didática (SD)** na maioria das interações ocorridas, e isso pode ser representado também pelo fato de os alunos responderem apenas o que a professora (P_1) pergunta, ou seja, escolherem uma entre opções por ela fornecidas.

Em certas falas, especificamente nos turnos 30 e 31, podemos observar que os alunos A5 e A11 tentam de maneira intuitiva conectar a ideia de um tempo instantâneo com a rapidez da velocidade de propagação da gravidade. Desta forma, passamos a ter

uma **Situação A-didática de Ação (SAA)**. Por ter certa tentativa de discutir o tema e os alunos trabalharem juntos, identificamos casos de **E1** e **E2**.

A5: Ela tem uma velocidade ...mas é instantânea?!

A11: Instantânea.

Nos turnos seguintes, 32 ao 37, a professora (P_1) inclui a ideia de intervalo de tempo de transmissão da gravidade. Como consequência desta nova informação, os alunos começam a responder ao mesmo tempo e formulam algumas ideias, ao mesmo tempo que outras são resgadas para a construção de novas hipóteses. São citadas ideias trabalhadas em aulas anteriores, como força de atração e ideia de um objeto flutuar caso demorasse um certo tempo para sentir atração gravitacional.

Entendemos que nessas interações discursivas, a professora (P_1) e os alunos encontram-se em uma **Situação A-didática de Formulação (SAF)**. Enquanto que os alunos revelam indicadores do tipo **E1**, **E2**, **E3**. Já que iniciam entre eles uma discussão, mesmo que muito breve, sobre o tema e por demonstrarem, nas imagens gravadas, características emocionais ligadas ao incomodo pelas perguntas e afirmações da professora.

4.1.1.2. *Momento 2: Apresentação do problema*

Este momento compreendido entre os turnos 38 ao 59 tem aproximadamente 7 minutos de duração e inicia-se com apresentação da Atividade 3 que aborda o Princípio da Relatividade de Galileu.

Nesta fase da aula a professora (P_1) apresenta elementos mais específicos da atividade, como a questão central: “Eu estou em repouso ou em movimento?”. Ao realizar tal questionamento em sala, prontamente os estudantes respondem. A reação dos alunos frente a pergunta realizada pode ser visualizada no quadro 6 a seguir.

Episódio 1: A busca de hipóteses e ideias iniciais.

Quadro 6 – Episódio 1: A busca de hipóteses e ideias iniciais.

Turno	Falas transcritas	Ações/ gestos	Indicador EDP	Tipologia da situação
39	Alunos: Repouso...	Alunos falam ao mesmo tempo.	ED1	SD
40	A1: Depende do referencial adotado.			
41	A17: (inaudível)... Em relação à mesa...	Professora está encostada em uma mesa.		
42	A4: Em relação a quê?	Questionando à professora.		
43	Alunos: (inaudível) (alunos conversam ao mesmo tempo).	Comentam sobre atividade entre si.		

Refletindo sobre o contexto estabelecido em sala aula e retornando à pergunta feita os alunos: *“Eu estou em repouso ou em movimento?”*. Podemos já olhar essa questão como a problematização inicial da atividade. Dada essa perspectiva, lembramos que a problematização é um dos princípios fomentadores de ambientes que viabilizam o EDP.

Concordamos que esta questão vai além de uma apresentação feita pela professora, ela também traz a intenção de incentivar o trabalho dos alunos (SOUZA, 2015). Desta forma, esta fala marca a abertura dada aos estudantes para discutirem sobre o tema.

Conseguimos identificar neste episódio, dada perspectiva de Brousseau (1996), que há um conjunto de relações e papéis entre o professor e os alunos direcionada a busca de uma solução, caracterizando uma situação.

Acreditamos que, de uma forma mais simples, os alunos poderiam responder a esta pergunta dizendo: “movimento” ou “repouso”. Porém pelas falas transcritas, as ideias apresentadas por alguns alunos trazem uma nova condição para a discussão: a de que para definir o movimento ou repouso de um corpo é necessário falar em relação a que ele se encontra neste estado.

Consequentemente as respostas apresentadas vão além da opção binária, elas apresentam ideias e conhecimentos trazidos pelos próprios alunos. Relacionamos essas repostas com um discurso presente nos currículos e que são específicos da disciplina. Assim, acreditamos que alguns alunos provavelmente já conhecem o uso do termo

“depende do referencial” ligadas a questões que relacionam o estado de repouso ou movimento de um corpo.

Este fato, nos leva a concluir que ainda eles não se apropriaram do problema e portanto estão reproduzindo termos já conhecidos por eles para atender as expectativas do professor. Por este motivo, ao nosso ver essa situação caracteriza-se como uma **Situação Didática (SD)**.

Considerando os indicadores de EDP propostos por Souza (2015), com base nas ideias de Engle e Conant (2002), podemos constatar neste episódio uma manifestação de elementos do Engajamento Disciplinar dos alunos. Neste episódio estão presentes características do indicador **ED1**, uma vez que os alunos trazem elementos que contribuem para a análise da situação proposta pela professora.

Logo após esse episódio a diferenciação de repouso e movimento é apresentada pela professora através da leitura do material entregue aos alunos. Lembrando que essa definição inicial não aponta o referencial como uma condição de escolha para decidir o estado de um corpo. Uma vez que durante as atividades é que deveriam ser discutidas e reveladas pelos alunos: 1) a importância da escolha do referencial para definir o estado de movimento de um corpo e 2) a impossibilidade de detectar e diferenciar o estado de repouso e movimento uniforme de um sistema através de experiências internas dele.

Posteriormente a leitura do material, tanto dos experimentos mentais propostos e das questões, a professora explica como devem ser feitas as atividades nos grupos. Eles deveriam realizar novamente a leitura dos experimentos mentais e discutir entre eles as perguntas propostas no material. Fica evidente nas imagens gravadas que os alunos estão atentos às falas da professora assim como interagem com ela.

4.1.1.3. *Momento 3: Realização da atividade pelo pequeno grupo*

O intervalo entre os turnos 60 a 174 representa este momento 3, visto por nós como uma fase importante da análise. Pois é aqui que há mais chances dos alunos responsabilizarem-se pela busca do problema e pelo trabalho em grupo, já que trabalham sem a ajuda do professor.

Além disso, mesmo que a professora (P_1) tenha explicado como deveria ser feita a tarefa, leitura da situação hipotética e discussão das questões propostas entre os colegas, os alunos possuem autonomia quanto ao modo que vão trabalhar as questões da atividade. Entendemos que isso favorece o surgimento de indicadores de EDP e de situações A-didáticas.

A atividade 5 é dividida em duas partes, a primeira delas propõe uma situação hipotética em que os estudantes deveriam imaginar que estavam dirigindo, havendo alguém sentado ao seu lado, e o velocímetro marcava 80 km/h. Em algum momento, o carro que dirigem ultrapassa outro carro na rodovia cujo velocímetro mostrava 70 km/h. As questões (Quadro 7) que deveriam ser discutidas entre os alunos são mostradas a seguir.

Quadro 7 – Questões da atividade: Princípio da Relatividade de Galileu – Parte 1

1. De acordo com as definições de movimento e repouso, você pode concluir que está em repouso ou em movimento?
2. Responda novamente a questão 1, porém agora em relação a pessoa sentada ao seu lado e em relação ao piso da rodovia, você chega na mesma resposta?
3. Em relação ao outro carro, você está em repouso ou a 80 km/ h?

Quando a professora (P_1) solicita que os alunos iniciem as atividades no pequeno grupo, os alunos organizam seus materiais e começam a discussão. Podemos notar que a professora P_2 , que realizou as filmagens, fala uma vez. Ela reforça o pedido de P_1 , que os alunos fizessem a leitura e discussão do material em grupo. Pois percebe que os alunos já pulam a etapa da leitura da atividade e já começam a responder. Esse dado é interessante e já encontrado em outra pesquisa. Uma vez que *o “problema costuma ser apenas um pretexto para que o que se quer perguntar e não um contexto, de fato essencial para se obter a resposta”* (TREVISAN, 2015).

Episódio 2: Discussões das ideias e hipóteses iniciais e a busca de justificativas.

Quadro 8 - Episódio 2: Discussões das ideias e hipóteses iniciais e a busca de justificativas.

Turno	Fala transcrita	Ações/ gestos	Indicador EDP	Tipologia da situação
60	A5: Ué! Eles estão em movimento em relação a quê? Eles estão no carro.		ED1 ED2 ED3	SAF
61	P2: Lê... Lê a questão e vocês discutem.	Eles começam a ler o material.		
62	A1: Então “se a posição variar eu estou em movimento e se não variar eu estou em repouso”. Mas não existe repouso absoluto.			
63	A5: Não, mas... Mas é em relação ao que eles estão repouso ou em movimento.			
64	A2: (Inaudível) ... Mas se você olhar para o carro...			
65	A6: Depende aqui oh.	Indica para a pergunta dada no material.	ED2 ED3 EDP1 EDP2	SAV
66	A3: Você vai estar em movimento...	Existe uma pausa até que este aluno inicia sua fala.		
67	A1: É porquê...	Ele faz um movimento com a mão girando com o dedo e balança a cabeça concordando com o amigo		
68	A3: Olhando para Terra você está se deslocando.	Faz um movimento com as mãos, uma deslocando com relação a outra para os amigos entender.		
69	A6: (inaudível).	Indica a questão no material para outro aluno ao seu lado.		
70	A5: Sim, você está dirigindo!	Falando para A6.		
71	A1: “De acordo com as definições de movimento e repouso, você pode concluir que está em repouso ou em movimento?”	Aluno faz a leitura da questão da atividade.		
72	A3: Movimento			
73	A1: Movimento? (Inaudível)...Mas então é porque não existe repouso absoluto.			
74	A2: Pensando assim, sim.			
75	A3: Me empresta lápis ou caneta.	Aluno procura um lápis pois quer escrever as conclusões no papel. Depois disso todos os alunos anotam em suas respectivas folhas as ideias discutidas.		

Em um primeiro olhar sobre este episódio, podemos notar que algumas ideias e hipóteses levantadas no episódio anterior são retomadas. Novamente os estudantes pontuam, na discussão dada entre eles, a necessidade de inserir um referencial para concluir sua escolha.

Em nosso entendimento os turnos 60, 62, 63 indicam aceitação da devolutiva do problema pelos alunos, isto pode ser visto pois eles levantam e procuram responder novas questões, além das apresentadas na atividade 3. Relacionamos ainda que essas interações discursivas denotam que os alunos assumiram a responsabilidade pela resolução da atividade.

Podemos dizer que desde o começo deste episódio até o turno 65, ou seja entre os turnos 60 ao 65, os alunos encontram-se uma **Situação A-didática de Formulação (SAF)**. Isso é facilmente perceptível, já que pelas falas transcritas percebemos que os alunos levantam hipóteses e comunicam algumas ideias sem validá-las.

Podemos inferir, quanto aos indicadores de EDP, este mesmo intervalo de turnos revelam características de **ED1**, **ED2** e **ED3**. Quanto ao primeiro indicador, podemos observar que ele aparece porque os alunos discutem as ideias e hipóteses a fim de construir um plano de trabalho.

O segundo indicador aparece graças ao trabalho colaborativo do grupo, pelas falas observamos que eles questionam uns aos outros, respondem ou complementam a ideia do colega. Quanto à presença de características de engajamento disciplinar tipo ED3, no turno 60, em que A5 fala “*Ué! Eles estão em movimento em relação a quê? ...*”, entendemos que tal expressão de incompreensão está relacionada à própria resolução do problema. Realmente não há como dizer repouso ou movimento sem falar “em relação a quê”.

A partir dos turnos seguintes, 66 ao 75, os alunos iniciam meios de explicar suas escolhas feitas nos turnos anteriormente apresentados no começo do episódio. Eles trazem para a discussão a ideia relacionada ao movimento de translação da Terra como forma de justificar sua resposta dada à pergunta da atividade.

Pelo mesmo motivo os alunos usam gestos com as mãos como mecanismo de provar que há um deslocamento da Terra em relação ao Sol, como podem ser “vistas” pelas trajetórias imaginárias traçadas por eles. O que valida suas escolhas, já que

segundo a definição dada: no movimento há mudança de posição no tempo. Concluímos nesta fase os alunos encontram em uma **Situação A-didática de Validação (SAV)**.

Pelas mesmas justificativas acreditamos que aqui há um caso de **EDP1**, já que temos a construção de uma relação explicativa e a sofisticação entre as hipóteses apresentadas. Especificamente podemos ver esse indicador no turno 73, já que A1 retoma a ideia da não existência repouso absoluto apresentada por ele no episódio 1 e usa como meio de reforçar a escolha do grupo.

Também neste percebemos um caso de **ED2**, já que os alunos compartilham da mesma ideia. Podemos observar pelas imagens gravadas que o aluno A1 balança a cabeça concordando com a ideia apresentada pelo aluno A3, além disso ambos realizam gestos quase simultâneos com as mãos para suas explicações, o que reforça a ideia de trabalho em grupo com o propósito de resolver o problema.

No turno 74, o aluno A2 conclui: “*pensando assim, sim*”. Essa frase na mostra além do trabalho colaborativo na construção da explicação, ela indica que o aluno percebe que a visão do colega é limitada e faz sentido apenas naquele contexto, indicando características de **EDP2**.

Outro ponto interessante é que a professora não pediu explicitamente que o grupo tomasse nota das respostas, mas sim que os alunos discutissem em grupo as questões propostas. Entendemos que isso tenha relação com o caráter do Engajamento Disciplinar, pois está relacionado há ações de organização para a resolução do problema (**ED3**).

Episódio 3: Usando as justificativas em outros contextos.**Quadro 9** - Episódio 3 –Usando as justificativas em outros contextos

Turno	Fala transcrita	Ações/ gestos	Indicador de EDP	Tipologia da situação
99	A4: “Responda novamente a questão 1, porém agora em relação a pessoa sentada ao seu lado e em relação ao piso da rodovia, você chega na mesma resposta?”	Leitura da questão dada no material.	ED2 ED1	SAF
100	A3: Sim porque em relação ao Sol você está andando.	Faz um giro com a mão.		
101	A2: Você olha Sol... tá parado e você atravessou um pouco.	Faz um gesto com as mãos indo pra frente, mostrando que a “Terra” atravessou o “Sol” parado.		
102	A4: Demoro.	Ele balança a cabeça concordando.		
103	A4: “Mesmo?” Sim. “Em relação ao outro carro, você está em repouso ou a 80 km/ h?”	Questiona novamente ao grupo e confirma que a resposta é sim. Após responder à questão anterior ele prossegue com a leitura da próxima questão.		
104	A5: Eu acho que a gente tá a em relação ao carro a 10 quilômetros por que o outro carro tá 70. Quando a gente passa por um carro parece que ele está lento. Eu acho que ele tá a 10 km/h.		EDP1 EDP2	SAV
105	A3: Emprista o lápis.			
106	A2: Pra ele então ele está em repouso e a gente está a 10 km/h. Para nós ele não está em repouso.			
107	A4: Como se ele tivesse parado e a gente tivesse passando. Perfeito!	Chacoalha a cabeça concordando.		
108	A3: Nenhum dos dois tá parado... repouso e a gente está a 10 km/h?	Ele aponta para a folha que está escrevendo a resposta.		
109	A5: É a gente tá a 10 km/h.		EDP3	
110	A2: Se a gente tivesse na mesma velocidade que ele, então ele estaria em repouso também né.	Os outros alunos do grupo balançando afirmativamente com a cabeça.		

Apesar da pergunta realizada pelo material questionar o estado de movimento ou repouso em relação a dois referenciais diferentes, uma pessoa sentada ao lado do

motorista e em relação ao piso da rodovia, os alunos continuam a justificar que eles estão em movimento devido ao movimento de translação da Terra. Mas era intenção da atividade que os alunos não chegassem na mesma resposta e percebessem que são referenciais diferentes, pois no caso da pessoa sentada ao lado a resposta seria repouso e em relação ao piso movimento.

Entre os turnos 99 ao 103, os alunos formulam suas hipóteses usando ideias apresentadas no episódio 2. Eles reforçam a discussão levantada anteriormente, porém agora especificam que o Sol é o referencial, como podemos nos turnos 100 e 101. Inferimos a esta interação uma **Situação A-didática de Formulação (SAF)**.

Encontramos entre os mesmos turnos, evidências de Engajamento Disciplinar, com indicadores de **ED1**, já que os alunos discutem uma ideia a fim de construir um plano de trabalho. Além disso os alunos concordam com as escolhas dos colegas e participam da discussão, tal circunstância é um atributo de trabalho colaborativo na análise de ideias (**ED2**).

Os turnos seguintes, do 104 ao 110, referem-se ao momento em que os alunos buscam solucionar a seguinte questão *“Em relação ao outro carro, você está em repouso ou a 80 km/h?”*. Na perspectiva da Teoria das Situações Didáticas, este trecho está relacionado com o processo de validação (BROUSSEAU, 1986), visto que os alunos procuram provar que suas declarações feitas até então fazem sentido, ou seja, eles buscam justificar suas hipóteses e verificar que suas escolhas estão corretas. O que confere a uma **Situação A-didática de Validação (SAV)**.

Para responder tal questionamento os alunos trabalham de forma colaborativa na construção da explicação, pois incorporam em suas falas ideias trazidas na fala de outro aluno, ou seja, um caso de **EDP2**. Desta mesma forma podemos evidenciar o **EDP1**, pois os alunos abrem a discussão com relações explicativas. A questão apenas perguntava se eles estavam em repouso ou em 80 km/h em relação ao carro. Porém os alunos vão além analisam o caso trazendo a ideia de velocidade relativa. O que revela também a devolutiva e a aceitação do problema por parte dos alunos.

O Engajamento Disciplinar Produtivo, com características do indicador **EDP3**, aparece quando A2, no turno 110, usa as ideias em contextos diferentes, ou seja, se ambos os carros estivessem na mesma velocidade eles estariam em repouso em relação

um ao outro. Ou seja, A2 parece ter entendido que podemos estar em repouso ou em movimento, mesmo se ele estivesse em um carro que indica uma velocidade igual 80 km/h.

A análise deste trecho nos leva a entender que os estudantes percebem haver condição de repouso de um corpo na Terra em certo referencial. Mas pelo fato deles estarem na Terra e ela possuir uma velocidade em torno do Sol, concluem que estamos sempre em movimento.

Na segunda situação hipotética, os alunos deveriam se imaginar em um carro que não sabem se está em repouso ou em movimento. As janelas estão vedadas impossibilitando avaliar isso pela observação. Também não é possível sentir reações no corpo que podem ser usadas como argumento de que estão em movimento. Além disso, dentro deste carro há um amigo sentado ao lado do aluno lançando uma bolinha para cima. A partir dessa situação foram dadas as seguintes questões:

Quadro 10 – Questões da atividade – Parte 2: Princípio da Relatividade de Galileu

1. Pela trajetória observada, você notaria diferenças se o carro estivesse em movimento uniforme ou parado?
2. Se o carro estivesse em movimento, o seu amigo conseguiria pegar a bolinha na mão no mesmo ponto de onde saiu?
3. Se o carro estivesse em repouso, o seu amigo conseguiria pegar a bolinha na mão no mesmo ponto de onde saiu?
4. Você pode concluir que a partir dos experimentos se o carro está parado ou em movimento uniforme?

As discussões dos alunos sobre estas questões podem ser vistas no episódio 4 a seguir.

Episódio 4: Não podemos cair em contradição: Mantendo as hipóteses iniciais.

Quadro 11 - Episódio 4 – Não podemos cair em contradição: Mantendo as hipóteses iniciais.

Turno	Fala transcrita	Ações/ gestos	Indicador EDP	Tipologia da situação
128	A4: “Se o carro estivesse em movimento, o seu amigo conseguiria pegar a bolinha na mão no mesmo ponto de onde saiu?”		ED1 ED2 EDP1 EDP2	SAV
129	A6: Não.			
130	A3: Não			
131	A1: (som de negação)	Balança a cabeça indicando que não.		
132	A4: Por que não?			
133	A5: Porque a bolinha fica parada e você anda para frente.	Ele apontada parada na horizontal e a bolinha se movendo apenas na vertical.		
134		Todos os alunos tentam fazer gestos que a bolinha fica e quem está no carro anda.		
135	A2: A bolinha tá aqui assim.	Indicando a pessoa andando para frente da bolinha.		
136	A4: Não!			
137	A5: Se cair é a mesma coisa se o carro estiver em repouso.			
138	A1: Só cair né...(inaudível)			
139	A4: “Se o carro estivesse em repouso, o seu amigo conseguiria pegar a bolinha na mão no mesmo ponto de onde saiu?”	Aluno faz a leitura da pergunta dada no material.		
140	A6: Sim			
141	A4: Por quê?			
142	A5: Se colocasse não, a 1 iria estar errada.			
143		A2 e A4 fazem um movimento com as duas mãos, uma do lado da outra na horizontal. Como se as coisas tivessem que se conectar.		

No nosso entendimento, o turno 132 representa a aceitação da devolutiva do problema, uma vez que o aluno A4 não fica satisfeito com a resposta dos colegas, um simples “não”. Ele quer saber “por que não” cai a bolinha na mão do colega se o carro

estivesse em movimento. Fica evidente que ele aluno solicita formas de esclarecimentos a fim de se convencer da validade desta escolha.

A partir deste turno, 132, os alunos buscam justificar suas ideias. Observamos pelas falas deste episódio que todos os alunos do grupo entram em acordo quanto suas decisões e acreditam que a resposta é satisfatória, o que confere a esta uma interação uma **Situação A-didática de Validação (SAV)**.

Além disso neste trecho identificamos a presença dos indicadores **ED1** e **ED2**, uma vez que há análise de ideias presentes tanto nas falas como gestos dos alunos e isso é feito de forma colaborativa.

No caso do carro estar repouso, os alunos concluem que a bolinha cairia na mão do repouso. No turno 141, A4 ao questionar o por que isso ocorre A5 se justificam a partir das escolhas anteriores: “*Se colocasse não, a 1 iria estar errada*”. Logo se eles escolhessem outra opção iria contradizer o que foi dito, deslegitimando o raciocínio seguido até o momento.

Vale destacar que pergunta feita por A4, turno 141, é realizada por uma motivação própria do aluno, o que mostra que o aluno tem autonomia quanto a resolução da atividade. A resposta dada essa questão, turno 142, revela um caso de **EDP1**, pois há uma construção de uma relação explicativa. Segundo suas hipóteses se o carro mover-se na horizontalmente em relação a bolinha que, se move apenas na vertical, não faz sentido a bolinha não cair na mão se o carro está em repouso. Também pontuamos neste episódio o indicador **EDP2**, nos turnos 140 e 143 os alunos demonstram trabalho colaborativo na construção da explicação.

4.1.1.4. *Momento 4: O que os alunos falam depois que terminar a atividade?*

Nesta fase, compreendida entre os turnos 175 ao 224, temos uma etapa interessante sobre interação dos alunos no pequeno grupo. Não classificamos aqui nenhuma situação como Didática ou A-didática, já que os alunos não falam mais sobre a atividade.

Também não identificamos os indicadores de Engajamento Disciplinar Produtivo. Pois os alunos estavam conversando e relatando experiências que tiveram ao longo da

semana. Contudo é interessante notar neste momento o assunto dos quais eles conversavam. Alguns alunos desse grupo compareceram a uma palestra no observatório da cidade. O tema da palestra era sobre viagem no tempo. Todos os alunos da turma foram avisados sobre a palestra, mas a ida até ela era livre.

O ponto em que destacamos da conversa é sobre a reação dos alunos frente a um comentário de uma outra pessoa presente na palestra. A pessoa dizia que a velocidade da luz era infinita e ela não acreditava que via uma luz do passado. Os alunos ficam perplexos frente essas afirmações. O que é significativo, pois no começo da aula a professora citou a ideia de velocidade limite ou transmissão instantânea (velocidade infinita). Assim, notamos que mesmo que a atividade estabelecida pela professora tenha sido concluída, os alunos mostraram-se interessados pelo tema mesmo que fora do contexto escolar e já conseguem analisar afirmações sobre o assunto.

4.1.1.5. *Momento 5: Intervenção da professora no pequeno grupo*

Este é o momento em que a professora faz a primeira intervenção com os alunos do pequeno grupo. Os turnos que representam essa etapa estão no intervalo do 225 ao 309. Quando a professora se dirige aos alunos e pergunta “a gente está em repouso ou em movimento?”. Os alunos A4 e A5 começam discutir sobre o tema. Dizem: “Agora”; “Em movimento”; “Em relação a que?” “Em relação ao Sol estamos em movimento”.

Logo na sequência a professora questiona os alunos se o Sol está parado, os dois alunos concluem “**Não!**” pois, segundo eles “**A galáxia não está parada.**”; **O Universo não está parado**”, “**Então ninguém tá parado. Não existe repouso absoluto**” (turnos 233, 234 e 235, no apêndice B). Podemos notar que os alunos acreditam que isso reforça mais uma vez a ideia da não existe repouso absoluto. Mas e o movimento é absoluto?

Durante essa interação podemos observar a devolutiva do aluno novamente pelo problema. Aqui outras ideias surgem, até o momento eles não tinham falado sobre a galáxia e o Universo. O que vimos nesse trecho é um resumo do que eles já haviam discutido. Portanto aqui eles deixam já claro suas hipóteses, **Situação A-didática de formulação (SAF)**.

No decorrer das interações entre os alunos do grupo e a professora, as respostas dos alunos em sua maioria são as mesmas presentes nos episódios apresentados anteriormente. Quando a professora faz a segunda pergunta da atividade, “em relação a pessoa sentada ao seu lado, você está em repouso ou em movimento?”, os alunos do grupo se contradizem uns dizem “movimento” e outros alunos dizem “repouso”.

Como consequência, eles reconhecem os limites de suas explicações. Podemos analisar a discussão no episódio 5 a seguir, os alunos percebem que não chegaram na mesma resposta para o estado de movimento ou repouso de um corpo.

Episódio 5: Reconhecendo as limitações nas ideias desenvolvidas.

Quadro 12 - Episódio 5- Reconhecendo as limitações nas ideias desenvolvidas.

Turno	Fala transcrita	Ações/ gestos	Indicador EDP	Tipologia da situação
251	P1: Vocês chegaram na mesma resposta?		E3	SD
252	Alunos: Não!	Eles ficam com uma expressão de dúvida.		
253	A3: Sim...			
254	A5: É... eu coloquei aqui...	Aponta o material.		
255	A3: Mas tem duas perguntas?			
256	P1: Tem duas perguntas! Responda novamente a questão 1...Então você pode concluir que você está em repouso ou em movimento porém em relação a pessoa sentada ao seu lado e em relação ao piso da rodovia?		E1 E3 ED1 ED2 ED3	SAF
257	A5: Em repouso em relação à pessoa. Em relação ao piso ... (inaudível) movimento.			
258	A4: A pessoa “está” sentada ao seu lado.			
259	P1: Então em relação ao piso você está em movimento?			
260		Alunos concordam.		
261	P1: E em relação a pessoa ao seu lado?			
262	A5: Vocês estão parados.			
263	P1: Então você não chega na mesma resposta?			
264	Alunos: Não!			
265	P1: Aí eu pergunto de novo você está em repouso ou em movimento?			
266	A2: Depende né...(inaudível)			
267	A4: Estou em repouso e movimento...	Os alunos apagam e reescrevem suas respostas na folha.		
268	P1: Agora em relação ao outro carro você está em repouso ou está 80 km/h?		ED1	SAV
269	A3: Você está a 10 km/h...			

270	A5: Para nós ele está em repouso e nós a 10 km/h. Entendeu?		ED2 EDP1 EDP2	
271	P1: (inaudível) o outro carro está em repouso?			
272	A5: É tipo se a gente estiver na estrada... na pista, pra gente o carro está parado e a gente passa a 10 km/h.			
273	A4: Para ultrapassar o carro.			
274	A5: Como se fosse...			

Neste episódio são relevantes o reconhecimento do próprio erro e a realização de novas relações entre ideias e projeções futuras para alcançar um objetivo. Percebemos claramente que os alunos mudam o discurso inicial, ou seja, há diferença nas respostas de acordo com os referenciais adotados. Portanto, estamos em repouso ou em movimento, não havendo em nenhum dos casos movimento ou repouso absoluto.

Nas falas, observamos que os alunos percebem não terem chegado à mesma resposta. O aluno A5, no turno 254, reage com um comentário “É. eu coloquei aqui”. Antes mesmo dessa fala, os alunos respondem que não chegam na mesma resposta e mostram uma expressão facial de dúvida. Esses recortes são, vistos por nós como, indícios de **E3**, já que são características emocionais.

A fala presente no turno 255, mostra um momento de contra devolutiva. O grupo não consegue avançar e então devolve novamente ao professor a responsabilidade pela resolução daquele problema. Portanto nesse trecho consideramos que há uma **Situação Didática (SD)**.

O turno 257 é considerado por nós o marco da aceitação da devolutiva pelo aluno, portanto a partir daqui a situação se torna a-didática. Entre este turno até a fala representada pelo turno 267, consideramos esta situação como uma **Situação A-didática de Formulação (SAF)** já que os alunos apresentam ideias sem preocuparem em validar as mesmas.

Neste mesmo turno, 257, A5 sintetiza as informações apresentadas pelos colegas em uma frase e no turno seguinte, 258, confirma a ideia do colega. Inferimos a estas falas indícios do trabalho colaborativo entre o grupo na conclusão das ações, o que revela um indicador **ED2**. Assim como há indícios de **ED1**, já que A5 reformula suas hipóteses apresentadas até os momentos que antecedem este episódio.

O reconhecimento do erro é observado principalmente quando todos os alunos apagam suas respostas anteriores na folha do problema, tal ação é identificada como um

caso de **ED3**, já que se trata de uma característica emocional relacionada com a resolução do problema.

No intervalo dos turnos 268 ao 274, os alunos se encontram em uma **Situação A-didática de Validação (SAV)**, uma vez que buscam justificar suas estratégias na escolha da resposta. Entre os turnos 268 ao 271, observamos que os alunos trabalham de forma coletiva na construção das ideias para responder à questão, ou seja, um caso de **ED1 e ED2**. O próximo turno seguinte, 272 ao 274, percebemos que a discussão fica mais sofisticada e os alunos buscam juntos relações explicativas para justificar suas respostas. Neste caso teríamos um caso de **EDP1 e EDP2**.

4.1.1.6. *Momento 6: Reações dos alunos após a intervenção do professor*

Posteriormente às discussões da atividade a professora percebe que os alunos ainda persistem com a ideia de que uma bolinha lançada para o alto apenas cai de volta na mão do lançador quando ele está em repouso. Desta forma, ela pergunta aos alunos se eles jogassem naquele momento uma bolinha para cima, considerando que a Terra está em movimento, a bolinha cairia na mão. Os alunos concluem que a bolinha que sim, ela chegaria em suas mãos.

A reação deles frente essa conclusão é a busca de alternativas para diferenciar o caso: “seria a atmosfera” ou o fato da “Terra ser muito grande”? É interessante notar que logo que a professora se afasta do pequeno grupo os alunos ainda continuam discutindo sobre a atividade, eles refletem suas explicações e inserem mais elementos. Especificamente este momento decorre do turno 310 ao turno 341. Porém optamos por recortar o episódio instantes antes da professora realmente se afastar dos estudantes. Podemos ver estas interações no episódio (6) abaixo:

Episódio 6: Buscando relações explicativas.**Quadro 13** - Episódio 6: Buscando relações explicativas.

Turno	Fala transcrita	Ações/ gestos	Indicador EDP	Tipologia da Situação
298	P1: Se você jogar a bolinha para cima ela vai cair na sua mão?		E1 E2 ED1	SAF
299	Alunos do grupo: Sim, vai.			
300	P1: E você está em repouso ou em movimento?			
301	A5: Movimento			
302	A3: Rep..movimento.			
303	A5: Mas em relação ao Sol nós estamos em movimento.			
304	P1: Então mas a bolinha chega na sua mão?			
305	Alunos do grupo: Chega.		ED1 ED2 ED3 EDP1 EDP2	SAV
306	A5: Porque a Terra é muito grande, se ela fosse pequena a bolinha não iria chegar.			
307	A4:NO:::SSA:::	Todos os alunos ficam surpresos.		
308	Aluno não identificado: MEU DEUS			
309	P1: Eu vou passar lá na...e já vou acabar aqui.	Professora se afasta do grupo.		
310	A4: (Inaudível)...Porque a bolinha chega na nossa mão? Por causa da atmosfera?			
311	A5: Mano, mano...	Cutucando o colega A4.		
312	A2: Eu não sei...			
313	A5: Essa velocidade é muito grande, mas como o Universo é (inaudível)...			
314	A3: Inaudível.			
315	A4: A luz do sol demora 8 minutos para chegar aqui na Terra, é muito grande. Se fosse pequena a gente ia jogar a bolinha e a gente já estava...e a bolinha ... já era.	O aluno faz uma simulação dele jogando uma bolinha jogando para cima. Todos os outros alunos prestam atenção quando ele fala.		
316	A2: A é...	Concorda com o amigo.		
317	A4: é a bolinha estaria 30 mil quilômetros para trás...	O aluno faz um movimento com os olhos e com a cabeça como se algo tivesse caindo para trás dele.		
318	A5: É....			
319	A3: Você olhou um segundo...			
320		Alunos do grupo: falam ao mesmo tempo.		
321	A4: E tem a gravidade também né...			
322	A2: É tem essa ainda né...			
323	A4: Tem que olhar para isso também né, a gravidade...(inaudível)			

324	A5: (inaudível)... Se não tivesse a gravidade.			
325	A4: É se não tivesse a gravidade.			
326	A5: Você jogaria a bolinha para frente, ela ia sair...	Indica que ao lançar uma bolinha horizontalmente no ar ela manteria a trajetória horizontal na falta de gravidade.		
327	A2: Ela vai provavelmente torrar.	Eles falam muito baixo.		
328	A4: É ela ia torrar...Se fosse feita de adamantium né.			
329	A5: É se fosse de adamantium.			
330	A4: Se fosse de adamantium também cai, não sei.			
331	A5: Se uma bolinha de adamantium tiver caindo e você chutar, seu pé fura? Será que você consegue chutar?			
332	A3: Acho que você não ia conseguir chutar...			
333	A4: Não, depende... você consegue não é o Martelo do Thor... só é duro.			
334	A3: Mas ia machucar seu pé...			
335	A5: Ia machucar mas não é o martelo do Thor que você consegue chutar. Você consegue chutar o Wolverine.	Faz um movimento tentando empurrar algo que não sai do lugar.		

Podemos notar neste episódio que entre os turnos 298 ao 305, os alunos comunicam suas hipóteses e escolhas para professora. Percebemos que eles insistem na ideia de movimento absoluto devido a translação da Terra em torno do Sol. Temos, portanto, uma **Situação A-didática de Formulação (SAF)**.

Percebemos pelas falas que o grupo e professora discutem sobre o tema, o que identificamos como um indicador **E1**. Muitas respostas também são construídas de forma conjunta pelo grupo, ou seja, um caso de **E2**. Especificamente no turno 303, identificamos um caso de **ED1**. Já o aluno que discute as hipóteses apresentadas.

Do turno 306 em diante, os alunos interagem em uma **Situação A-didática de Validação (SAV)**. Isso ocorre porque eles iniciam a busca de justificar suas escolhas. Uma vez que elas estão inconsistentes com as ideias iniciais.

Vemos também pela discussão que, primeiramente um aluno tenta justificar o fato da bolinha cair na mão dele, estando a Terra em movimento em relação ao Sol, devido ao fato da Terra ser muito grande; outro aluno levanta a hipótese de isso ocorrer por causa da atmosfera. Nessas passagens ficam evidentes os indicadores de **ED1** e **ED2**,

uma vez que eles buscam novas ideias para compreender o fato e ao mesmo tempo questionam os colegas se eles estão certos.

Há certas falas como “No:::ssa”, “MEU DEUS”, “Mano, mano...”, “Eu não sei”, os alunos aparentam surpresos e curiosos sobre a solução do problema. O que indica **ED3**, pois mostram a presença de características emocionais ligadas a resolução da questão.

Os alunos continuam tentando justificar essas hipóteses comparando a velocidade da luz e a velocidade de translação da Terra, como algo muito rápido. Eles também analisam o fato de ter a gravidade e como seria se ela não existisse. Esse momento é visto por nós como uma tentativa de sofisticar as ideias e organização de explicações. Em vista disso temos Engajamento Disciplinar Produtivo **EDP1**. Da mesma forma percebemos que os alunos trabalham juntos na construção das explicações, portanto, podemos perceber a explicitação de **EDP2**.

Outro ponto interessante de notar é que os alunos analisam alguns pontos no contexto dos super-heróis, ou seja, trazem suas experiências para o contexto da sala de aula.

4.1.1.7. *Momento 7: Sistematização da atividade pelo professor com o grande grupo*

A sistematização da atividade acontece entre os turnos 342 e 547, ao longo de 18 minutos, e nela ocorre a discussão de todas as perguntas feitas no material. No momento em que a professora questiona se a bolinha cai na mão do amigo, quando o carro estiver em movimento. A maioria dos alunos dizem que não, usando os mesmos argumentos mencionados no episódio 3, de que a bolinha se move apenas na vertical e a pessoa na horizontal. Porém um aluno (A11) não concorda com os outros acerca do lançamento da bolinha, ele afirma que é possível pegar a bolinha mesmo considerando o carro em movimento. Podemos ver essa discussão no episódio 7 a seguir:

Episódio 7: Validação em um contexto mais amplo.**Quadro 14** - Episódio 7 - Validação em um contexto mais amplo.

Turno	Fala transcrita	Ações/ gestos	Indicador EDP	Tipologia da situação
395	P1: Sim? Quem falou sim? Porquê?		E1	SI
396	A9: Ele...	Indica o colega.		
397	A11: Sim porque ele está dentro do carro.		ED1 ED2	SAF
398	Aluno não identificado: Depende da velocidade né.			
399	A11: Então, se ele está dentro do carro ele está parado.			
400	A5: Você está falando do mesmo lugar e se estivesse em movimento?	Se referindo a A11.		
401	P1: Então se eu falar que o carro está em repouso, ele pega a bolinha?			
402	Alunos: Sim.			
403	P1: A gente vai chegar lá. Então a partir dos experimentos você consegue concluir se o carro está parado ou em movimento?			
404	A7: Sim...			
405	A11: Não!			
406	Alunos: conversam.	Comentam entre si o comentário do amigo.		
407	P1: Só ele tá falando assim....			
408	Alunos: conversam.			
409	P1: Agora eu quero saber porque você acha que a bolinha vai chegar na mão em movimento? Ó pessoal, vamos prestar atenção aqui fazendo o favor!		EDP1 EDP2	SAV
410	A11: Se o carro está parado e você está dentro dele, você está em repouso também. Se você joga a bolinha pra cima, você não vai ter a ação do movimento também (gesto com a mão indicando o movimento do carro). Então ela vai subir e vai descer na sua mão.			
411	A5: Hã? Não, mas se o carro estiver em movimento. Imagina eu tacho uma bolinha e essa aqui é a parede do carro. Eu tacho. O cara está em movimento, e a bolinha não.	(Gesto com a mão indicando a parede do carro, em movimento, se aproximando da bolinha).		

Antes desse episódio, a professora inicia uma interação com a turma de forma a sintetizar o que os alunos disseram ao longo da resolução. Dessa forma temos uma **Situação de Institucionalização (SI)**.

A partir do turno 397 até o 408, os alunos iniciam a comunicação de suas hipóteses a fim de responder à professora. Deste modo temos um caso de **ED1**. Percebemos

também que os alunos A5 e A11, questionam um ao outro já que não chegam na mesma resposta. Assim o indicador que representa essas falas é o **ED2**, uma vez que há trabalho colaborativo na concretização das proposições.

Nos turnos que seguem, do 409 ao 411, os alunos iniciam a busca de justificar suas escolhas procurando refinar suas ideias, logo interagem em uma **Situação A-didática de Validação (SAV)**. Referente aos indicadores de engajamento, inferimos este momento como um caso de **EDP1**. Ao que se refere ao trabalho colaborativo, podemos notar que eles questionam a justificativa um do outro no intuito de concretizar a explicação problema sendo um caso de **EDP2**.

Durante a sistematização da atividade a professora faz a leitura da obra de Galileu Galilei, *Diálogos sobre os dois máximos Sistemas do mundo* (1631). Posteriormente a leitura do texto acima iniciou-se as seguintes falas descritas no episódio 8 a seguir:

Episódio 8 :Consolidação dos conhecimentos.

Quadro 15 - Episódio 8 – Consolidação dos conhecimentos.

Turno	Fala transcrita	Ações/ gestos	Indicador EDP	Tipologia da situação
524	Aluno não identificado: A::::!		E3 ED2 ED1 EDP1	SI
525	P1: Ou seja... A::::! Alguém entendeu? Então por exemplo... a Terra está em movimento de translação. Se eu der um pulo (pulo), eu caio no mesmo lugar	Professora dá um pulo indicando que cai no mesmo lugar.		
526	A18: Porque ela está em movimento constante.			
527	Aluno não identificado: Porque é um movimento constante.			
528	Alunos falam ao mesmo tempo.			
529	P1: Porque? Porque é assim, em relação à Terra, você está na Terra. Se eu fosse na Lua e te observasse, você estaria em...			
530	Alunos: Em movimento!			
531	P1: Você estaria em movimento. Então o que está acontecendo? Você está compartilhando... ou você está em movimento mas depende do referencial. Então no carro, gente, façam isso, tentem entrar num lugar que você não fique acelerando e brecando, e jogue alguma coisa pra cima, vê se cai pra trás ou pra frente.			

532	A3: Ele não cai para trás.			
533	P1: cai na sua mão...			
534	A7: Se você tiver...			
535	A11: Então peraí...			
536	A5: Eu já fiz isso, no avião.			
537	P1: No avião.... Por exemplo imagina se você estivesse num navio, um cruzeiro, e o cruzeiro está em movimento... Tudo o que fosse acontecer, as coisas iam ficar em movimento?			
538	A11: (inaudível)		EDP1	
539	A5: Eu taquei uma moeda no avião e caiu para trás... Não sei será que é porque o avião é muito rápido?		EDP2	
540	P1: Avião? Ó, por exemplo gente, pode acontecer a possibilidade de cair pra trás?		EDP3	
541	A11: Pode! Se tiver acelerando!	Se mostra feliz por ter entendido.		SAV

Após a leitura do trecho da obra de Galileu Galilei, a primeira fala de um aluno dada no turno 524, “A::::”, expressa características emocionais, ou seja, um caso de engajamento **E3**.

Posteriormente, os alunos relacionam o fato exposto na obra e o problema mental no caso da bolinha com o movimento uniforme, ou seja, estabelecem associações para justificar o fato da bolinha chegar na mão da pessoa. Portanto trata-se de um caso de **EDP1**.

Entendemos que essa parte está relacionada com a **Situação de Institucionalização (SI)**, uma vez que a professora verifica a validade da resolução proposta ou realizada pelo aluno por meio da sistematização com base no conhecimento científico aceito pela comunidade, mostrando-lhe a utilidade do conhecimento como *status* de saber culturalmente e socialmente aceito.

Mesmo que dentro desse contexto de sistematização, percebemos que a partir do turno 536 os alunos buscam validar suas hipóteses. Portanto a partir daqui até o turno 541, eles se encontram em uma **Situação A-didática de Validação**.

Ainda dentro desta discussão percebemos características de **EDP1, EDP2, EDP3**. Esses indicadores são revelados o primeiro porque os alunos buscam relações explicativas, segundo porque trabalham de forma colaborativa nessas explicações e terceiro pois há evidências do uso desta ideia de um contexto diferente. Se cair para trás

é porque, no caso o avião, está acelerado. Revelando, portanto, a apropriação do conhecimento.

4.2. Discussão dos resultados

Feita a categorização e a apreciação dos episódios selecionados na aula 5, teceremos agora alguns comentários sobre evidências que a análise nos fornece, assim como apresentar os aspectos gerais desta aula.

Os resultados obtidos permitem identificar como os diferentes níveis de engajamento (E, ED, EDP) são revelados nas diferentes situações (SD, SAA, SAF, SAV, SI) surgidas no decorrer de toda a aula. Além desta visão geral, podemos interpretar os resultados em momentos específicos da dinâmica de sala de aula em que há interações entre os sujeitos, alunos e professores frente ao tema.

O uso de nossa ferramenta analítica, apresentada no capítulo teórico, possibilita perceber como engajamento e situações se relacionam e como estas relações se modificam durante as discussões da aula.

No quadro 16, a seguir, os turnos que representam as falas, ações ou gestos são apresentados em cada quadrante por meio de um número, seguindo a ordem cronológica dos acontecimentos ocorridos em sala de aula. As cores selecionadas para cada turno foram determinadas pela análise das interações, assim como feitos nos episódios, e pelas cores estabelecidas pela nossa ferramenta de análise.

Ainda sobre a página seguinte apresentamos também mais dois quadros que auxiliam a leitura dos turnos, um referente a legenda das cores associadas a cada tipo de Situação e o nível de engajamento (Quadro 17) e um outro em que separamos os turnos pelos momentos de interação (Quadro 18).

Conforme mostrado anteriormente, esta aula foi organizada em sete momentos: no primeiro a professora realiza a retomada das discussões ocorridas no encontro anterior (M_1), posteriormente ela apresenta o novo problema e a atividade para toda turma (M_2), os alunos passam a realizar a atividade no pequeno grupo (M_3), eles conversam entre si, no pequeno grupo, assim que terminam a atividade (M_4), a professora realiza uma intervenção no pequeno grupo (M_5), os alunos reagem após a intervenção

da professora (M_6) e por fim, a professora realiza a sistematização da atividade com toda a turma (M_7). Para realçar as mudanças nesta dinâmica da aula, no quadro 16, os turnos que marcam o início de um novo momento encontram-se sublinhados.

Esta informação nos fornece pistas de qual etapa do trabalho os sujeitos estão nos dizendo por exemplo se o problema foi apresentado, se os alunos trabalham sozinhos, se a professora faz intervenções durante a realização da atividade pelos alunos, se a discussão envolve poucos ou muitos alunos e qual a intenção da professora.

Quadro 16 – Análise em cores: aspectos gerais e particularidades da aula 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	189	190	191	192	193	194	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330
331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360
361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390
391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	423	414	415	416	417	418	419	420
421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450
451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480
481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510
511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540
541	542	543	544	545	546	547																							

Quadro 17 - Legenda de cores

	SD	SAA	SAF	SAV	SI
E					
ED					
EDP					

Quadro 18 – Intervalo de turnos por momento

M ₁ : turno 1 - 37	M ₅ : turno 225 - 309
M ₂ : turno 38 - 58	M ₆ : turno 310 - 341
M ₃ : turno 59 - 174	M ₇ : turno 342 - 547
M ₄ : turno 175 - 224	

Entendemos que a análise visual da alteração das cores, permite vislumbrar mudanças no modo como as interações ocorrem em sala de aula e, com base nisso, tecemos alguns comentários.

Uma leitura geral do quadro, nos permite identificar pela tonalidade das cores que todos tipos de situações estiveram presentes nesta aula, uns em maiores quantidades e outros quase imperceptíveis. Há um maior número de turnos em que as Situações A-didáticas de Formulação, Validação e Situações de Institucionalização aparecem, enquanto que a Situações Didática e as Situações A-didáticas de Ação surgem com menos recorrência.

Além disso, observamos pelas diferentes intensidades de cores evidências dos três níveis de engajamento, no entanto eles aparecem de formas distintas em cada tipo de situação. Notamos também uma aparente ordem no surgimento destes níveis. Não há, por exemplo, indícios de ED antes de E, e EDP antes de ED. Esta constatação converge com as considerações apresentadas no trabalho de Souza (2015) sobre o fato de os indicadores tenderem a ocorrer na seguinte sequência: E, ED, EDP.

Isso parece mostrar que o nível de engajamento dos alunos se eleva ao longo das discussões, demonstrando a relação com as estratégias e as ações realizadas pela professora para o surgimento, a sustentação e a continuidade do engajamento dos estudantes com a atividade.

Feita essa varredura inicial do quadro 16, passaremos agora a olhar os detalhes do surgimento de cada situação e de cada nível de EDP seguindo a ordem cronológica dos turnos. A fim de ajudar na compreensão e na organização desta análise, olharemos esses acontecimentos através dos momentos presentes na aula de acordo com o intervalo de turnos apresentados no quadro 18.

O primeiro momento de interação da aula ocorre entre a professora e todos os alunos da turma. Esta primeira dinâmica de interação, momento 1, compreende os turnos 1 a 37. A princípio percebemos neste intervalo uma grande variação entre as cores dos turnos, o que significa uma diversidade de tipos de Situações. Procurando entender o motivo dessa variedade sentimos uma necessidade de um olhar mais profundo sobre como e em que ordem essas Situações aparecem.

Os turnos de 1 a 25, representados pela cor vermelha, nos diz que as primeiras interações ocorrem em torno de uma Situação de Institucionalização (SI). Uma leitura desatenta pode causar estranhamento, afinal como a validação do conhecimento poderia estar no começo da aula. Isso acontece porque esta aula está inserida num contexto maior, já que faz parte de uma Sequência Didática. A professora, portanto, retoma as discussões realizadas na aula anterior, aproveitando para resgatar os conceitos aprendidos no intuito de realizar novos questionamentos.

Percebemos também que no decorrer desta Situação, o nível de engajamento dos alunos se eleva de E para ED. Isso nos mostra que suas contribuições passam a ter uma relevância maior no debate estabelecido.

A cor roxa, que representa as Situações Didáticas (SD), aparece na sequência nos turnos 26 ao 29. Este curto trecho de interações marca algumas falas trocadas entre a professora e os alunos, quando ela realiza novos questionamentos com base no que já havia retomado.

Nestes turnos, apesar dos alunos evidenciarem a presença de características emocionais, relacionados aos indicadores do tipo E, eles demonstram que ainda não aceitaram o problema. Uma vez a reação deles frente as questões são respostas que reproduzem a ideia, muitas vezes usando as mesmas palavras, exposta pela professora.

Os dois turnos seguintes, 30 e 31, dois alunos passam a se arriscar mais ao formularem as respostas na tentativa de explicitarem suas ideias. Fica evidente que os alunos não tinham conhecimento sobre assunto tratado, afinal as perguntas englobavam questões quanto a transmissão da gravidade, assunto não tratado na Física Clássica.

Entendemos que o assunto “novo”, ainda não abordado no contexto escolar, possa explicar o movimento de tentativa e erro utilizado pelos alunos para responder à questão. Esta informação nos dá indícios que eles se encontram em uma Situação A-didáticas de Ação (SAA) e que o nível de engajamento se mantém do tipo E, o que explica a cor azul em sua intensidade mais baixa.

Estas primeiras tentativas e a insistência da professora em questioná-los acabaram por incentivar os outros alunos elaborarem respostas melhores, colocando-os frente a Situação A-didáticas de Formulação (SAF). Deste modo entre os turnos 32 ao 37 os alunos passam a explicitar seus conhecimentos sobre o assunto mostrando ideias

que, mesmo pouco desenvolvidas, trazem contribuições para a discussão do tema e isto evidencia que eles continuam apresentando engajamento do tipo E.

Quando a professora apresenta o problema a ser investigado pelos alunos passamos a olhar para o próximo momento de interação. Compreendido pelos turnos 38 a 58, o momento 2 (M_2) é marcado predominantemente por falas da professora relacionadas a leitura do material impresso dado aos alunos, ao levantamento de questões iniciais e a dinâmica que deve ser realizada a atividade.

Por esse motivo todo esse momento é representado no quadro 16 pela cor roxa, uma vez que releva características de uma Situações Didáticas (SD). Fica evidente para os estudantes que há uma tarefa a se realizar por meio da leitura da atividade e da discussão das questões no pequeno grupo e do debate entre toda a turma.

Diferentemente da primeira vez que evidenciamos um caso SD, aqui temos a presença de turnos expressos por duas intensidades da cor roxa, o que significa que temos manifestações dos níveis E e ED.

O Engajamento (E) presente no turno 38 e no intervalo entre os turnos 44 ao 58 é manifestado quando os estudantes prestam atenção nos comentários feitos pela professora e dirigem suas falas tanto para ela quanto para seus colegas que estão próximos. Na maioria das vezes eles expressam suas falas ao mesmo tempo, quando as repostas são iguais temos uma maior facilidade em ouvir cada fala ao passo que quando temos uma grande participação dos alunos temos dificuldade em transcrever-las.

O Engajamento Disciplinar (ED) surge na SD quando os alunos revelam que já possuem um conhecimento sobre o tema e portanto compreendem o discurso presente nos questionamentos da professora feitos antes de começar a atividade. Vale ressaltar que essas questões iniciais fazem parte de ações própria da professora pois não são indicadas no material.

Por exemplo, a atividade desta aula se dá início com uma definição parcial de repouso e movimento pois isso seria necessário para entender no Princípio da Relatividade de Galileu. Antes de fazer a leitura do material, a professora questionou os alunos se ela estava em repouso ou movimento.

As primeiras ações dos alunos quando são suscitados a trabalharem em grupo, são manifestas por Situações A-didáticas de Ação (SAA). Nesta situação identificada no

turno 59, que marca a abertura do momento 3 (M_3), os estudantes começam a agir quanto à organização da atividade e da leitura do material, dando início ao trabalho colaborativo. Este turno releva que eles estão engajados e por esse motivo o turno é representado pela cor azul clara.

Um aspecto que chama a atenção é a pouca existência de SAA, visto que não há mais evidências dessas características no decorrer da aula. Em nosso entendimento isso está relacionado com o fato de ser uma aula de resolução teórica de problemas, por meio de experimentos mentais, o que não implica em ações manipulativas.

Os turnos que vão do 60 a 174, que também fazem parte do M_3 , são referentes a combinação de falas, ações e gestos expressos pelos alunos durante a realização da atividade no pequeno grupo em que eles explicitam suas ideias sem a intervenção da professora. Neste momento percebemos a repetição de um grupo de turnos compreendidos entre os intervalos 60 ao 65, 99 ao 103, 112 ao 121, 144 ao 167, representados pela cor verde, releva Situações A-didáticas de Formulação (SAF)

Este padrão aparece diversas vezes nas quais os alunos comunicam suas ideias e hipóteses seja ela feita a partir de suas reflexões iniciais sobre o que já foi discutido ou através de informações apresentadas no material e principalmente em decorrências das questões propostas pela atividade. Neste debate estabelecido pelo grupo encontramos evidências de ED, pois eles trabalham de forma colaborativa e expressam características emocionais voltadas a resolução da atividade.

As interações ocorridas em Situações A-didáticas de Validação (SAV) surgem logo após as Situações A-didáticas de Formulação entre os intervalos 66 ao 77, 104 ao 111, 122 ao 143 e 168 ao 169.

Este novo padrão de repetição de cores é observado quando os alunos são suscitados pelos próprios colegas ou através das questões da atividade a buscarem justificativas de suas escolhas e inserirem novos elementos que dão sustentação a hipóteses.

Apesar de apresentarem duas intensidades referentes aos níveis de engajamento, algo inédito acontece nesses turnos já que são evidenciados casos de EDP. Podemos observar que dentre um conjunto de turnos amarelos as intensidades variam ao longo da interação estabelecida. Deste modo, são evidenciados casos de ED vinculados ao

trabalho colaborativo do grupo na análise de ideias e EDP na sofisticação das mesmas e na construção das relações explicativas.

Entretanto, diferentemente das situações de formulação que apresentam um espectro contínuo dos mesmos níveis de engajamento E ou ED, aqui na validação existem casos discretos de EDP. Isto é, o maior nível de engajamento aparece primeiramente em turnos isolados. O que significa que Engajamento Disciplinar Produtivo é evidenciado no discurso de um aluno.

Seguindo a linha temporal da aula, percebemos que este fenômeno é minimizado e passam aparecer turnos contínuos de EDP na SAV. Nossa interpretação é que uma vez o EDP aparece no discurso de um aluno, há mais chances de um número maior de alunos passarem a estar engajados disciplinar e produtivamente durante a discussão. É como se um gatilho inicial para os alunos estarem no maior nível de engajamento.

Ainda neste momento de interação observamos dois casos de Situações Didáticas. Os turnos 78 e 79 são relacionados há um caso particular interessante. Já dissemos que durante realização da atividade pelo grupo não haviam intervenções da professora, entretanto isso está relacionado a interferência dela na discussão de ideias dos alunos.

Deste modo, esses turnos representam falas das professoras que reforçam a importância deles discutirem as questões ao invés de apenas anotarem suas respostas na folha. Neste mesmo instante os alunos prestam atenção e reagem quando ouvem essas falas evidenciando que eles estão engajados (E). Em consequência desta situação, o grupo retorna a leitura e faz uma discussão mais profunda acerca do que atividade pergunta.

Os outros turnos que vão do 170 ao 175, delimitam alguns comentários feitos pelos alunos quando eles terminaram a atividade em que ficou evidente a preocupação em obter o retorno da professora, o intuito era mostrar que as discussões foram realizadas.

Este movimento dos alunos está vinculado a participação dos estudantes ao cumprimento de uma tarefa e portanto revela Engajamento Disciplinar. Por demandar de um encaminhamento, eles devolvem a responsabilidade do resultado final para professora, o que expressa características de uma Situação Didática.

Na sequência dessas Situações Didáticas, especificamente nos intervalos do 80 ao 98 e do 176 ao 206, início do momento 4, os turnos não foram pintados pois acreditamos que as falas presentes não estavam ligadas a nenhum tipo de Situação e não apresentavam indícios de engajamento. No geral essas falas estavam relacionadas a assuntos pessoais e que não contribuíam diretamente para resolução da atividade.

Dando continuidade aos turnos apresentados no momento 4 (M₄), compreendidos entre o 207 ao 224, as interações ocorridas giram em torno da verificação por parte da professora em relação ao estágio de desenvolvimento da atividade. Esta fase simboliza o momento em que os alunos percebem o funcionamento e as regras do meio que eles interagem, portanto evidenciam elementos de ED em uma Situação Didática.

O momento 5 (M₅) em que a professora se direciona ao pequeno grupo através das questões propostas na atividade os turnos voltam a apresentarem diversas vezes os padrões SAF, SAV e em uma vez o padrão SD. No quadro 16 podemos observar pelas cores: verde, amarelo e roxo.

Este movimento entre as Situações já havia sido mostrado no momento 3 em que os alunos discutiam as mesmas questões, o que explica o motivo desta constatação. Entretanto no momento 5, compreendido entre os turnos 225 a 309, encontramos um número maior de SAF que oscila entre os níveis E e ED.

Mas essa variação de níveis na SAF só acontece depois que uma SD de nível E, representada pelos turnos que vão do 251 ao 255, surge em meio as discussões sobre o tema. Até então as SF apresentavam apenas indícios de EDP. As SD desde conjunto de turnos representam mais um momento em que nos alunos devolvem a responsabilidade pelo resultado do problema, mas como veremos a seguir as Situações voltam a ser a-didáticas mostrando que eles reassumem o compromisso com a resolução do problema.

Podemos identificar pelo quadro de turno, um grupo maior de turnos mostram a intercessão entre ED e SAF, presentes nos intervalos 225 ao 233, 237 ao 250, 256 a 258, 265 ao 269, 279 a 284, 289 ao 297 e 303 ao 305, ao passo que os turnos, compreendidos entre 259 a 264, 275 a 278, 285 a 288 e 298 a 302, apresentam o nível E na mesma Situação aparecem no decorrer da discussão. Poderíamos pensar sobre o que leva os alunos formularem suas hipóteses ao mesmo tempo que diminuem seu nível de engajamento.

Para responder tal particularidade devemos lembrar da presença da professora no debate com os alunos, pois ela é quem faz a leitura das perguntas dadas no material e além disso propõe novas a partir das ideias que os alunos apresentam. A reação dos alunos frente esta dinâmica é revelada primeiramente no nível E, onde eles discutem o tema e demonstram características emocionais, e passam a ser ED quando essas ações se concretizam no plano disciplinar.

Ainda neste momento 5 podemos notar o surgimento SAV logo após SAF. Os turnos que apresentam indícios de EDP manifestam que os estudantes usam as ideias uns dos outros na comunicação e justificação de seus pontos de vista quando suscitados por ações da professora e principalmente pelo uso de ideias em outros contextos. Enquanto que os níveis ED eles revelam características emocionais relacionadas a busca de compreender as suas ideias são consistentes.

Geralmente a mudança de momento para outro é marcado por uma alteração na cor do turno, ou seja, as Situação também é modificada. Porém podemos observar que a Situação A-didática de Validação (SAV) se mantém mesmo depois que a professora se afasta do grupo, ou seja, os alunos continuam a buscar explicações.

O momento 6 (M_6) nomeado como “reação dos alunos após a intervenção da professora” é marcado apenas por SAV apresentadas entre os turnos 310 ao 341. Isso nos mostra a relevância das ações da professora para uma busca maior de justificativas de suas ideias. Aqui também vemos exemplos de variação no nível de engajamento dos estudantes relacionadas avanço na qualidade e sofisticação das ideias.

O momento 7 (M_7), compreendido entre os turnos 342 a 547, está relacionada a etapa de fechamento da atividade pelo professor com o grande grupo. Trata-se do último e maior conjunto de turnos por momento. Isso significa que há uma concentração maior das falas e ações ocorridas em sala de aula, o que pode ser entendido pelo aumento de alunos participantes nas discussões.

Conforme vemos pelo quadro de turnos, o momento da sistematização da atividade é predominantemente marcado por Situações de Institucionalização, mas isso não impede o surgimento de Situações A-didáticas de Formulação e Validação. Entendemos que a fase de síntese das ideias de toda a turma e a apresentação de obras

científicas, fazem com que os alunos formulem novas ideias e a troca entre os grupos exige o uso de justificativas maiores, principalmente quando há divergências de ideias.

Outra particularidade sucede nas Situações de Institucionalização, a cor vermelha é a única cor em que se verifica as três intensidades, ou seja, os três níveis de engajamento. Nesta situação os indicadores tipo E aparecem no início e no final da sistematização realizada pela professora com toda a turma, principalmente quando eles demonstram prestar atenção na fala da professora. Estes turnos surgem entre os turnos 342 ao 350, 373 ao 380, 382 ao 391, 394 ao 396 e 542 a 547.

Já os níveis de ED surgem em decorrência das ações da professora quando ela solicita uma explicitação mais clara das ideias apresentadas ou quando os próprios alunos questionam os colegas dos outros grupos. Novamente o mesmo movimento de turnos isolados, representados por 381, 392 e 393 com indicadores de ED aparecem e depois surgem de forma contínua nos intervalos dos turnos que vão do 435 ao 442, do 460 ao 468, do 475 ao 483, do 487 ao 525 e por fim 528 ao 535.

Entre esses mesmos turnos, onde há uma intensa troca de informações entre os todos os alunos e a professora surgem entre os turnos 469 ao 474, 484 ao 486 e 526 527 as cores vermelhas mais escuras, ou seja, indícios de EDP.

No contexto da aula, percebemos que eles surgem ao longo do debate depois que a professora insere as reais preocupações surgidas na época de Galileu, posteriormente a discussão da imagem data no material onde se discute as ideias sobre a Terra estar ou não em movimento em torno do sol e também quando há a leitura de um trecho da obra Diálogos de Galileu Galilei. Isto é as evidencias de EDP surgem em decorrência da sistematização com base no conhecimento científico aceito pela comunidade, ou seja, o saber culturalmente e socialmente aceito.

Nestes casos as explicações dos grupos passam a ser feitas em outros contextos, diferentes daquele dado na atividade, as justificativas dadas pelos alunos passam a ser mais sofisticadas e são feitas de forma colaborativa. Além disso eles incluem novas condições para os exemplos citados, prevendo o que aconteceria e relatam que a impossibilidade de distinguir movimento e repouso vale apenas para casos em que o movimento seja uniforme, ressaltando a apropriação do conhecimento.

Finalizada a leitura do quadro por momento, percebemos um grupo de turnos pertencentes simultaneamente a intercessão entre os conjuntos delimitados pelos tipos de situação e pelos níveis de engajamento. Podemos identificar que os turnos que fazem parte das Situações Didáticas (SD) apresentam níveis de engajamento E e ED; nas Situações A-didáticas de Ação (SAA) apenas o nível E; nas Situação A-didáticas de Formulação (SAF) revelam E e ED; nas Situações A-didáticas de Validação (SAV) evidenciamos a presença de indicadores ED e EDP e nas Situações de Institucionalização (SI) aparecem os três níveis E, ED e EDP. Examinando os turnos nesta perspectiva, percebemos que nem todas as Situações apresentam os três níveis de EDP.

Após esta análise observamos Situações correlatas, ou seja, o surgimento de algumas Situações depende da existência de outras. Isso fica claramente representado quando a observamos SAV acontece na sequência, em sua maioria, da SAF e alguns casos depois da SI. Deste modo, o uso de mecanismos de prova por parte dos alunos, dependem de momentos prévios em que eles formulam suas hipóteses ou de momentos em que a professora reconhece a validade do conhecimento.

Em outro exemplo a SD, mais relacionadas às ações e intenções da professora, leva os alunos a trabalharem com o SAA e SAF. Este movimento são marcos importantes da aula, pois estão associadas ao surgimento de Situações A-didáticas que são indícios da devolutiva do problema por parte dos alunos (BROUSSEAU, 2008). Isto é, os estudantes realizam as atividades não para atender uma expectativa do professor, mas sim porque eles assumiram a responsabilidade pelo problema.

Em nosso último comentário ressaltamos a importância de Situações A-didáticas de Validação e Situações de institucionalização, pois nelas é que aparecem os maiores níveis de EDP. A nosso ver são situações primordiais para que haja progresso intelectual do aluno. Isso destaca o papel das atividades e as ações da professora ao estímulo do uso de explicações e busca de justificativas, tanto no domínio dos conhecimentos dos alunos quanto no domínio sócio cultural. Ressaltamos por fim, que isso não faz com que as outras situações se tornem menos importantes, assim como os níveis de engajamento elas são degraus para o surgimento dessas situações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, buscamos investigar o engajamento dos estudantes em uma aula de Física do Ensino Médio no contexto da implementação de atividades em que são abordados temas da Relatividade e que compõem uma Sequência Didática sobre Relatividade Geral. Dado esse objetivo, delimitamos a pergunta que define nosso problema de pesquisa: Como os alunos se engajam em atividades propostas a partir de uma Sequência Didática sobre Relatividade Geral no Ensino Médio?

Nossas inquietações voltadas a um ensino que estimule à participação ativa dos estudantes na resolução de problemas no contexto de ensino nos levaram a busca de referenciais teóricos que nos dessem sustentação para responder tal questão. Nos deparamos com as ideias apresentadas na Teoria das Situações Didáticas (BROUSSEAU, 1986) e com as proposições ligadas ao Engajamento Disciplinar Produtivo (ENGLE; CONANT, 2002) que nos ajudaram a identificar, qual modo de resolução estabelecido e como eles se manifestam, assim como avaliar o grau de envolvimento dos alunos com conhecimentos científicos em sala de aula.

Uma vez estabelecida a aproximação entre esses referenciais e com base nos indicadores de EDP (SOUZA, 2015), propusemos a elaboração de um instrumento de análise em que pudéssemos compreender a forma com que os estudantes participam da resolução do problema e o nível de sua participação nesta tarefa. Desta forma, pretendíamos avaliar como a constituição dos diferentes tipos de Situação evidenciam os diferentes níveis de engajamento.

A fim de criar um ambiente propício para o desenvolvimento desta pesquisa, construímos uma Sequência Didática sobre o tema da Relatividade Geral e a partir de sua implementação analisamos as interações ocorridas em sala de aula. Nossos dados foram obtidos na aula 5 na qual foi abordado o Princípio da Relatividade de Galileu via experimentos mentais.

Dada a complexidade dos resultados obtidos, observamos um movimento de troca intensa entre os tipos de situações que revelam diferentes níveis de engajamento. Identifica-se a dificuldade de entender como os alunos engajam-se na atividade propostas.

Quando analisamos esses dados em relação a dinâmica dos momentos de interação, é possível identificarmos antecipadamente em qual etapa estão os sujeitos envolvidos na atividade e quem são eles. Portanto podemos prever se as interações são decorrentes da retomada de discussões já realizadas anteriormente, da apresentação do problema, das discussões propostas nas atividades, da sistematização das ideias, da interação do professor com os alunos do pequeno ou grande grupo e da interação dos alunos entre si.

A análise feita momento a momento ajuda a compreender qual o meio que alunos e professores estão inseridos, ao passo que ao interagirem com o saber revelam um tipo de Situação específica, podendo evidenciar engajamento dos alunos. Desta forma buscamos correlacionar em cada turno ou conjunto de turno que delimitam as diferentes situações, seja ela Situações Didáticas (SD), Situações A-didáticas de Ação (SAA), de Formulação (SAF), de Validação (AV) e as Situações de Institucionalização (SI) com os diferentes níveis E, ED e EDP.

Os resultados obtidos nesta perspectiva mostram que um grupo de turnos são pertencentes simultaneamente a intercessão entre os conjuntos delimitados pelos tipos de Situação e pelos níveis de engajamento. Observamos nesta aula analisada que os níveis de engajamento dos alunos oscilam no decorrer da aula, mas dentro de cada situação eles tendem a ocorrer na ordem de E, ED e EDP; demonstrando que o nível se eleva ao longo das discussões.

A partir dos resultados notamos a importância das interações ocorridas em torno da validação do conhecimento, quando os alunos procuram justificar suas hipóteses e quando a professora realiza a sistematização com base no conhecimento científico, pois revelam progresso intelectual do aluno e evidenciam assim o Engajamento Disciplinar Produtivo. Deste modo fica claro a importância do papel das atividades e ações da professora para estimular o uso de mecanismos de prova por parte dos alunos.

Ressaltamos por fim, que isso não faz com que as outras situações se tornem menos importantes, assim como os níveis de engajamento elas são degraus para o surgimento dessas situações.

Deste modo, esta ferramenta mostra-se relevante na análise de como os alunos engajam-se em uma aula que desenvolve atividades que compõem uma Sequência Didática sobre Relatividade Geral.

A fim de trazer novos elementos de análise que possam também enriquecer as evidências, seria interessante o uso desta ferramenta em diferentes contextos de pesquisa e na análise de diferentes aulas em momentos distintos de uma Sequência Didática.

REFERÊNCIAS⁸

- ALMEIDA, B.C.; OLIVEIRA, T.M.; MOZZER, N.; O discurso do professor e o ensino de ciências: interações que propiciam o engajamento dos alunos em aulas de ciências, in: i Encontro Inovações Pedagógicas nas Licenciaturas da UFOP, Universidade Federal de Ouro Preto, 2015.
- ANDRADE, R. R. D.; NASCIMENTO, R. S.; GERMANO, M. G. Influências da física moderna na obra de Salvador Dalí. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 24, n. 3: p. 400-423, dez., Florianópolis, 2007.
- ARRUDA, S. M.; VILLANI, A. Sobre as origens da relatividade especial: relações entre quanta e relatividade em 1905. Cad. Cat. Ens. Fís., v.13, n1: p.32-47, abr., Florianópolis, 1996.
- ARRIASSECQ, I.; GRECA, I.M. Algunas consideraciones históricas, epistemológicas y didácticas para el abordaje de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio y polimodal. C&E, 8(1), 2002.
- ARRIASSECQ, I.; GRECA, I.M. Introducción de la teoría de la relatividad especial em el nivel medio/polimodal de enseñanza: identificación de teoremas-em-acto y determinación de objetivos-obstáculo. IEC, 11(2), 2006.
- ARTIGUE, M. Ingénierie didactique. In: BRUN, J. e FLORIS, R. (Ed). Didactique des mathématiques. Paris: delachaux et niestlé, 1996.
- AZEVEDO, M. C. P.S. Situações de ensino - aprendizagem: análise de uma sequência didática de física a partir da teoria das situações de Brousseau, 2008. 284p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Educação. Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática) - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo
- BASSALO, J. M. F. Aspectos históricos das bases conceituais das relatividades. Rev. Bras. Ens. Fís., p. 180, São Paulo, 1997.
- BELL, J.S. (1987), How to teach special relativity, in BELL, Speakable and unspeakable in quantum mechanics. Cambridge: Cambridge U. Press, pp. 67-80. Orig. de 1976. BROWN, H.R.; Physical relativity. Oxford U. Press. 2005.
- BERMAN, M. S. O ensino de relatividade geral na graduação. Rev. Bras. Ens. Fís., p. 41, São Paulo, 1987.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. Investigação Qualitativa em Educação. Uma Introdução à Teoria e aos Métodos. Porto Editora (Coleção Ciências da Educação). Lisboa – Portugal, 1994.
- BORGES, M. D., Física moderna e contemporânea no ensino médio: uma experiência didática com a teoria da relatividade restrita. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação em Física. 2005.

⁸ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2002.

BROCKINGTON, G., PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? *Investigação no Ensino de Ciências*, v.10 n. 3. 2005.

BROUSSEAU, G. Fondaments et méthodes de la didactique des Mathématiques. *Recherches en Didactique de Mathématiques*, Vol. 7 No. 2, pp. 33-115, 1986. Disponível em: <http://www.uruguayeduca.edu.uy/Userfiles/P0001%5CFile%5CFundamentosBrousseau.pdf>, baixado em 14/05/2016.

_____. La théorie des situations didactiques, 1997, disponível em: <http://www.cfem.asso.fr/actualites/Brousseau.pdf>, baixado em 18/05/2016.

_____. Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques, 2002. Disponível em: http://guy-brousseau.com/wp-content/uploads/2010/09/Glossaire_V5.pdf, baixado em 07/05/2016.

_____. A Teoria das Situações Didáticas e a Formação do Professor. Palestra. São Paulo: PUC, 2006. Disponível em: http://www.pucsp.br/pensamentomatematico/TSDMF4_Brousseau_2006.pdf, baixado em 22/05/2016.

_____. Introdução ao estudo das situações didáticas: conteúdos e métodos de ensino. São Paulo: Ática, 2008.

_____. La théorie des situations didactiques en mathématiques, *Éducation et didactique*, vol. 5, no. 1, 2011, disponível em: <http://educationdidactique.revues.org/1005>; baixado em 18/05/2016.

_____. Education et didactique des mathématiques. *Educacion y didactica de las matematicas*, Oct 1999, Communication au Congrès d'Aguas Calientes, Mexico Article paru en espagnol dans la revue Mexicaine « Educacion matematica » Vol 12 n°1 Abril 2000 pp 5-39. México. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00466260/document>. Baixado em 18/05/2016.

BROSSEAU, G. et al., *Teaching Fractions through Situations: A Fundamental Experiment*, Springer Science+Business Media B.V. 2014.

BROUSSEAU, G.; CENTEÑO, J. Rôle de la mémoire didactique de l'enseignant. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 1991. In BROUSSEAU, G. *Introdução ao estudo das Situações Didáticas: conteúdos e métodos de ensino*. Tradução de Camila Bogéa. São Paulo: Ática, 2008 p. 31-32).

CARUSO, F.; FREITAS, N. Física moderna no ensino médio: o espaço tempo de Einstein em tirinhas. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 26, n. 2: p. 355-366, ago., Florianópolis, 2009.

CARVALHO, A. M. P.; SANTOS, E. I.; AZEVEDO, M. C. P. S.; DATE, M. P. S.; FUJII, S. R. S.; NASCIMENTO, V. B. *Calor e Temperatura - um ensino por investigação*. 1ª. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014. 146p.

CARVALHO, Anna Maria P et al. Investigar e aprender: ciências, 4o ano. 1. ed. São Paulo: Sarandi, 2011.

CINDRA, J. L. Esboço da evolução histórica do princípio da relatividade. Rev. Bras. Ens. Fís., p. 26, São Paulo, 1994.

COUTO, F. P. AGUIAR JR, O. *Sustentando o interesse e engajamento dos estudantes: análise do discurso em atividade demonstrativa de Física*. In: VII ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, dez. 2009.

ENGLE, R. A; CONANT, F. R (2002). Guiding Principle for Fostering Productive Disciplinary Engagement: explaining an emergent argument in a community of learners classroom. Cognition and Instruction, v. 20, p. 399-484, 2002.

FREIRE, Paulo. Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa. São Paulo, SP: Paz e Terra, 1996.

GIL PÉREZ *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. São Paulo, Ciência & Educação, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GIORDAN, M., GUIMARÃES, Y. A. F. E MASSI, L. Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: Tendências no ensino de Ciências. VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2012.

GONÇALVES, G.P., SILVA, N.S., WebQuest como forma de promover o Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP) nas aulas de Química. In: XVIII ENEQ-Encontro Nacional de Ensino de Química, 2016, Florianópolis. XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ) Florianópolis, SC, Brasil, 2016. v. 1.

GONÇALVES, G. P.; GONCALVES, W. W.; MUNAYER, T. K. A. WebQuest e Engajamento Disciplinar Produtivo: Potencializando o Ensino de Química. 2016. In: XVIII ENEQ-Encontro Nacional de Ensino de Química, 2016, Florianópolis. XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ) Florianópolis, SC, Brasil, 2016. v. 1.

GUERRA ET AL., Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 4, p. 575-583, (2007).

GUERRA, A.; REIS, J. C.; BRAGA, M. Tempo, espaço e simultaneidade: uma questão para os cientistas, artistas, engenheiros e matemáticos no século XIX. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 27, n. 3: p. 568-583, dez., Florianópolis, 2010.

HIEBERT, J., CARPENTER, T. P., FENNEMA, E., FUSON, K., HUMAN, P., MURRAY, H., et al. Problem solving as a basis for reform in curriculum and instruction: The case of mathematics. Educational Researcher, 1996

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. PILAR; RODRÍGUEZ, ANXELA, BUGALLO; DUSCHL, R. A. *“Doing the Lesson” or “Doing Science”: Argument in High School Genetics*. In Science Education, vol. 84, Issue 6, pp. 757-792 (2000).

KARAM, R. A. S.; SOUZA CRUZ, S. M. S. C.; COIMBRA, D. Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula. *Rev. Bras. Ens. Fís.*, v. 29, n. 1, p. 105-114, São Paulo, 2007.

_____. Tempo relativístico no início do ensino médio. *RBEF*, 28(3): 373, 2006.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão sobre a natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 22, n. 1: p. 36-70, abr., Florianópolis, 2005.

LÜDKE, M; ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MARTINS, R.A. A maçã de Newton: histórias, lendas e tolices. In: SILVA, C. C. (Org.) *Estudos de História e Filosofia das Ciências*, São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 381.

MARTINS, R. A. O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da terra, antes dos experimentos de Michelson e Morley (1818-1880). *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 29, n. 1: p. 52-80, abr., Florianópolis, 2012.

MENEZES, M. B; LESSA, M. M. L; MENEZES, A. P. A. B. A Emergência de Fenômenos Didáticos em Sala de Aula: a Negociação de uma Sequência Didática em Álgebra Inicial. 2006. Disponível em: . Acesso em 15 jul. 2008.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Einstein, a física dos brinquedos e o princípio da equivalência. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 22, n. 3: p. 299-315, dez. Florianópolis, 2005.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J.B. Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. *Ensino de ciências e matemática, I: temas sobre a formação de professores [online]*. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J.B. Física Moderna e Contemporânea no ensino médio e a formação de professores: desencontros com a ação comunicativa e a ação dialógica emancipatória, *Revista eletrônica de investigação em ciências*. Volume 8 Nro.1 Mes Junho, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press. 1996.

NEWTON, I. *The Principia (Mathematical Principles of Natural Philosophy - A New Translation)*. In: I. Bernard Cohen and Anne Whitman (ed.). Los Angeles: University of California Press, 1999.

NICOLAU JUNIOR, J. L. Estrutura didática baseada em fluxo: relatividade restrita para o ensino médio. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de biociências. São Paulo, 2014.

OSTERMANN, F., *Epistemologia: implicações para o ensino de ciências* / Fernanda Ostermann e Cláudio José de Holanda Cavalcanti. Porto Alegre: Evangraf; UFRGS, 2011.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. F. Relatividade restrita no ensino médio: contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de física. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 19, n.2: p. 176-190, ago., Florianópolis, 2002.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. F. Relatividade restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de física. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 21, n. 1: p. 83-102, abr., Florianópolis, 2004.

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 – V5(1), pp. 23-48, 2000.

PAIS, A., “Sutil é o Senhor...”: a ciência e a vida de Albert Einstein, Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1995, 637 p.

PESSANHA, M.; PIETROCOLA, M., Aceleradores de partículas na Educação Secundária e o uso de simulações computacionais: superando obstáculos didático-pedagógicos e epistemológicos. In: II Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad, 2013, Madri. II Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad. MADri: CINAIC, 2013. v. 1. p. 1-5.

PIETROCOLA DE OLIVEIRA, M. (1993), “Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da terra sobre a propagação da luz”, Cadernos Catarinenses de Ensino de Física 10: 157-72.

POMMER, W. M., A Engenharia Didática em sala de aula: Elementos básicos e uma ilustração envolvendo as Equações Diofantinas Lineares, 2013. 72 p. Disponível em: <http://stoa.usp.br/wmpommer/files/3915/20692/Livro+Eng%C2%AA+Did%C3%A1tica+2013.pdf>. Baixado em 7/05/2016.

PORTO, C.M.; PORTO, M.B.D.S.M., Uma visão do espaço na mecânica newtoniana e na teoria da relatividade de Einstein, Rev. Bras. Ensino Fís. vol.30 no.1 São Paulo 2008.

PRETI, D. (Org.) **Fala e escrita em questão**. São Paulo: Humanitas / FFLCH / USP, 2000. (Projetos Paralelos – NURC/SP, 4).

RANGE S. K., Educator's Guide to Gravity Probe B *, NASA, October 2004. Disponível em: http://einstein.stanford.edu/content/education/GP-B_T-Guide4-2008.pdf. Acesso em: 22 março 2015.

SÃO PAULO (Estado) Secretaria da Educação. Diretrizes da Escola de Tempo Integral. São Paulo, 2012.

SANTOS, V. H. Relatividade e Realidade. Cad. Cat. Ens. Fis., 3(2): 83-84, ago., Florianópolis, 1986.

SASSERON, DUSCHL, ensino de ciências e as práticas epistêmicas: o papel do professor e o engajamento dos estudantes, Investigações em Ensino de Ciências – V21(2), pp. 52-67, 2016.

SANTOS, R. P. B. Relatividade restrita com o auxílio de diagramas. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 23, n. 2: p. 238-246, ago., Florianópolis, 2006.

SILVA, A.C.T.; MORTIMER. As estratégias enunciativas de uma professora de química e o engajamento disciplinar produtivo dos alunos em atividades investigativas, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* Vol. 11 Nº 2, 2011

SILVA, M. O. P.; PINTO, N. B., As relações didático-pedagógicas no ensino de geometria com o software cabri-géomètre. 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008 Disponível em: <http://www.biblioteca.pucpr.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1159>. Acesso em: 13 nov. 20015.

SILVEIRA, F. L.; PEDUZZI, L. O. Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 23, n. 1: p. 26-52, abr., Florianópolis, 2006.

SOUZA, T. N. Engajamento Disciplinar Produtivo e o Ensino por Investigação: estudo de caso em aulas de Física no Ensino Médio. São Paulo: USP, 2015. 137 p. Dissertações, Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de biociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

STANNARD, R. Modern physics for the young. *Physics Education*, Bristol, v. 25, n. 3, p. 133, May 1990.

TEIXEIRA, P. J., PASSOS, C. C. M., Um pouco da teoria das situações didáticas (tsd) de Guy Brousseau, Zetetiké – FE/Unicamp – v. 21, n. 39 – jan/jun 2013. p. 155-168. Disponível em: <http://ojs.fe.unicamp.br/ged/zetetike/article/view/4327>, baixado em 16/05/2016.

TERRAZZAN E. A. Perspectivas para a Inserção de Física Moderna na Escola Média. Tese de Doutorado em Educação, Universidade de São Paulo, 1994.

TREVISAN, W. A., Ensinando matemática por meio de situações potencialmente adidáticas: estudo de casos envolvendo análise combinatória. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Matemática e Estatística, Univerdade de São Paulo, São Paulo, 2014.

VELARDE, A. Relatividad y el espacio-tiempo: uma introduccion para estudantes de colégio. *RBEF*, 24(3), 2002.

VILLANI, A. Análise de um curso de introdução a relatividade. *Rev. Bras. Ens. Fís.*, p. 21, São Paulo, 1980.

VIEIRA, S. Uma comparação entre deduções da equação $E=mc$. *Rev. Bras. Ens. Fís.* v.26 n.2, São Paulo, 2004.

YIN, Robert K. Estudo de caso – planejamento e métodos. (2Ed.). Porto Alegre: Bookman. 2001.

ZABALA, Antoni., A prática educativa: como ensinar. Trad. Ernani F. da Rosa – Porto Alegre: ArtMed, 1998.

APÊNDICE A – Transcrição da aula 5 sobre o Princípio da Relatividade de Galileu

Tabela de transcrições por turno, ações/gestos, aproximadamente 1 hora e 10 minutos de gravação. Alunos do 1º, 2º e 3º ano do Ensino Médio.

Turno	Transcrição	Ações/gestos
1	P: Várias pessoas faltaram então... eu só vou comentar o que a gente fez... é....a gente estava falando do princípio da equivalência, ele é muito importante para depois entender a relatividade tá! Então só falando muito rapidamente é.... Uma das questões era em relação a força né. A força. Será que tem... da força peso, certo? E aí vocês têm o material, pode consultar e depois a gente falar ... depois a gente dá uma revisada aí, mas basicamente a ideia que a galera fez é que assim: Era um experimento imaginário do Einstein, ele achava que era...uma pessoa dentro do elevador, certo? E....se os cabos do elevador fossem cortados, o que acontece com a pessoa lá dentro?	Começo da aula lembrando atividade anterior. Os alunos já estão sentados nos grupos.
2	A6: Ele cai	
3	A11: Ele sobe...	
4	P: Ela sobe?	
5	A7: Não, ela “uuu”	Faz um gesto com as mãos como se estivesse flutuando.
6	A6:Não, ela cai junto com o elevador.	
7	A13: (inaudível)	
8	A11: Ela...	
9	P: Ela caia junto como se ela tivesse flutuando. É como se tivesse desligado a gravidade.	Concordando com alguns alunos.
10	A6: só que quando ela cair no chão, ela (...) (inaudível)	
11	P: Então aí a gente fez um experimento com um copinho e com duas massinhas. É aí quando a gente deixava soltar então... esse copinho estavam presos dois elásticos e aí quando soltava ele em queda-livre, que é a mesma ideia que cortar os cabos do elevador, as bolinhas eram puxadas, porquê?	Se referindo a atividade da aula passada. Faz o esquema experimental com as mãos.
12	Alunos: ((alunos conversam ao mesmo tempo, só é possível identificar fragmentos))	
13	P: Ninguém lembra?	
14	Alunos: ((alunos conversam ao mesmo tempo, só é possível identificar fragmentos))	
15	A2: Força elástica...	
16	P2: Pode falar...	
17	A3: Com a queda anula a gravidade e faz com que a força elástica puxe as bolinhas para dentro.	

18	P: Quem que puxa?	
19	A3: A força elástica!	
20	<p>P: A força elástica...Então assim a gente tá vendo que tem alguma coisa bem estranha né. A gente viu uns vídeos que estavam simulando a gravidade zero. Como eles faziam para fazer gravidade zero? Eles não iam longe do campo gravitacional, eles colocavam um avião em queda-livre. Então, tem como desligar a gravidade? Então tem alguma coisa estranha em relação a isso. E aí a gente viu também que é.... se você estiver numa nave longe do campo gravitacional, não tem força...tá. Então se você soltasse bolinhas elas ficariam flutuando. Só que se a nave acelerasse, o chão chegaria junto nas duas bolinhas. Então você estar na Terra ou fora do campo gravitacional num lugar acelerado é a mesma coisa, tá? Pode ser que as pessoas que faltaram... a gente ficou uma aula inteira falando sobre isso. Então se tiver dúvidas pode falar. Tem no material isso. Então a gente chegou no Princípio da equivalência que não tinha como distinguir se a gente está num campo gravitacional newtoniano ou se está numa nave acelerada. Então a gravidade é aceleração. Aí o que vai acontecer... aí a gente chegou nisso aí gravidade e aceleração, parece que a gente não precisa falar de força?! A gente poderia falar que a gravidade está fazendo um caminho aí, mas parece que ela desliga as vezes... está estranho né! Essas respostas, ainda não vamos responder...Uma das coisas... é! Está estranho a gente já percebeu esse princípio da equivalência entre gravidade e aceleração. Não tem como distinguir se você está num campo gravitacional ou na nave acelerada, certo? Era essa a ideia. E outra coisa é que quando a gente terminou... lá nas primeiras aulas. É que a gente falou o seguinte...Eu fiz a seguinte pergunta para vocês. Então se eu soltasse essa folha o que iria acontecer?</p>	Mostra como se estivesse segurando bolinhas próxima ao corpo.
21	Alunos: Vai cair.	
22	P: Ela vai cair, por causa de quê?	
23	Alunos: por causa da gravidade	
24	P: E o que é gravidade?	
25	Alunos: força...a força que atrai...	
26	P: a força né... de atração. Ai eu pergunto demora um tempo para ela sentir essa força de atração?	Ela se refere a folha que a professora segura.
27	Alunos: Não... (inaudível)	
28	P: Então... a gravidade é instantânea ou ela tem uma velocidade?	
29	Alunos: Instantânea... tem velocidade.	Falam todos ao mesmo tempo.
30	A5: Ela tem uma velocidade ...mas é instantânea?!	
31	A11: Instantânea.	
32	P: Mas então ela se ela está aqui, ela já está sentindo a gravidade ou demora um tempo?	Se refere a folha.

33	A2: Não, porque tem a força de atração.	
34	A4: Ela já está sentindo...(inaudível) não faz muito sentido.	
35	P: Parece que falta uma resposta para isso...	
36	A14: (inaudível)	
37	A5: Não porque se batesse assim ... (inaudível)... iria levantar a mesa.	
38	P: Então a gente vai começar a discutir isso. Porque o Newton não explicou como era transmitida a gravidade. Ele não discutiu se ela era instantânea ou se demora um tempo ou não. Certo? Então antes de falar como a gravidade se propaga ou...e que velocidade. A gente precisa definir algumas coisas. O que é ter velocidade ou o que é movimento. Qual a diferença de estar em movimento ou estar em repouso. Será que a gravidade já está ali ou ela é transmitida? Essas perguntas ele não respondeu por que não tinha necessidade. O que ele estava estudando na época era a órbita dos planetas e não tinham essas questões. Então seguinte vou fazer uma pré definição que vai estar é.... tem duas páginas 19, mas chama atividade 3: Quão rápida se propaga a gravidade? Né... então antes da gente falar a gente precisa definir algumas coisas. Não é definição total, mas a gente vai diferenciar repouso e movimento. Então eu pergunto para vocês. Eu estou em repouso ou em movimento?	
39	Aluno: Repouso...	Todos alunos falam ao mesmo tempo.
40	A1: Depende do referencial adotado.	
41	A17: (inaudível)... Em relação à mesa...	
42	A4: Em relação a que?	Questionando o professor?
43	Alunos: conversam.	Comentam sobre atividade entre si.
44	P: Primeiramente a gente vai definir o repouso algo que... você está olhando. Você olha. Pensa que você está olhando. Eu olho. Qual seu nome mesmo? [A6: A6]. A6, Eu olho pro A6 não muda de posição conforme o tempo. Vocês têm algum problema com posição, a definição de posição? Posição? Ele não muda de posição conforme o tempo está passando. Certo? Agora se eu for caminhar, eu mudo de posição conforme o tempo. Então eu vou definir isso como movimento. Agora a gente vai fazer duas atividades que são experimentos mentais tá? Eu vou ler o primeiro e o segundo e vocês respondem em grupo as questões e depois a gente fecha. É eu vou dar... eu acho que... como é experimento mental (inaudível). Eu vou dar 20-25 minutos e depois eu vou perguntando.	Caminha pela sala mostrando que muda de posição para os alunos sentados. Inicia a explicação da atividade e de como ela vai ser feita.
45	Alunos: conversam.	Comentam sobre atividade entre si.
46	P: Então é o seguinte vocês vão ler o experimento, só que aí vocês vão responder as questões, tá. O experimento mental é o seguinte. A parte 1 "Imagine a situação em que	

	você está dirigindo um carro. Vocês não dirigem ainda né? Quem dirige? Então vocês só vão imaginar...	
47	Alunos: eu dirijo...	
48	P: Estou brincando. Imagine a situação em que você está dirigindo um carro. Pessoal vamos prestar atenção por favor... e com uma pessoa de carona sentada ao seu lado. Você olha para o velocímetro e percebe que está a 80 km/h, com velocidade constante. O que significa velocidade constante?	
49	Alunos: que não muda!	Vários alunos falam ao mesmo tempo.
50	P: Que não muda! Além disso imagine que você ultrapasse um carro que esteja a 70 km/h com velocidade constante. Beleza essa é a situação... Não deu para concluir nada... ai as perguntas... então assim não precisa responder agora e vocês vão responder em grupo. Então "oh" eu vou ler e não precisa responder, tá. De acordo com as definições de movimento e repouso, você pode concluir que está em repouso ou em movimento? Responda novamente a questão 1, porém agora em relação a pessoa sentada ao seu lado e em relação ao piso da rodovia, você chega na mesma resposta? Em relação ao outro carro, você está em repouso ou a 80 km/h? Beleza? Segunda parte. Imagine que você está dentro de um carro, mas não sabe que agora ele está em movimento ou em... movimento uniforme ou em repouso. Você não pode olhar pela janela, elas estão vedadas. Mas você pode enxergar seu amigo pois existe uma lâmpada acesa. Se seu amigo lançasse uma bolinha para cima e você observasse sua trajetória. Ai temos as questões. Pela trajetória observada, você notaria diferenças se o carro estivesse em movimento ou repouso? E ai eu tenho as outras questões que eu vou deixar pra vocês. Eu peço, por favor, que vocês não fiquem olhando as respostas na folha de trás Se concentrem só aqui. Depois a gente vai responder.	Leitura do material impresso.
51	A4: Tem resposta atrás?	
52	P: Não. É que é a discussão na verdade. Não tem assim a alternativa 1 é essa. Tem a discussão. Então assim se for para olhar, a gente nem ia vir na aula aqui discutir. Porque a gente quer discutir e não olhar ai. Então se concentrem nessa página aqui então e eu vou dar um tempo para vocês aí. Mas façam a discussão em grupo tá em relação as questões. Leia de novo o experimento mental.	
53	Grupo1: Conversam.	Eles procuram as questões no material e começam se organizar.
54	P: Tá tudo certa gente?	
55	Alunos grupo1: conversas.	Balançam a cabeça afirmando que sim.

56	P: Lê de novo o experimento mental para responder as questões tá!?	
57	Alunos Grupo1: conversas.	Eles estavam lendo coisas sobre a velocidade da luz.
58	P: Gente, por favor faz a atividade que eu pedi e depois vocês olham isso aí... (inaudível)	
59	Alunos Grupo1: conversas.	Realizam a leitura da atividade em voz baixa.
60	A5: Ué eles estão em movimento em relação a quê? Eles estão no carro.	
61	P2: Lê... lê a questão e vocês discutem.	Eles começam a ler o material.
62	A1: "Então se a posição variar eu estou em movimento e se não variar eu estou em repouso". Mas não existe repouso absoluto.	
63	A5: Não, mas ... mas em relação ao que eles estão repouso ou em movimento.	
64	A2: (Inaudível) mas se você olhar para o carro.	
65	A6: Depende aqui oh.	O aluno indica para a pergunta dada no material.
66	A3: Você vai estar em movimento	
67	A1: É porquê...	Ele faz um movimento com a mão girando com o dedo.
68	A3: olhando para Terra você está se deslocando.	Faz um movimento com as mãos, uma deslocando com a outra.
69	A6: (inaudível).	Indica a questão no material para outro aluno ao seu lado.
70	A5: sim, você está dirigindo!	Se dirigindo para A6.
71	A1: "De acordo com as definições de movimento e repouso, você pode concluir que está em repouso ou em movimento?"	
72	A3: Movimento.	
73	A1: Movimento? (Inaudível)...Mas é então porque não existe repouso absoluto.	
74	A2: Pensando assim, sim.	
75	A3: Me empresta lápis ou caneta.	Aluno pretende responder no papel.
76	A1: Precisa de um lápis né mano.	
77	A5: A dois então...é repouso né. A dois...	
78	P2: Não precisa ficar preocupado em responder assim....	Falando para o aluno sobre apenas preencher o material.
79	P: Não precisa ficar só respondendo faz a discussão também.	Professora fala para sala toda.
80	A1: Eu não ganhei essa página aqui oh.	Perguntando ao professor auxiliar.
81	A2: Essas duas páginas.	

82	P: você não ganhou?	
83	A1: É! Essas daqui “oh”.	
84	A2: e essa é da velocidade da luz e essa é diferente.	
85	L: vou pedir para ela pegar.	
86	A1: Tranquilo, tranquilo.	
87	P2: (nome da professora), ele está sem uma atividade.	
88	P: Ah! Você está sem? Eu tenho aqui.	
89	A4: Você tá sem?	
90	A2: Esqueceu	
91	P2: “Oh” pessoal faz como vocês sempre fazem um lê e vocês discutem.	
92	Alunos: conversam.	A professora entrega o material.
93	A4: (Inaudível)	
94	P: O quê?	
95	A4: Calor! (Inaudível) a gente fica se movimentando.	
96	P: Calor? É. Então assim não precisa ficar só respondendo...(inaudível) queria que vocês pudessem discutir as questões, sabe.	Respondendo na folha.
97	A4: A gente já está fazendo isso.	
98	P: Ah... tá? Calma, não falei nada...	Fala brincando com os alunos e nisso se afasta.
99	A4: “Responda novamente a questão 1, porém agora em relação a pessoa sentada ao seu lado e em relação ao piso da rodovia, você chega na mesma resposta?”	
100	A3: Sim porque em relação ao Sol você está andando.	Faz um giro com a mão.
101	A2: Você olha o Sol... tá parado e você atravessou um pouco.	Faz um gesto com as mãos indo pra frente, mostrando que a “Terra” atravessou o “Sol” parado.
102	A4: Demorou.	Ela balança a cabeça concordando, mas com uma expressão que está desconfiado.
103	A4: Mesmo? Sim. “Em relação ao outro carro, você está em repouso ou a 80 km/ h?”	
104	A5: Eu acho que a gente tá em relação ao carro a 10 quilômetros, por que o outro carro tá 70. Quando a gente passa por um carro parece que ele está lento. Eu acho que tá a 10 km/h.	
105	A3: Empresta o lápis.	
106	A2: Pra ele então... ele está em repouso e a gente está a 10 km/h. Para nós ele não está em repouso.	
107	A4: Como se ele... a gente tivesse parado e ele tivesse passando.... Perfeito!	Chacoalha a cabeça concordando.
108	A3: Nenhum dos dois tá parado... repouso... e a gente está a 10 km/h?	Ele aponta para a folha que está escrevendo a resposta.
109	A5: É a gente tá a 10 km/h.	

110	A2: Se a gente tivesse na mesma velocidade que ele, então ele estaria em repouso também né.	Os outros alunos do grupo concordam chacoalhando a cabeça.
111	A5: Se a gente tivesse no lugar (inaudível) enxergaria.	
112	A4: Aiii... "Imagine que você está dentro de um carro, mas não sabe que agora ele está em movimento uniforme ou em repouso. Você não pode olhar pela janela, elas estão vedadas. Mas você pode enxergar seu amigo pois existe uma lâmpada acesa. Se seu amigo lançasse uma bolinha para cima e você observasse sua trajetória. Um: Pela trajetória observada, você notaria diferenças se o carro estivesse em movimento uniforme ou parado?"	Respira fundo e começa a ler a segunda parte da atividade.
113	A6: Porque quando você jogar...	Faz um movimento para cima com uma mão e a outra para frente.
114	A3: A bolinha ia andar para trás.	
115	A2: Ela faria...	Faz um desenho de um arco no ar.
116	A4: O carro ia para frente e a bolinha iria ficar no lugar.	O aluno simula com uma mão o lançamento de vertical de uma bolinha e com a outra mão faz um movimento para frente na horizontal.
117	A5: É se... (inaudível)... Cai de encontro com a bolinha.	
118	A4: Cai de encontro com a bolinha.	Concorda com o colega.
119	A2: A bolinha faria assim?	Ele mostra uma parábola no ar. Mas indica a bolinha indo para frente junto com o carro.
120	A4: Você joga a bolinha para cima.	Faz gestos explicando.
121	A5: É igual eu falei do avião.	
122	A4: E o carro está em movimento e ela tá em repouso aqui e você joga ela pra cima o carro vai andar.	
123	A2: Entendi.	Concorda com o colega.
124	A3: Não é assim. "Você notaria diferenças se o carro estivesse em movimento uniforme ou parado?" Sim.	
125	A5: (inaudível)	
126	A4: Isso porque eu dei a explicação aqui.	
127	A5: Igual do avião, cai para frente do avião...(Inaudível)	
128	A4: "Se o carro estivesse em movimento, o seu amigo conseguiria pegar a bolinha na mão no mesmo ponto de onde saiu?"	
129	A6: Não.	
130	A3: Não	
131	A1: (som de negação)	Balança a cabeça dizendo que não.
132	A4: Por que não?	
133	A5: Porque a bolinha fica parada e você anda para frente.	Ele apontada parada na horizontal.

134		Todos os alunos tentam fazer gestos que a bolinha fica parada e quem está no carro anda.
135	A2: A bolinha está aqui assim.	Indicando a pessoa andando para frente da bolinha.
136	A4: Não!	
137	A5: Se cair é a mesma coisa se o carro estiver em repouso.	
138	A1: Só cair né...(inaudível)	
139	A4: "Se o carro estivesse em repouso, o seu amigo conseguiria pegar a bolinha na mão no mesmo ponto de onde saiu?"	
140	A6: Sim	
141	A4: Por que?	
142	A5: Se colocasse não, a um iria estar errada.	
143		A2 e A4 fazem um movimento com as duas mãos, uma do lado da outra na horizontal. Como se as coisas tivessem que se conectar.
144	A3: "Você pode concluir que a partir dos experimentos se o carro está parado ou em movimento uniforme? Dica: Neste momento, juntamente com a Terra, estamos nos movimentando em relação ao Sol à aproximadamente 30.000 km/s."	
145	A4: É rápido pra caramba.	
146	A5: É rápida mesmo.	
147	A2: (inaudível)	
148	A3: Quase a velocidade da luz não é?	
149	A4: Não::: A velocidade da luz é 30 milhões né.	
150	A5: É metros por segundo a velocidade da luz.	
151	A3: É 300 mil....	
152	A4: Ah é 300 mil?	
153	A3: 300 mil quilômetros por segundo	
154	A5: É quilômetros pra caramba, achei que era metros.	
155	A3: 300 mil quilômetros por segundo, a velocidade da luz?	Se dirige a A2.
156	A2: A velocidade da luz... é: 300 mil quilômetros por segundo.	
157	A3: Ah... pensei que era 300 mil metros por segundo.	
158	A5: É quilômetros (inaudível)	
159	A4: "O louco". Metros? Eu faço (inaudível)	
160	A2: Acha...	
161	A4: É Rápido.	
162	Alunos falam ao mesmo tempo.	
163	A4: E aí qual a resposta da quatro?	
164	A1: E aí?	

165	A4: "Você pode concluir que a partir dos experimentos se o carro está parado ou em movimento uniforme?"	
166	Alunos: Sim	
167	A4: Dá para diferenciar.	
168	A5: Pelas bolinhas, pelo movimento das bolinhas.	
169	A4: Pelo movimento das bolinhas.	
170	A5: (Inaudível)	
171	A4: Vamos esperar ela.	Se referindo a professora.
172	A5: É a gente já terminou mesmo.	
173	A4: É vamos esperar ela agora né. Esperar ela agora...	
174	A1: Não... vamos discutir.	
175	Alunos: conversam ao mesmo tempo (inaudível)	
176	A2: Né A4 "para mim a velocidade da luz é infinita"	Imitando alguém.
177	A4: "Para mim a velocidade da luz é infinita". Fala aí o contrariador.	
178	A5: Onde?	
179	A4: Um maluco na palestra lá no observatório. Palestra sobre viagem no tempo, o A2 foi.	Alunos foram por conta própria, mas os professores avisaram da palestra.
180	A2: O A1 foi? A não ele não foi.	
181	A4: Aí tinha lá o cara lá ... o cara da Física, chegou e falou "ah... para mim a velocidade da luz é infinita".	
182	A5: Como assim a velocidade da Luz infinita?	
183	A4: Nossa quando ele falou essa fita...	
184	Alunos: inaudível	Conversam todos ao mesmo tempo.
185	A4: Vontade de falar... "Na moral...(inaudível)"	
186	Alunos: inaudível	Conversam todos ao mesmo tempo.
187	A4: Queria discutir tudo. Tudo que fala ele contrariava. "Eu não acredito que eu estou vendo a luz do passado". Por que "pô" se a luz do Sol demora 8 minutos de lá. A gente está vendo uma luz do passado. Ai ele falou "Eu não acredito nisso". Blá blá blá blá.	
189	A5: (inaudível) ... avançado.	Antes chama a professora para falar.
190	P: Avançado ou apressado?	Falando com A5.
191	A4: "Eu fiz astrofísica em (cidade)... (inaudível). A foi da hora meu.	
192	P: Vocês foram (inaudível)?	
193	A4: É na palestra sobre viagem no tempo.	
194	P: Você foi?	
195	A4: É...	
196	A5: Teve um cara que falou que a velocidade da luz era infinita.	
197	A4: É o cara chegou lá e falou: "Para mim a velocidade da luz é infinita"	Alunos do grupo fazem uma expressão sem entender a visão dessa pessoa.

198	P: Quem mais foi com você ²	Se referindo a A4.
199	A4: Foi o A2.	
200	P: Mas foi legal?	
201	A4 e A2: Foi legal.	
202	A4: Foi maluco e foi legal.	
203	P: Foi meio doido?	
204	A4: Ah é ele estava chapado....	
205	Alunos-Grupo e professora: conversam.	Eles falam sobre dadas do eclipse lunar que iria acontecer.
206	A4: só em 2016 agora.	Falando com os amigos do grupo.
207	Professora: Gente vocês já acabaram?	Falando com a sala.
208	Alunos: Não:::....	
209	A4: O eclipse meu...	Falando com os amigos do grupo.
210	P: Gente só vocês acabaram, vocês foram muito rápido. Vocês nem discutiram acho. (Risos)	Fala
211	Alunos do grupo: Discutimos (risos; ao mesmo tempo)	
212	A5: Tá gravado.	
213	A4: A gente discutiu tá gravado.	
214	P: Tá gravado!	
215	Alunos do grupo: conversam.	
216	A4: É que foi muito fácil... (risos)	
217	P2: Discutem mais..	
218	Alunos do grupo: conversam.	
219	P: Não... só queria saber vocês tinham terminado.	
220	Alunos conversam.	
221	A4: As relações de (inaudível) foram criadas para quê? Não precisa fazer conta de Bhaskara gigante.	
222	Alunos do grupo: conversam.	
223		Professora P1 fala com professora auxiliar P2 sobre um tripé e depois a professora passa de mesa em mesa verificando se os outros grupos terminaram.
224	A5: Voltando a palestra foi prazerosa. Tirando o cara. A palestra foi bem legal.	
225	P: Oi eu vou aproveitar que eu já passei em outras mesas. Posso aproveitar e posso perguntar umas coisas. Qual seu tipo sanguíneo? Estou Brincando! (Risos). Não é.... sobre atividade daí eu (inaudível) passar em cada mesa. E aí gente... a gente "tá" em repouso ou em movimento?	
226	A5: Agora?	
227	A4: Em movimento.	
228	A5: Em relação à o quê?	
229	P: HUM:::	Chacoalha a cabeça concordando com os alunos.

230	A4: Em movimento. Não é em relação...	
231	A5: Em relação ao Sol estamos em movimento.	
232	P: E o Sol está em parado?	
233	A5: Não!	
234	A4: A galáxia não está parada.	
235	A5: O Universo não está parado.	
236	A4: Então ninguém tá parado. Não existe repouso absoluto.	
237	P: Ninguém tá parado? Tá todo mundo em movimento?! E.. E enfim lá no experimento mental, lá? É.... então esse é o primeiro. Então. Lá, lá no experimento... experimento a pessoa está em movimento ou repouso?	
238	A5: Em movimento.	
239	A3: Acho que é igual você (inaudível). Você falou ... (inaudível) movimento em relação ao Sol.	
240	P: Não. Não, essa pergunta que eu fiz era nesse momento. Agora em relação ao experimento mental... de acordo com as definições que a gente tem. Movimento muda de posição conforme o tempo e repouso não muda. No experimento mental 1, a pessoa que está no carro está em movimento ou está parada?	
241	A6: Por causa da velocidade...	
242	A5: Mas não é em relação?	
243	P: Imagine que você está em... (inaudível). Você pode concluir que você está em repouso ou em movimento?	
244	A5: Em movimento.	
245	P: Tá! Só estou perguntando... Responda novamente a questão 1, porém agora em relação a pessoa sentada. Em relação a pessoa sentada ao seu lado, você está em repouso ou em movimento?	
246	A5: Em movimento.	
247	A1: Repouso.	
248	A2: Repouso.	
249	P: E em relação ao piso da rodovia?	
250	A5: A gente está em movimento.	
251	P: Vocês chegaram na mesma resposta?	
252	Alunos: Não!	
253	A3: sim...	
254	A5: É eu coloquei aqui...	
255	A3: Mas tem duas perguntas?	
256	P: Tem duas perguntas! "Responda novamente a questão 1..." Então você pode concluir que você está em repouso ou em movimento, porém em relação a pessoa sentada ao seu lado e em relação ao piso da rodovia?	
257	A5: Em repouso em relação à pessoa. Em relação ao piso ... (inaudível) movimento.	
258	A4: A pessoa está sentada ao seu lado.	
259	P: Então em relação ao piso você está em movimento?	
260	Alunos concordam.	

261	P: E em relação à pessoa ao seu lado?	
262	A5: Vocês estão parados.	
263	P: Então você não chega na mesma resposta?	
264	Alunos: Não!	
265	P: Aí eu pergunto de novo você está em repouso ou em movimento?	
266	A4: Estou repouso e movimento...	Eles apagam o que escreveram e escrevem outra coisa na folha.
267	P: Agora em relação ao outro carro você está em repouso ou está 80 km/h?	
268	A3: Você está a 10 km/h...	
269	A5: Para nós ele está em repouso e nós a 10 km/h. Entendeu?	
270	P: (inaudível) o outro carro está em repouso?	
271	A5: É tipo se a gente estiver na estrada... na pista, pra gente o carro está parado e a gente passa a 10 km/h.	
272	A3: (inaudível)	
273	A4: Para ultrapassar o carro.	
274	A5: Como se fosse...	
275	P: Bom não vou finalizar ainda, estou perguntando para...(inaudível). Então o 2." Imagine que você está dentro de um carro, mas não sabe que agora ele está em movimento... então você não sabe. Como se a gente tivesse num vagão... Você não pode olhar pela janela, ou seja, para ver se as coisas estão em movimento. Mas você pode enxergar seu amigo. Então tá lá você e o amigo e ai ele joga uma bolinha para cima. "Pela trajetória observada você pode concluir que o carro está em movimento ou em repouso?"	
276		Todos alunos olham atentamente da professora concordando que há diferenças na trajetória.
277	P: Ou seja, se o carro estiver em movimento seu amigo consegue pegar a bolinha?	
278	Alunos do grupo: Não.	
279	A4: Não no mesmo lugar.	
280	P: Não no mesmo lugar...	Repetindo do aluno.
281	A5: Eu pensei que a bolinha ia ficar parada e o carro ia andar... ai a bolinha.	Com a mão indica a bolinha caindo apenas na vertical.
282	A6: Né.	
283	P: E se seu amigo estivesse em repouso ele iria conseguir pegar a bolinha?	
284	A5: Sim...	Outros concordam.
285	P: Agora quatro, você pode concluir a partir dos experimentos que o carro está parado ou em movimento?	
286	A4: Sim	

287	A5: (Inaudível)	
288	P: Pouco?	Repete o que o aluno diz, olhando para ele.
289	A4: Basta ficar olhando a bolinha.	
290	P: Ai olha essa dica...	
291	A5: Inaudível.	
292	P1: É! Olha parece que (inaudível).. Olha a dica... neste momento, juntamente com a Terra, estamos nos movimentando em relação ao Sol a aproximadamente 30.000 km/s. Pensa nisso...	
293	A4: 30 mil?	
294	P: 30 mil km/s.	
295	A3: Sim. Só que esse movimento será diferenciado pela trajetória.	
296	P: Não...sim. Então pensa nisso, agora nesse momento...Nesse momento a gente tá a 30 km. 30 mil km/s em relação ao Sol, a Terra.	
297	A3: Responde as duas perguntas então.	
298	P: Se você jogar a bolinha para cima ela vai cair na sua mão?	
299	Alunos do grupo: Sim, vai.	
300	P: E você está em repouso ou em movimento?	
301	A5: Movimento	
302	A3: Rep. Movimento.	
303	A5: Mas em relação ao Sol nós estamos em movimento.	
304	P: Então mas a bolinha chega na sua mão?	
305	Alunos do grupo: Chega.	
306	A5: Porque a Terra é muito grande, se ela fosse pequena a bolinha não iria chegar.	
307	A4:NOOOOOOOOOOOSAA...	Todos os alunos ficam surpresos.
308	Aluno não identificado: Meu Deus.	
309	P: Eu vou passar lá na...e já vou acabar aqui.	
310	A4: (Inaudível)...Por que a bolinha chega na nossa mão, por causa da atmosfera?	
311	A5: Mano, mano...	Cutucando o colega A4.
312	A2: Eu não sei...	
313	A5: Essa velocidade é muito grande, mas como o Universo é (inaudível)...	
314	A3: Inaudível.	
315	A4: A luz do sol demora 8 minutos para chegar aqui na Terra, é muito grande. Se fosse pequena a gente ia jogar a bolinha e a gente já estava...e a bolinha já era.	Todos os outros alunos prestam atenção quando ele fala. E simula jogando uma bolinha jogando para cima.
316	A2: Ah é...	Faz um gesto jogando uma bolinha e ela caindo para trás.
317	A4: É a bolinha estaria 30 mil quilômetros para trás...	
318	A5: É....	Concorda com o amigo.

319	A3: Você olhou um segundo...	E olha para trás como se algo tivesse ido para trás do aluno.
320	Alunos do grupo: conversam.	
321	A4: E tem a gravidade também né.	
322	A2: É tem essa ainda né...	
323	A4: Tem olhar para isso também né a gravidade...(inaudível)	
324	A5: (inaudível)... se não tivesse a gravidade.	
325	A4: É se não tivesse a gravidade.	
326	A5: Você jogaria a bolinha para frente, ela ia sair...	Indicando que ao lançar uma bolinha horizontalmente no ar ela matéria a trajetória horizontal na falta de gravidade.
327	A2: Ela vai provavelmente torrar.	Eles falam muito baixo.
328	A4: É ela ia torrar...Se fosse feita de adamantium né.	
329	A5: É se fosse de adamantium.	
330	A4: Se fosse de adamantium também cai, não sei.	
331	A5: Se uma bolinha de adamantium tiver caindo e você chutar, seu pé fura? Será que você consegue chutar?	
332	A3: Acho que você não ia conseguir chutar...	
333	A4: Não, depende... você consegue não é o Martelo do Thor... só é duro.	
334	A3: Mas ia machucar seu pé...	
335	A5: Ia machucar mas não é o martelo do Thor que você não consegue chutar... Você consegue Wolverine, você consegue chutar o Wolverine.	Faz um movimento tentando empurrar algo que não sai do lugar.
336	A2: (inaudível)	
337	A3: (inaudível)	
338	A5: O Hulk chutou o Wolverine.	
339	A2: (inaudível)	
340	A5: Mas ele não consegue erguer o Martelo do Thor.	
341	Alunos do grupo conversam.	Eles continuam conversando sobre filme de heróis. Depois falam elétrica. Nesse momento a professora passa em mesa em mesa para finalizar a atividade.
342	P: Gente vamos fechar a atividade fazendo o favor. (Assovio)...	Chama atenção da turma.
344	Alunos: conversam.	
345	P: Pessoal...Eles concluem e eu dou uma apertada neles...	Falando com a Professora de filosofia da escola.
346	Alunos: Conversam.	
347	P: Pessoal vamos prestar atenção em mim, só para a gente fechar. Eu passei em todas as mesas e as pessoas	Fazendo cara de quem não fala nada.

	ficaram assim ó..... “Quê?”. Em repouso? “Não” ... mas se... “Não, ai meu Deus. Então pode ser.”	
348	A4: Na última pergunta.	
349	P: Então é o seguinte, o que eu falei para todo mundo... Agora, neste momento, a gente está em repouso ou em movimento?	
350	Alunos: Movimento. Repouso...	Falam todos ao mesmo tempo.
351	A4: Em relação a que?	
352	A5: Em relação ao Sol, sim. Em relação à Terra, não.	
353	A4: Agora em relação a você eu estou parado.	
354	P: Em relação ao Sol, e se a gente tivesse no Sol a gente olharia a pessoa mudando de posição conforme o tempo?	
355	Alunos: Sim.	
356	P: Porquê?	
357	A3: Porque tem o movimento de rotação e translação.	
358	P: “Porque a Terra está em movimento... Lá na situação do carro, certo, você está em repouso ou em movimento segundo as definições?	Repete do aluno.
359	Alunos: Repouso.	
360	A7: Repouso em comparação com seu amigo e movimento de acordo com o carro.	
361	P: Então, eu posso concluir que eu estou em repouso ou em movimento?	
362	A7: Os dois.	
363	Alunos: Os dois.	
364	P: Os dois? Eu posso dizer assim: “Ai, a pessoa está em movimento absoluto?”	
365	Alunos: Não.	
366	Aluno não identificado: Movimento absoluto?	
367	P: É, absoluto. Por exemplo, em qualquer lugar que você olhar ela sempre vai estar em movimento?	
368	A5: Depende da relação que você estiver.	
369	P: Depende da relação. Então a gente chega a uma coisa. E em relação ao outro que carro que está a 70 km por hora, você está em repouso ou à 80?	
370	Alunos falam ao mesmo tempo.	
371	A5: Você está a 10. Em relação à ele você está a 10 km por hora no carro. É como se ele tivesse em repouso e você passava por ele a 10 km por hora.	
372	A15: Primeiramente é constante...(inaudível)	
373	P: Vocês entenderam isso que ele falou? Dez? Da onde ele saiu 10?	
374	Alunos: Falam todos ao mesmo tempo.	
375	P: Então ó, vamos pensar em metros por segundo então que fica mais fácil. Você tem uma pessoa que está a 10 m/s e você está atrás a 5 m/s. Essa pessoa anda com que velocidade em relação à você?	
376	Alunos: 5 m/s.	

377	P: Então ó, passou 1 segundo e a pessoa andou 10, passou 1 segundo e você já andou 5, então a pessoa andou quanto em relação a você?	
	Aluno não identificado: Cinco!	
378	P: Sim. 5 m/s. (Repete de um aluno). Aí eu pergunto pra vocês, tem como eu falar pra você “A pessoa, ela está a 80 km/h porque no velocímetro está marcando 80km/h”?	Repete de um aluno.
379	Alunos: Não.	
380	P: Não. Então a gente chega em quê? Vocês falaram: “em relação à”. O que chama isso? “Em relação”?	
381	Aluno não identificado: Comparando algo.	
382	Alunos falam ao mesmo tempo.	
383	A5: (Inaudível) A gente está (inaudível)... mas universo está em constante movimento, o que estamos dentro dele. E aí a gente... (inaudível).	
384	P: Então é o seguinte:	
385	P3: E aí vai...	
386	P: E aí vai... Então assim a gente não pode afirmar que o corpo está em movimento ou em repouso nesse experimento, porque depende do referencial. Certo? Vocês sempre se imaginam no referencial, olhando né. Então se eu estivesse lá na rodovia, por exemplo, um ônibus... se você está num ônibus. E sei lá, tem uma lâmpada no ônibus, você ia olhar e ia falar “Está em repouso!” Mas uma pessoa que estiver fora, lá no ponto de ônibus, vai olhar a lâmpada mudando de posição conforme o tempo, então ela está em rep. em movimento. Então depende do referencial! Então a gente sempre precisa desse sistema de referência. Referência é um ponto, ou um corpo, que você escolhe. Por exemplo, você vai comentar sobre a escola Luís, é perto de... dá um ponto de referência pra ela! E você fala “é perto do kartódromo”, enfim... Agora, uma coisa é fato, para definir movimento ou velocidade, depende do referencial. Certo? Tudo bem? Agora a segunda parte que o experimento que causou: Você está num carro e não dá para olhar pra janela, você só consegue olhar seu amigo e seu amigo joga uma bolinha pra cima. A partir de você olhando essa trajetória, você notaria diferença se o carro estivesse em repouso?	
387	Alunos: Sim.	
388	P: E em movimento?	
389	Alunos: Sim.	
390	P: Então se o carro estivesse em movimento, seu amigo conseguiria pegar a bolinha?	
391	Alunos: Não.	
392	A6: Não no mesmo lugar.	
393	A5: Não no mesmo lugar.	
394	A11: Sim!	
395	P: Sim? Quem falou sim? Porquê?	

396	A9: Ele...	Indicando para o amigo.
397	A11: Sim porque ele está dentro do carro.	
398	Aluno não identificado: Depende da velocidade né.	
399	A11: Então, se ele está dentro do carro ele está parado.	
400	A5: Você está falando mesmo lugar e se estivesse em movimento?	
401	P: Então se eu falar que o carro está em repouso, ele pega a bolinha?	
402	Alunos: Sim.	
403	P: A gente vai chegar lá. Então a partir dos experimentos você consegue concluir se o carro está parado ou em movimento?	
404	A7: Sim...	
405	A11: Não!	
406	Alunos: conversam.	Reclamando do amigo que contrariou a turma.
407	P: Só ele tá falando assim...	
408	Alunos: conversam.	Alunos negam aceitar a posição do amigo.
409	P: Agora eu quero saber porque você acha que a bolinha vai chegar na mão em movimento? Ó pessoal, vamos prestar atenção aqui fazendo o favor!	
410	A11: Se o carro está parado e você está dentro dele, você está em repouso também. Se você joga a bolinha pra cima, você não vai ter a ação do movimento também (gesto com a mão indicando o movimento do carro). Então ela vai subir e vai descer na sua mão.	
411	A5: Hã? Não, mas se o carro tiver em movimento. Imagina eu taco uma bolinha e essa aqui é a parede do carro. Eu taco. O cara está em movimento, e a bolinha não.	(Gesto com a mão indicando a parede do carro, em movimento, se aproximando da bolinha).
412	P: Agora eu pergunto: A bolinha está em movimento ou ela está em repouso quando ela está na mão da pessoa no carro (inaudível)?	
413	A7: Ela está em movimento...	
414	Alunos falam ao mesmo tempo.	
415	A5: (inaudível)...Em relação à rua ela está em movimento...	
416	P: Mas eu não falei se o carro está em movimento ou em repouso.	
417	A5: Ah, mas aí eu não sei né! Se eu sentir o carro balançando ele está em movimento (risos).	
418	P: Não vai sentir balançando.	
419	P3: Não é São Carlos.	
420	Alunos falam ao mesmo tempo.	
421	P: Então ó, é o seguinte: Vamos supor que o carro está em movimento. Então ele está em movimento, à 80 km/h em relação ao piso, então eu estou dando um referencial. A bolinha na mão da pessoa está em movimento?	

422	A7: No carro com a pessoa...	Meche a cabeça concordando.
423	A3: Em relação ao piso, sim. Em relação à pessoa, não.	
424	P: Então a hora que ela joga pra cima, a bolinha tá...	
425	A11: Tá em repouso!	
426	P: O que vai acontecer, o carro vai pra frente e a bolinha não vai pra frente?	
427	Alunos falam ao mesmo tempo.	
428	A17: Ela vai para trás....	
429	A5: Por inércia ela vai...	
430	P: Mas vocês não falaram que a bolinha também tem o movimento do carro?	
431	A16: Só que ela ... (Inaudível)	
432	A7: Só que ela perde velocidade...	
433	A5: Ela perde energia cinética, mas ela vai por inércia. Alguma coisa assim.	
434	A11: Mas não tem resistência do ar...	
435	P: Vamos é.... Ó, essa discussão começou lá com o Galileu. Quem é o grupo do Galileu? Então é assim, Aristóteles tinha a seguinte ideia. Eu vou só... Tem um trecho que eu quero ler de uma obra, o Galileu tem uma obra que chama "Diálogos", e olha isso Aristóteles é lá da Grécia antiga, depois de dois mil anos a gente vai pro Galileu e ele discutia as coisas. Tem uma obra do Galileu que ele faz uma discussão e se vocês forem lá na página 21 tem uma imagem (alunos procuram a imagem). O que que o Galileu queria provar? Ó, pensa o seguinte: A Terra está em movimento ou está parada?	Alunos do grupo Galileu levantam a mão.
436	Alunos: Em movimento!	
437	A11: Em relação ao Sol!	
438	Aluno não identificado: Em relação ao Sol!	
439	A18: É em movimento em relação ao Sol.	
440	P: Se você joga uma bolinha pra cima agora, ela cai na sua mão?	
441	Alunos: Cai.	Aluno joga uma garrafa na vertical e pega novamente.
442	Alunos falam ao mesmo tempo.	
443	P: Mas vocês me falaram que a Terra está em movimento...	
444	A11: Mas é igual o carro, você está dentro do carro em movimento...	
445	P: Ó, vocês me falaram o que? Se você está em um carro em movimento e joga a bolinha pra cima, o que ela cai para trás?	
446	A4: Mas espera aí, o carro é conversível ou não?	
447	P:Hãh?	
448	A4:O carro é conversível ou não? Vai depender. E se ele tiver aqueles tetos abertos? (Risos)	
449	P: Boa observação! Boa! Deveria ter colocado aqui... o carro é totalmente fechado! Agora sim! (Risos) Então é o	

	seguinte gente... Você está em movimento em relação ao Sol?	
450	A4: Vai depender que altura você joga a bolinha	
451	P: O carro é totalmente fechado!	
452	A4: Ah o carro está totalmente fechado...(inaudível)	
453	P: Agora sim! (Risos) Então é a seguinte gente, você está em movimento em relação ao Sol?	
454	Alunos: Sim!	
455	P: Então você diz "Eu estou em movimento". Você joga a bolinha pra cima e ela cai pra trás?	
456	A18: Não... ela vai... (inaudível)	
457	A7: Não! A Terra é muito grande... por isso que está em movimento.	
458	A5: Acho porque a Terra é muito grande.	
459	Alunos falam ao mesmo tempo.	
460	P: Ó ... A discussão na época era o seguinte: Aristóteles né ... o que eles achavam? Que a Terra estava o que? Olha, exatamente esse experimento que a gente fez era o argumento do Aristóteles. Essa imagem aqui 15b é o seguinte: Ele afirmou que a Terra está em repouso. Porque? Porque se eu tiver em cima de uma Torre e joga uma bolinha...	
461	A5: Ela vai cair em linha reta.	
461	P: Mas ela vai cair no mesmo ponto que eu joguei, que é o caso aqui da torre que aqui na imagem.	Professora simula a queda de um corpo.
462	A17: Por causa da gravidade...	
463	A4: Foi que nem eu falei...	
464	P: Ai ele disse o seguinte: Se a terra estivesse em movimento, de translação em volta do Sol, se eu fosse jogar a bolinha, a Terra já mudou. Ela ia fazer assim, esse movimento (movimentação com a mão da imagem na apostila)	
465	A5: Mas é a gravidade...	
467	P: Não, tá! Mas ela está indo pro lado.	Indica na imagem.
468	A7: Mas também...(inaudível) no chão.	
469	A5: Se fosse tudo do menor e tivesse a mesma velocidade, quando eu tacasse a bolinha, tipo a gente estaria a 30.000 km/s e a bolinha já era, mas é tudo muito grande... não tem isso.	
470	P: Então...	
471	A7: Por exemplo, se eu jogasse uma bolinha e ela demorasse uma hora para cair, aí sim ela cairia num lugar diferente!	
473	A5: É.	
474	A17: É isso seria perceptível, no caso.	
475	P1: Se eu colocasse por exemplo alguma coisa pendurada no teto de um ônibus, certo? Vocês vão observar isso no dia a dia, vão lembrar... quando vocês estão no carro não tem alguma coisa pendurada, tipo no espelho ...	

476	P3: Tipo um “perfuminho”! (risos)	
477	P1: É aquele que fica pendurado... Se você estiver em repouso, aquilo fica balançando?	
478	Alunos: Não.	
479	P: Se você estiver em movimento uniforme. Aquilo fica balançando?	
480	Alunos: Não!	
481	P: E agora, se estiver acelerado?	
482	Alunos: Sim.	
483	A5: Aí sim!	
484	A11: Se acelerar aí tem movimento...	
485	Alunos falam ao mesmo tempo.	
486	A5: Quando você acelera ele faz assim pra trás (movimento com a mão), e daí depois ele volta e fica parado.	
487	P: Então gente... Eu too falando gente, de movimento uniforme. Se tivesse o movimento uniforme ... Por exemplo, se você estivesse no carro parado o negociinho estaria assim (indicando parado com a mão), e se eu estivesse em movimento uniforme, ele estaria assim também.	
488	A3: A::: por isso! Porque a Terra ela é o movimento uniforme?	
489	P: Em relação à translação?	
490	A3: É!	
491	P: É, a gente não vai discutir em relação se está em movimento uniforme ou não. Só se está em movimento... para já. Eu sei que tem mais coisa aí, mas assim... Então assim.. O que a gente consegue perceber? Façam isso no dia-a-dia de vocês. Por exemplo: Quando um avião vai jogar uma cesta, certo? Sabe aquelas cestas de alimentos? É que eu não vou falar uma bomba né? Bomba é guerra (risos). Ó, então por exemplo essa cesta. O avião ele está em movimento, e vocês estão olhando do lado de fora, então fariam que a cesta está em movimento. Na hora que o avião solta a cesta, ela cai em linha reta, pra trás ou cai para frente?	
492	Alunos: Reto...	
493	A11: Cai para frente com o movimento do avião.	
494	A5: É primeiro ela cairia pra frente, mas depois ia estabilizar...	
495	P: Então ela cai pra frente, vai cair assim ó (movimento com a mão).	
496	A11: É!	
497	P: Ou seja, para a pessoa que está olhando...	
498	A11: Vai cair em linha reta.	
499	P: Na hora que cair no chão a pessoa vai ver, então ela vê cair em linha reta. É como se não tivesse o movimento horizontal...	
500	Aluno não identificado: Depende...tem o impacto.	

501	P: Mas tem. A pessoa que está dentro do avião ela vê caindo em linha reta, porque ela não vê o movimento horizontal. Agora você que está fora você vê uma composição de movimento. Então é o seguinte: Essa afirmação do Aristóteles perdurou durante dois mil anos, eles achavam que a Terra estava em repouso, mas a gente não viu que a Terra depende do referencial? Então, pra quem foi na visita no observatório viu isso, falar que a Terra estava em repouso e todo o resto estava em movimento era muito complicado. Então esse era o sistema geocêntrico que perdurou muito tempo, só que eles começaram a perceber coisas estranhas né, como por exemplo alguns movimentos em relação às alguns planetas... como ela falou que parecia que os planetas faziam uns laços, se movimentavam como se fosse pra frente e depois ia pra trás. Quando estava observando. Certo? Então como surgiu o sistema heliocêntrico? Se o sistema é heliocêntrico a Terra está em movimento, e se a Terra está em movimento, porque não aconteceu isso aqui na torre? Ou seja, porque que não cai assim (movimento de andar para o lado)?	Faz uns laços no ar com as mãos.
502	A4: Mas ela caiu...	
503	P: Ela cai pra trás se você joga de uma Torre?	Faz o movimento de uma queda-livre.
504	A4: Não, mas ela inclinou	
505	P: Há?	
506	A4: Calma, tá falando de qual torre?	
507	P: Não, não estou falando que a torre é inclinada...	
508	P3: Não é a inclinação da Torre...	
509	P: Eu too falando ó. se você subir numa torre e jogar um objeto, ele vai cair em linha reta ou ele vai cair pra trás?	
510	Alunos: Reto.	
511	A4: Vai cair em linha reta.	
512	P: Vai cair em linha reta. Mas você sabe que a Terra está em movimento...	
513	A4: Mas tem a ver com gravidade?	
514	P: Então ela cai por causa da gravidade, só que eu falo cair pra trás...	
515	A4: Desprezando o vento?	
516	P: Desprezando o atrito.	
517	A4: Agora sim! (Risos).	
518	P: Olha no livro do Galileu o que ele disse, em 1631, está bem novinho viu: Tranque-se com um amigo na cabine principal do convés inferior...	
519	Alunos: I::: (risos)	
520	P: Vamos lá gente, vamos acelerar só pra gente poder terminar aqui! (Risos)	
521	Alunos: conversam.	
522	A5: Esse Galileu hein!	

523	<p>P: Vamos acelerar pra gente poder fazer o experimento hoje ainda! É uma brisa, olha... “Leve consigo algumas moscas, borboletas, e outros pequenos animais voadores. Leve uma tigela grande com água e peixes, pendure uma garrafa que se esvazia gota a gota numa bacia, e com o navio parado observe cuidadosamente como os pequenos animais voam com a mesma velocidade para todos os lados da cabine, os peixes nadam indiferentemente para todas as direções, a gota cai na bacia embaixo dela, e ao jogar algo ao seu amigo, não precisa jogar mais forte em uma direção ou na outra. A distância é igual. Pulando de pés juntos, você dá passos iguais em qualquer direção. Quando tiver observado todas essas coisas cuidadosamente, faça com que o navio se mova com a velocidade que desejar, desde que o movimento seja uniforme e não se altere de um modo ou de outro. Você descobrirá que não ocorre a menor mudança nos efeitos citados e que não se pode dizer com base em alguns deles que o navio está parado ou em movimento”.</p>	
524	Aluno não identificado: A:::	
525	<p>P: Ou seja... A::! Alguém entendeu? Então por exemplo... a Terra está em movimento de translação. Se eu der um pulo (pulo), eu caio no mesmo lugar</p>	Professora dá um pulo indicando que cai no mesmo lugar.
526	A18: Por que ela está em movimento constante...	
527	Aluno não identificado: Porque é um movimento constante.	
528	Alunos falam ao mesmo tempo.	
529	<p>P: Porque? Porque é assim, em relação à Terra, você está na Terra. Se eu fosse na Lua e te observasse, você estaria em...</p>	
530	Alunos: Em movimento!	
531	<p>P: Você estaria em movimento. Então o que está acontecendo? Você está compartilhando, ou você está em movimento mas depende do referencial. Então no carro, gente, façam isso, tentem entrar num lugar que você não fique acelerando e breando, e jogue alguma coisa pra cima, vê se cai pra trás ou pra frente.</p>	
532	A3: Ele não cai para trás.	
533	P: Cai na sua mão...	
534	A7: Se você tiver...	
535	A11: Então espera aí...	
536	A5: Eu já fiz isso, no avião.	
537	<p>P: No avião.... Por exemplo imagina se você estivesse num navio, um cruzeiro, e o cruzeiro está em movimento... Tudo o que fosse acontecer, as coisas iam ficar em movimento?</p>	
538	A11: (inaudível)	
539	<p>A5: Eu taquei uma moeda no avião e caiu para trás... Não sei será que é porque o avião é muito rápido?</p>	

540	P: Avião? Ó, por exemplo gente, pode acontecer a possibilidade de cair pra trás?	
541	A11: Pode! Se tiver acelerando!	Se mostra feliz por ter entendido.
542	P: Isso, se tiver acelerando. Porque se estiver em aceleração, aquilo estava com o movimento daquele momento, então vai pra trás. Então gente, seguinte. Isso se chama é o princípio da Relatividade de Galileu. Então a gente está começando a entrar na Relatividade, e esse é o princípio. Ou seja, imagina depois, vai piorar (risos). Então ó, o que que significa isso? Que é impossível detectar o movimento de translação absoluto de um sistema através de experiências internas a ele. Você não consegue. Você consegue perceber que a Terra está em movimento? “Nossa, tá girando! Estou sentindo o movimento de translação da Terra! (Risos). Não dá, né?	
543	Alunos: (risos)	
545	P: Então se você fizer um experimento aqui, por mais que esteja parado ou em movimento, vai ser igual. Tá? Então a gente pode concluir que é impossível distinguir o Movimento Uniforme do Repouso. Certo? Agora começa o seguinte... espero que dê tempo para fazer. Ó, presta atenção: Ah...quando a gente se depara com o princípio da Relatividade, a gente consegue entender o porquê que a gente não sente o movimento da Terra e tudo funciona como se estivesse em repouso, porque? Por que está tudo com o mesmo movimento da Terra. Deu para entender isso? Então a gente compartilha do mesmo movimento. No entanto, a gente consegue medir o movimento de translação...	
546	Alunos: Conversam.	
547	P: Pessoal por favor...Obrigada...(pausa). Como por exemplo a gente pode calcular esse movimento em relação à alguma coisa, em relação a água, ou o ar ou as estrelas, e será que esse princípio da equivalência vale pra toda a natureza? Como a luz ou o som? Ou seja, em relação a que? Então a gente vai começar essa atividade hoje, mas ela vai terminar na próxima aula. Que é o seguinte...	

APÊNDICE B – Sequência Didática – Atividades do curso “A gravidade de Einstein”

**A GRAVIDADE
DE EINSTEIN**

E.E Conde do Pinhal • De 21 de Agosto a 06 de Novembro

Disciplina Eletiva: **Sextas-Feiras** • Horário: **12:55-14:35hs**

APOIO:

Bloco 1 - O que é Gravidade?

Atividade 1 – Sessão e discussão do filme Interestelar

Guia

- Observe a discussão do personagem Cooper e sua filha sobre como se faz ciência.
- Observe várias vezes no filme a queda de objetos na estante de livros.
- Fique atento aos planos A e B para salvar a humanidade.
- Relacione como passa o tempo, ele passa igualmente para todos os personagens?
- Verifique as teorias citadas para explicações de fenômenos relacionados com o tempo.
- Os astronautas conseguem andar normalmente durante a missão, como se estivessem na superfície da Terra?

Questões

1. O que faz os objetos caírem da estante de livros?
2. Quais são os planos para salvarem a humanidade?
3. O tempo passa diferente para as pessoas na Terra e para os astronautas na missão? Vemos isso no nosso dia-a-dia?
4. Um pai pode ter a mesma idade de sua filha, qual a Teoria científica que explica isso? Isso pode ser uma realidade?
5. Qual o motivo dos astronautas flutuarem na nave? Depois que a nave entra em rotação eles ainda continuam flutuando?
6. O que você acha que seria um Buraco Negro e o caminho de minhoca?
7. Você acha que viagens interestelares são possíveis?

Sinopse

Pragas nas colheitas fizeram a civilização humana regredir para uma sociedade agrária em um futuro desconhecido. Cooper, um ex-piloto da NASA, tem uma fazenda com sua família. Murphy, a filha de dez anos de Cooper, acredita que seu quarto está assombrado por um fantasma que tenta comunicar com ela. Pai e filha descobrem mensagens codificadas, deixando coordenadas em binário que os levam até uma instalação secreta da NASA liderada pelo professor John Brandt. O cientista revela que um buraco de minhoca foi aberto perto de Saturno e que ele leva à novos planetas que podem oferecer uma chance de sobrevivência para a espécie humana. As "missões Lázaro" enviadas anos antes identificaram três planetas (Miller, Mann e Edmunds) potencialmente habitáveis orbitando o Gargantua (um buraco negro gigante e com alta rotação). Se um dos planetas se mostrar habitável, a humanidade irá seguir para ele na instalação da NASA, que é na realidade uma enorme estação espacial. A partida de Cooper devasta Murphy. No buraco de minhoca se dirigem a Miller, porém descobrem que o planeta possui uma enorme dilatação temporal por estar tão perto deste buraco negro: cada hora na superfície equivale a sete anos na Terra. Uma onda marinha gigante atinge a tripulação enquanto Amelia tenta

recuperar os dados de Miller. Ao voltarem para a Endurance, Cooper e Amelia descobrem que 23 anos se passaram. Na Terra, Murphy, agora adulta, trabalha como cientista da NASA ajudando Brandt na equação que permitirá o lançamento de uma enorme estação espacial usando a gravidade. Brandt admite em seu leito de morte que já resolveu o problema e determinou que é impossível; ele escondeu a verdade para manter a esperança ainda viva e colocar sua fé no "Plano B": usar óvulos fertilizados. A Endurance está com pouco combustível e é capaz de visitar apenas mais um planeta antes de voltar para a Terra. Eles selecionam Mann depois de uma votação tensa por ser o único ainda transmitindo. Entretanto, eles descobrem que o planeta é gelado e inóspito; Mann sempre soube que o Plano B era o verdadeiro objetivo da missão e falsificou os dados sobre a viabilidade de seu mundo para que a Endurance o resgatasse. Ele quebra o visor do capacete de Cooper e o deixa para morrer, indo para a Endurance numa nave auxiliar. Romilly é morto por uma bomba armada secretamente por Mann a fim de proteger seu segredo. Amelia resgata Cooper em outra nave auxiliar. Mann atraca de forma incorreta na nave espacial e é morto numa explosão que também danifica a Endurance, porém Cooper usa sua nave auxiliar para controlá-la. Quase sem combustível, Cooper e Amelia planejam catapultar a Endurance ao redor do gargantua numa rota para Edmunds. TARS e Cooper se jogam no buraco negro se sacrificando para coletar os dados da singularidade e ajudar Amelia, reduzindo a massa da nave espacial dela. Eles emergem em um "tesseracto" extradimensional, onde o tempo é mostrado como uma dimensão espacial enquanto portais mostram pequenos momentos do quarto de infância de Murphy. Cooper teoriza que os alienígenas que criaram o buraco de minhoca são na verdade humanos avançados que dominaram outras dimensões e construíram esse espaço para que ele pudesse se comunicar com a filha e salvar a humanidade. Cooper percebe que, o "fantasma" de Murph, na realidade era ele mesmo, num período temporal mais avançado. De novo usando radiação gravitacional, passa os dados que TARS coletou da singularidade para o relógio de pulso de Murphy, que, adulta, também entende que o "fantasma" era o pai, comunicando com ela através da dimensão temporal, permitindo que ela corrija a equação de Brandt e lance a estação espacial da NASA, permitindo assim, evacuar a Terra. Cooper acorda décadas depois numa estação espacial da NASA: um cilindro de O'Neill que orbita Saturno e serve de base para a humanidade viajar pelo buraco de minhoca. Cooper (que envelheceu apenas alguns anos, devido á distorção temporal, reencontra Murphy, já uma mulher idosa, que havia liderado a espécie humana em seu exôdo. Ela convence o pai a viajar para reencontrar Amelia, que começou a preparação de Edmunds, descobrindo ser habitável para a humanidade. Cooper se reúne com TARS, que também foi salvo, e os dois roubam uma nave da NASA e partem para Edmunds.

Atividade 2 – Gravidade newtoniana

Prólogo

A Figura 1 ao lado nos parece muito familiar, isso porque vemos objetos caindo para o chão no nosso dia-a-dia. Mas por que isso acontece? Quando perguntamos o motivo dessa queda para alguém recebemos como resposta: por causa da gravidade! Mas será que só isso explica a queda? O que seria afinal a gravidade?

Essa imagem não foi por acaso, muitos livros dizem que devido a queda de uma maçã levou um dos cientista mais conhecidos, famoso Sir Isaac Newton, a “descobrir” a gravidade. A macieira realmente existe, mas não se sabe se deve ao fato de ter ou não caído uma maçã que ele formulou sua teoria. A gravidade não foi descoberta, já se discutia muito tempo antes na Antiguidade o motivo de objetos caírem ao invés de subirem. Já se falava de “gravidade” mil anos antes de Newton. As palavras correspondentes a “gravidade” se originaram do termo indo-europeu *gwer que significa “pesado”.

Figura 1. Por que a maçã cai?

Nós vizualizamos fenômenos feitos pela gravidade sem ao menos realmente conhecer o que ela significa. A gravidade mantém moedas em nossos bolsos, puxa as folhas em direção ao solo e enche de café o nosso copo. Sem ela a vida seria impossível. Na verdade Newton estendeu essa ideia da gravidade para além da Terra (Figura 2); incluiu todo o sistema solar. Ela é universal! Como explicar o movimento dos corpos celestes?

Newton reconheceu que os corpos são atraídos para o Sol e para diversos planetas por uma **força** invisível chamada de gravidade, que é a mesma **força** que puxa uma maçã do alto de uma árvore. A gravidade solar também puxa cometas ao seu redor em órbitas elípticas e mantém asteroides orbitando entre Marte e Júpiter.

Se a Terra também atrai a Lua, portanto ela deveria cair, por que não cai em direção ao centro da Terra? Sabemos na verdade que a Lua orbita em torno da Terra, então o que “prende” a Lua na sua órbita?

Para analisarmos esta questão vamos pensar em alguma coisa que atrai os objetos no nosso dia-a-dia. Por exemplo, um ímã. O que acontece se colocarmos uma bolinha de aço próxima ao ímã? A bolinha sente a atração dada pelo ímã, conhecida por força magnética. Se rolarmos a bolinha próxima do ímã: ela apenas é atraída e gruda no ímã; conseguimos fazer a bolinha desviar ou dar a volta em torno dele?

Figura 2. Porque a lua não cai para Terra como os objetos que sentem o mesmo tipo de força?

Introdução

Na Teoria da Gravitação, Newton formulou a hipótese da existência de uma força de atração universal entre os corpos em qualquer parte do Universo. Grandes massas, comparáveis à do Sol, atraem fortemente massas menores, como planetas e cometas, fazendo com que essas massas menores se movam em direção às massas maiores. No nosso sistema solar, os planetas orbitam o Sol devido à sua força gravitacional. Cometas viajando através da galáxia também são desviados em direção ao Sol devido à atração gravitacional. Nesta demonstração, nós usaremos a força magnética como analogia a força gravitacional, de que forma alcança e empurra cometas em direção ao Sol e como os planetas permanecem em órbita.

Materiais

- Um ímã circular (quanto mais forte, melhor).
- Esferas de aço.
- Mesa com tampo de MDF lisa.

Montagem experimental

Ímã abaixo da placa de madeira unido junto de uma esfera de mesmo diâmetro. Lance bolinhas de aço menores. Veja a Figura 3.

Figura 3. Montagem experimental: ímã, placa MDF e bolinhas de aço.

Etapa 1

Lance uma esfera pequena de aço (rolando sobre a placa de madeira) sem a presença de um ímã. Observe a sua trajetória. Veja a Figura 3.

Etapa 2

Lance uma bolinha de aço (rolando sobre a placa de madeira) em direção ao conjunto esfera maior + ímã. Observe o que acontece com a trajetória da esfera menor quando esta chega perto o suficiente do conjunto. Você pode fazer a esfera menor desviar 45 graus? 90 graus? 180 graus? 360 graus? Tente rolar a esfera menor a certa distância do conjunto esfera maior + ímã e com uma determinada velocidade de forma que ela complete uma volta ao redor do conjunto. Isto pode levar algum tempo e dar um pouco de trabalho.

Observações

1. O que acontece com a esfera menor rolando quando ela:

- Rola próxima do conjunto esfera maior + ímã?
- Rola longe do conjunto esfera maior + ímã?
- Rola rapidamente?
- Rola vagarosamente?

2. Como você deve rolar a esfera menor para fazê-la dar a volta no conjunto esfera maior + ímã? Velocidade alta ou baixa? Lançar a esfera menor longe ou perto do ímã? E a direção inicial da trajetória?

Questões

1. Qual a diferença na trajetória da esfera menor quando ela é lançada na presença do conjunto esfera maior + ímã e sem a presença deles?
2. O que a esfera de aço menor e o conjunto ímã + esfera maior poderiam representar comparando ao sistema solar?
3. Se rolássemos uma esfera de plástico, teríamos o mesmo efeito? Por quê?
4. O que faz a esfera menor “saber” que o ímã está ali? O que faz ela “sentir” a atração magnética?
5. Comparando o experimento com a Gravitação de Newton, qual a diferença entre força magnética e a força gravitacional?
6. Quão rápido pode a força magnética viajar do conjunto esfera maior + ímã até a esfera menor? A esfera menor sente a força magnética de maneira instantânea?

Para refletir

Como pode um planeta “sentir” a gravidade solar, de que forma é transmitida e quanto tempo isso demora a acontecer? Como um planeta sabe que o Sol está lá? Além disto, como a gravidade solar avança espaço afora?

Discutindo

E como entender as órbitas?

Dessa suposta existência da gravidade necessariamente decorre que todos os corpos ao redor da Terra devem tender para baixo e, portanto, devem descer diretamente à Terra, caso estejam em queda a partir do repouso, ou ao menos desviar continuamente de suas linhas retas em direção à Terra, se for projetado obliquamente. Então, da suposta existência de uma força dirigida a qualquer centro, decorre igualmente (...).

Isaac Newton, 1687

(Principia – O Sistema do Mundo- pg. 339)

Para entender a possibilidade das orbitas vamos partir para o experimento mental do canhão de Newton. De acordo com a Figura 4, de seu livro Principia, ele imaginou o movimento de uma bala de um canhão sendo disparado horizontalmente do alto de uma montanha. Ele supôs que o topo da montanha estivesse acima da atmosfera da Terra, de modo que a resistência do ar não se opusesse ao movimento da bala de canhão. Assim se mostra que as trajetórias parabólicas de sucessivos projéteis disparados do ponto

Figura 4. Experimento mental do canhão de Newton.

V, cada vez com velocidades maiores, acabam por interceptar a superfície do planeta em pontos D, E, F e G cada vez mais distantes do topo da montanha. Se a bala de canhão fosse disparada com rapidez suficiente, Newton pensou que a trajetória curvada se tornaria um círculo e a bala de canhão circularia a Terra indefinidamente. Ela entraria em órbita. A velocidade tangente da bala, como a da Lua, são grandes suficientes para o movimento ser ao redor da Terra em vez de para o centro dela. Visualize o experimento no simulador disponível [aqui](#).

Como não há resistência para reduzir sua velocidade, a lua ou qualquer satélite da Terra “cai” repetidamente ao redor da Terra. Da mesma forma, os planetas caem continuamente ao redor do Sol em trajetórias fechadas. Por que os planetas não se chocam contra o Sol? Eles não o fazem por causa de suas velocidades tangenciais. O que aconteceria se elas fossem reduzidas? Seus movimentos seriam diretamente em direção ao Sol e eles realmente acabariam

se chocando contra ele. Outros objetos no sistema solar sem velocidades tangenciais suficientes, já se chocaram com o Sol muito tempo atrás. O que restou é a harmonia que observamos.

Portanto na atividade anterior é um desafio imenso fazer a esfera menor contornar o conjunto esfera maior + ímã por “tentativa e erro”, pois isto requer uma velocidade e posição iniciais únicas, como faz um planeta que permanece em órbita em torno do Sol. A maioria dos corpos que atravessam nosso sistema solar, ou passam e nunca mais retornam, ou são atraídos para o Sol. Além disso, no *Principia Mathematica* de Newton (1687), ele estabeleceu que a força atrativa da gravidade emanava da matéria, mas ele não explicou fisicamente como era transmitida de uma massa para outra, nem quanto tempo essa transmissão levava para ocorrer. Ele simplesmente assumiu que a força da gravidade **viajava instantaneamente** pelo espaço vazio de uma massa à outra, sem a necessidade de qualquer tipo de contato e nem de mediadores.

Leitura complementar

Mas como assim cair ao redor da Terra?

Se você lançar horizontalmente uma pedra com qualquer velocidade, você notará que ela cai 5 metros no primeiro segundo. Isso se deve ao próprio valor da gravidade. Um satélite terrestre é simplesmente um projétil que cai *ao redor* da Terra, ao invés de *para o centro* dela. A rapidez do satélite deve ser suficientemente grande para garantir que sua distância de queda se ajuste à curvatura da Terra.

Um fato geométrico sobre a curvatura de nossa Terra é que sua superfície “desce” cinco metros para cada 8.000 metros tangentes, conforme mostrado na Figura 5. Isso significa que

Figura 5. Curvatura da Terra (fora de escala).

se você estivesse flutuando no oceano calmo, com seus olhos próximos a superfície da água, seria capaz de avistar apenas o topo de um mastro de 5 metros de altura de um navio a oito quilômetros de distância. Assim, se uma bola de beisebol pudesse ser arremessada rápido o bastante para viajar uma distância de 8 quilômetros durante 1 segundo que leva para cair 5 metros, ela então acompanharia a curvatura da Terra. Isso é uma rapidez de 8 quilômetros por segundo. Se isso não lhe parece rápido, converta-o para quilômetros por hora e você obterá o valor impressionante de 29.000 quilômetros por hora. Com tal rapidez, uma bola de beisebol, ou mesmo um pedaço de ferro, seriam queimados pelo atrito atmosférico até torrar. Esse é o destino

dos pequenos pedaços de pedra e outros meteoritos que penetram na atmosfera da Terra e incendeiam, aparecendo como "estrelas cadentes". É por isso que tanto os satélites como os ônibus espaciais são colocados em órbita a altitudes de 150 quilômetros ou mais – para ficarem acima de praticamente toda a atmosfera e aproximadamente livres da resistência aerodinâmica.

Uma falsa concepção muito comum é que os satélites em órbita a grandes altitudes estariam livres da gravidade. Nada poderia estar mais longe da verdade. A força da gravidade sobre um satélite a 200 quilômetros acima da superfície terrestre é praticamente tão grande quanto na superfície. A grande altitude é para pôr o satélite além da atmosfera da Terra, onde a resistência aerodinâmica está quase totalmente ausente, e não para pôr fora do alcance da gravidade.

Atividade 3 – Princípio da Equivalência

Introdução

De acordo com a Teoria da Gravitação de Newton, todos os objetos “caem” em direção ao centro da Terra por causa da gravidade terrestre. Por exemplo, a força da gravidade terrestre puxa um objeto para baixo, em direção ao chão, no instante que ele cai de uma mesa. A gravidade é descrita como uma força atrativa entre corpos materiais e que atua a distância (ou seja, instantaneamente e sem a necessidade de contato físico entre os corpos). Essa força é tanto mais intensa quanto maior a quantidade de matéria dos corpos. Por outro lado, ela se torna mais fraca quanto maior a distância entre os corpos. Alguns resultados interessantes acontecem quando nós soltamos dois objetos simultaneamente de certa altura do chão. Quando nós comparamos esses resultados com o que acontece em outro lugar longe da influência da gravidade da Terra, nós somos apresentados ao Princípio da Equivalência.

Etapa 1 – Experimento mental

Imagine que você e um amigo estão cada um empurrando uma carriola sobre o teto de um edifício. A carriola do seu amigo está vazia enquanto a sua está cheia de cimento. Vocês começam a empurrá-las ao mesmo tempo e empurram com a mesma velocidade. Vocês alcançam a borda do teto no mesmo tempo e as carriolas caem edifício abaixo.

Questões

1. Qual carriola é mais pesada?
2. Em qual carriola precisamos nos esforçar mais para empurrá-la sobre o teto?
3. Se fossem feitas forças iguais nas carriolas elas obteriam a mesma velocidade e chegariam ao mesmo tempo?
4. Quando as carriolas caem simultaneamente do topo do edifício, qual delas bate primeiro no chão? A mais pesada ou a mais leve?
5. A gravidade puxou cada carriola com a mesma intensidade?

Etapas 2 – Objetos em queda-livre

- Junte pares de objetos do mesmo tamanho, mas diferentes pesos. Por exemplo, forneceremos uma bolinha de tênis normal e uma cheia de areia. Encontre um parceiro e leve os objetos a um local vazio onde vocês possam deixá-los cair com segurança. Fique em pé em uma cadeira para soltar os objetos de um ponto alto. Isto dará a você mais tempo para observá-los. Suba ambos os objetos à altura do ombro e deixe o par de objetos cair simultaneamente. Repita várias vezes com todos os objetos. Para verificar o experimento com mais detalhes, filme (em câmera lenta) a queda pelo celular.
- Se duas folhas de caderno, sendo uma delas perfeitamente esticada e a outra totalmente amassada, fossem abandonadas simultaneamente de certa altura. Qual delas chegariam primeiro ao chão? Elas possuem massas diferentes? Faça o teste.

Questões

1. Qual objeto atinge o chão primeiro? O mais pesado ou o mais leve? Ou eles chegam juntos?
2. Os objetos chegam ao chão com a mesma velocidade? Explique.
3. O tempo de queda das folhas tem alguma relação com formato das folhas? Justifique.

Discutindo

E se fossem objetos diferentes como um martelo e uma pena? Será que a queda seria igual? Sabemos que na Terra temos atmosfera e, portanto, temos a resistência do ar. A queda simultânea não seria vista, mas se estivéssemos livres desse atrito, o que aconteceria?

De acordo com a Teoria da gravitação de Newton, não há gravidade apenas da Terra, mas a Lua também possui gravidade. A Figura 6 mostra o astronauta David Scott, comandante da missão Apollo 15 (1971), realizando um experimento de queda livre em sua última caminhada lunar. Segurando uma pena de falcão na mão esquerda e um martelo de alumínio na mão direita, o astronauta deixou-os cair de uma altura aproximada de 1,6 m (pouco abaixo dos seus ombros). E os dois tocaram o solo lunar juntos! O vídeo deste experimento pode ser visto [aqui](#).

Figura 6. Missão Apollo 17 na Lua (1971).

O martelo, todos sabem, é bem mais pesado do que a pena. Segundo informações oficiais da NASA, o martelo tinha massa de 1,32 kg contra apenas 30 g da pena. Este experimento foi uma homenagem ao italiano Galileu Galilei (1564-1642), citado pelo astronauta como alguém importante que estudou a queda dos corpos num campo gravitacional, o ponto de partida para entendermos o comportamento da gravidade. O astronauta disse “(...) *uma das razões por termos chegado aqui (na Lua) foi à existência há muito tempo atrás de um homem chamado Galileu (...)*”.

A Figura 7 mostra outro vídeo interessante, no qual temos uma visibilidade melhor do experimento de queda livre. Este vídeo é uma produção da BBC e pode ser visto [aqui](#). Repare na diferença visível do experimento com resistência do ar e no vácuo. O que exatamente está acontecendo aqui? Como podem dois objetos com massas diferentes cair em direção ao chão com a mesma aceleração? A resposta para este paradoxo está no balanço incrível entre o tanto que a gravidade puxa um objeto (o peso do objeto; respondendo à força gravitacional) e o tanto que o objeto resiste a esta força (a inércia do objeto; massa inercial respondendo a uma mudança de movimento). Sobre a inércia, lembre-se da carruagem em que você se esforça mais: a cheia de cimento.

Figura 7. Queda livre numa câmara de vácuo.

A partir destes experimentos, você deve notar que todos os objetos chegam ao chão no mesmo intervalo de tempo, independentemente de sua massa. Porém a força da gravidade em cada corpo é proporcional à quantidade de massa que cada corpo tem. Isso é uma suposição básica na teoria de Newton. Naturalmente, poderia ser razoável assumir que se a força da gravidade fosse diferente para cada corpo, então os corpos deveriam cair com acelerações diferentes. Mas isto não é o que acontece (ao menos, não no vácuo ou num ambiente sem resistência do ar).

Corpos com massas diferentes aceleram à mesma taxa e atingem o chão simultaneamente. Isto é contra intuitivo, pois nós assumimos que objetos mais pesados caem mais rapidamente. Esta noção errônea é proveniente do fato de que os objetos mais pesados batem no chão com mais ímpeto (quantidade de movimento ou massa vezes velocidade). Além disto, a resistência do ar tende a retardar a queda dos objetos. Essa resistência imposta pelo ar depende, entre outras coisas, das dimensões, da forma e da velocidade do objeto.

Newton respondeu essa questão postulando que as bolinhas de massas diferentes resistem à aceleração com intensidades diferentes. A bolinha mais pesada, tendo uma massa maior, tem uma maior resistência à aceleração. A bolinha mais leve, tendo uma massa menor, tem uma resistência menor à aceleração gravitacional. Então, mesmo que a gravidade atraia mais fortemente a bolinha mais pesada do que a bolinha mais leve, a primeira bolinha tem uma resistência maior a essa atração. O resultado é que as bolinhas de massas diferentes aceleram para o chão com exatamente a mesma taxa, $9,8 \text{ m/s}^2$.

Em todo objeto, a força da gravidade e a inércia do objeto estão em equilíbrio uma com a outra, significando que todos os objetos aceleram com a mesma taxa independente de suas massas. Essa é uma explicação aceitável até certo ponto. Entretanto, não há explicação de **porque** isso é verdade. Porque essas duas coisas estão em equilíbrio em todos os objetos no universo?

Einstein ficava intrigado por esse princípio de “aceleração simultânea” porque isso significava que de algum modo à gravidade, que causava a queda dos corpos, deveria estar puxando cada objeto com uma diferente quantidade de força. Objetos mais pesados requerem mais força para acelerar porque eles possuem maior inércia, ou seja, uma massa maior ($F=m.a$), mas como poderia uma força, como a gravidade, “saber” puxar diferentes quantidades de massas com diferentes quantidades de força? E o mais curioso: puxar com a quantidade de força exata para fazer com que todos os corpos caíam com a mesma aceleração. Então como poderia duas massas diferentes caírem com a mesma aceleração? Nós devemos tentar compreender a gravidade longe da Terra e de outros objetos massivos (espaço vazio) para entendermos este fenômeno.

Etapa 3 - Experimento mental com uma nave espacial

Pegue as duas bolinhas de massas diferentes e fique em pé em uma cadeira. Segure-as na altura do ombro e fique preparado para deixá-las cair. Antes de soltá-las, imagine que você esteja flutuando numa espaçonave no espaço vazio, longe de qualquer campo gravitacional, qualquer coisa dentro da nave flutuaria livremente; não existiria “para cima” nem “para baixo”, como mostra a Figura 8 ao lado. Imagine que as bolinhas que você está segurando esteja na realidade flutuando perto de você. Lembre-se: não há gravidade no espaço vazio. Então, nem você, nem as bolinhas estão “caindo”.

Se elas fossem soltas na nave em repouso, elas continuariam na posição que você as deixou. Se a nave estivesse se movendo com *velocidade constante* (aceleração nula), elas também permaneceriam no mesmo lugar. Pois tanto a nave quanto às bolinhas se movimentariam a mesma quantidade, ou

Figura 8 - Tudo se torna imponderável no interior de uma espaçonave não acelerada e livre de influências gravitacionais.

seja, se moveriam lado a lado com a velocidade que a nave tinha no momento em que foram soltas.

Agora imagine que a espaçonave acelerasse. Para ver isso solte as bolinhas e imagine que a sua espaçonave acelerou para cima a $9,8 \text{ m/s}^2$. Repita isso várias vezes até você poder realmente imaginar que a nave está acelerando você no mesmo momento em que você solta as bolinhas.

Questões

1. Descreva o movimento das bolinhas.
2. O movimento das bolinhas na nave parece diferente do movimento dela na superfície da Terra?
3. Quando a nave acelera e as bolinhas são soltas, podemos dizer que as bolinhas sentem uma força de atração igual à da atração gravitacional? Lembre-se de que a nave está no espaço vazio longe de campos gravitacionais.
4. A gravidade da Terra é equivalente a um movimento acelerado ($9,8 \text{ m/s}^2$) no espaço vazio?

Discutindo

No momento que a espaçonave está com velocidade constante as bolinhas deveriam andar a mesma distância no mesmo tempo que a espaçonave. Portanto apareceriam flutuando. Porém quando a espaçonave acelera o piso se move para cima mais rapidamente que as bolinhas, que logo seriam apanhadas por ele (Figura 9). As duas bolinhas, não importando suas massas, seriam apanhadas pelo piso no mesmo instante.

Figura 9 - No espaço vazio, na nave acelerada com uma aceleração igual à da Terra, percebemos um fenômeno equivalente ao ocorrido na superfície da Terra.

Assim seria observado um fenômeno semelhante à gravidade. Se a aceleração da nave tivesse valor igual a g (aceleração da gravidade terrestre), os ocupantes poderiam muito bem ser convencidos de que a nave não estava acelerada, mas em repouso sobre a superfície da Terra. Desta forma nós somos apresentados ao **Princípio da Equivalência**, o qual estabelece que as observações realizadas num sistema de referência acelerado (uniformemente) são indistinguíveis daquelas realizadas no interior de um campo gravitacional newtoniano. A aceleração de um corpo devida à gravidade da Terra é equivalente à aceleração devida a um referencial acelerado (nave espacial) longe da Terra.

Newton foi o primeiro a verificar experimentalmente o princípio da equivalência e usou-o como um princípio fundamental na Mecânica. Esta equivalência seria interessante, mas não revolucionaria se fosse aplicável apenas aos fenômenos mecânicos. Einstein foi além e estabeleceu que este princípio vale para todos os fenômenos naturais. Assim, o que você vê na nave acelerada é idêntico ao que você experimenta aqui na Terra. Este é o atual Princípio da Equivalência, na sua forma mais geral. Gravidade é aceleração: os efeitos de cada uma são equivalentes e indistinguíveis.

Como é impossível admitir que a gravidade possua "inteligência" para distinguir como puxar corpos diferentes, então é mais razoável imaginar que a gravidade seja consequência de um movimento acelerado. Tomemos a Terra e uma maçã como exemplo. Quando solta, a maçã se movimenta em direção ao centro da Terra num movimento acelerado. Podemos entender isto assim: a Terra cria um caminho no espaço onde todos os objetos menos pesados seguem, todos com a mesma aceleração. Este caminho é criado de tal forma que qualquer objeto colocado nele entra em movimento. A maçã quando solta, se movimenta em direção ao centro da Terra. Portanto, mesmo sem usar a gravidade, somos capazes de explicar o movimento de objetos soltos próximos à superfície da Terra. Esta é a interpretação alternativa oferecida por Einstein em 1915. Como veremos, as ideias de Einstein a respeito da gravitação nos revelou aspectos muito profundos acerca da nossa natureza, bem como do próprio Universo, que vão muito além de uma simples interpretação alternativa.

Etapa 4 – Brinquedo de Einstein

Em seu 76º aniversário, Albert Einstein ganhou um simples brinquedo, aquele que tem uma bola atada à extremidade de um cordão cuja outra extremidade está amarrada no centro de um copo. O desafio é lançar a bola e pegá-la de volta dentro do copo. Ele adorou esse brinquedo porque fornece uma demonstração do Princípio da que é um dos conceitos fundamentais subjacentes à sua teoria da Relatividade Geral. Construímos uma versão do brinquedo para entender qual o princípio físico que ele observou.

Materiais

Copo plástico, fio elástico, bolinhas de plástico, fio inextensível.

Montagem experimental

Figura 10 - Montagem experimental do brinquedo de Einstein.

Procedimento

Com a montagem usando o fio elástico, como a figura 10 acima, tente descrever porque as bolinhas estão em equilíbrio. Agora suba em uma cadeira e deixe-o cair a partir do repouso. Peça para um amigo ficar à espera do copo próximo ao chão. Antes de fazer o procedimento responda à questão 1. Repita o experimento várias vezes e responda todas as questões.

Questões

1. O que você acha que acontecerá com as bolinhas durante a queda?
2. Represente e indique em um desenho esquemático as forças que estão agindo nas bolinhas antes da queda.
3. Após a queda o que foi observado?
4. De acordo com o diagrama acima qual força foi a responsável por puxar as bolinhas?
5. O que aconteceu com a outra força (a da gravidade)?
6. Se trocar o fio elástico por um fio inextensível, as bolinhas cairiam dentro do copo?

Discutindo

• O elevador de Einstein

Um dos postulados propostos por Einstein, o Princípio da Equivalência na sua forma mais geral, teve origem quando ainda ele trabalhava no Registro de Patentes em Berna, em 1907. Foi chamado de “o pensamento mais feliz” de sua vida.

“Eu estava sentado numa cadeira no escritório de patentes de Berna, quando, de repente, um pensamento me ocorreu: uma pessoa em queda livre não sentirá seu próprio peso. Fiquei surpreso. Esse pensamento simples impressionou-me profundamente. Impeliu-me para uma teoria da gravitação.”

Einstein passou a refletir sobre qual seria a diferença entre uma queda livre e uma simples ausência de aceleração. Ele concluiu que não havia nenhuma diferença entre esses dois fenômenos. Para ilustrar este princípio, Einstein costumava utilizar alguns *experimentos de pensamento* envolvendo *elevadores imaginários*. Comparando fenômenos distintos relacionados com acelerações e ocorridos dentro de um elevador imaginário.

ELEVADOR CAINDO

FLUTUANDO NO ESPAÇO

Figura 11. A queda livre na presença de campos gravitacionais é equivalente a um elevador flutuando longe de campos gravitacionais.

No primeiro experimento imaginamos uma pessoa no interior de um elevador parado num edifício em algum ponto da superfície terrestre, portanto a pessoa está sob a ação do campo gravitacional gerado pela Terra. De repente alguém corta os cabos do elevador e a pessoa cai

Figura 12. Queda de um objeto na presença de um campo gravitacional é equivalente a um elevador acelerado na ausência de campos gravitacionais.

em queda livre (vamos supor que o poço do elevador é suficientemente fundo para nossa experiência). Não só a pessoa, mas tudo o que está dentro do elevador cairá em queda livre, ao mesmo tempo e adquirindo a mesma aceleração, inclusive o elevador. O efeito sentido pela pessoa é de estar flutuando junto com todas as outras coisas. Compare os lados esquerdos das Figuras 11 e 12.

Mudando o referencial, agora imagine um elevador em algum ponto suficientemente distante de qualquer fonte de gravidade (um planeta, uma estrela ou galáxias). Como não há campo gravitacional, a pessoa estará “solta”, ou seja, flutuando, assim como todos os objetos ao seu

redor. Este é o mesmo efeito sentido no interior do elevador em queda livre sob a ação do campo gravitacional da Terra (veja a Figura 11). Se agora se acionam os motores, o efeito de estar flutuando desaparece e retornamos à situação inicial semelhante à experiência do elevador quando este ainda possuía os cabos de sustentação intactos, como se você estivesse sob a influência de um campo gravitacional (veja a Figura 12).

Einstein havia percebido que o fato de corpos de massas diferentes caírem da mesma maneira num campo gravitacional fazia com que movimentos de queda livre em campos gravitacionais fossem indistinguíveis de (ou equivalentes a) movimentos uniformes na ausência de gravidade. Era como se a ausência do campo gravitacional pudesse ser “anulada” escolhendo-se um referencial em queda livre nesse campo.

• Gravidade artificial?

Uma dificuldade a ser enfrentada nas viagens espaciais prolongadas é a ausência da gravidade terrestre, o que pode ser prejudicial ao corpo humano. Uma alternativa para solucionar o problema seria criar uma gravidade artificial. Como já vimos, o Princípio de Equivalência diz que gravidade e aceleração são equivalentes. Assim para simular gravidade, tudo que você

precisa fazer é submeter o corpo a uma aceleração com o valor da gravidade desejado. Porém se a nave não puder viajar com aceleração de $9,8\text{m/s}^2$? Uma ideia é manter a nave em rotação. Neste caso, ela funcionaria mais ou menos como uma centrífuga, as massas seriam empurradas contra o lado interno da parede externa ou mais externa da sala em que se encontrasse a mesma, fazendo com que aquele lado fosse percebido como "para baixo". No centro do sistema a "gravidade" é zero.

No filme "Interestelar", há uma cena em que os tripulantes estão flutuando até que acoplam a nave na estação espacial (Figura 13) na forma de uma roda, ela começa a girar com aceleração igual $9,8\text{ m/s}^2$ e a partir dessa cena eles andam na nave como se estivessem na superfície da Terra.

Figura 13 - Nave em rotação com aceleração centrípeta igual a g ; a tendência dos objetos de se afastarem do centro.

Ainda no mesmo filme, o *habitat* (Estação Cooper) em larga escala construído perto de Saturno também é um ponto de destaque. O *habitat* lembra o cilindro de O'Neill (Figura 14), um *habitat* espacial proposto pelo físico Gerard Kitchen O'Neill (1978). A rotação fornece a gravidade artificial nas superfícies internas enquanto o eixo central do *habitat* é uma região de gravidade zero com equipamentos para o lazer, unidades de produção especiais e laboratórios avançados.

Figura 14 - Do lado esquerdo o cilindro de O'Neill onde a rotação fornece a gravidade artificial nas superfícies internas. Do lado direito as crianças jogando beisebol dentro da colônia espacial como visto por Cooper olhando pela janela.

Bloco 2 – Quão rápida a gravidade se propaga?

Atividade 4 - Princípio da Relatividade de Galileu

Antes de falarmos sobre velocidade de propagação da gravidade, precisamos entender o que é o movimento. Afinal de contas você está em movimento ou em repouso? Para tirar suas próprias conclusões vamos diferenciar esses estados.

Movimento: algo está em movimento se este muda de posição no tempo.

Repouso: algo está em repouso se este não muda de posição no tempo.

Etapa 1 - Experimento mental 1

Imagine a situação em que você está dirigindo um carro com uma pessoa de carona sentada ao seu lado. Você olha para o velocímetro e percebe que está a 80 km/h, com velocidade constante. Além disso imagine que você ultrapasse um carro que esteja a 70 km/h com velocidade constante.

Questões

1. De acordo com as definições de movimento e repouso, você pode concluir que está em repouso ou em movimento?
2. Responda novamente a questão 1, porém agora em relação a pessoa sentada ao seu lado e em relação ao piso da rodovia, você chega na mesma resposta?
3. Em relação ao outro carro, você está em repouso ou a 10 km/ h?

Etapa 2- Experimento mental 2

Imagine que você está dentro de um carro, mas não sabe que agora ele está em movimento uniforme ou em repouso. Você não pode olhar pela janela, elas estão vedadas. Mas você pode enxergar seu amigo devido a existência de uma lâmpada acesa. Se seu amigo lançasse uma bolinha para cima e você observasse sua trajetória.

Questões

1. Pela trajetória observada, você notaria diferenças se o carro estivesse em movimento uniforme ou parado?
2. Se o carro estivesse em movimento, o seu amigo conseguiria pegar a bolinha na mão no mesmo ponto de onde saiu?
3. Se o carro estivesse em repouso, o seu amigo conseguiria pegar a bolinha na mão no mesmo ponto de onde saiu?
4. Você pode concluir que a partir dos experimentos se o carro está parado ou em movimento uniforme?

Dica: Neste momento, juntamente com a Terra, estamos nos movimentando em relação ao Sol a aproximadamente 30,000 km/s.

Discutindo

No experimento mental inicial não podemos afirmar que um corpo está em repouso ou em movimento absoluto, portanto depende do ponto de vista adotado. Chamamos de sistema de referência o local ou corpo a partir do qual o movimento é observado e medido. Ou seja, podemos obter diferentes valores da velocidade para diferentes referenciais. Assim não podemos determinar uma velocidade absoluta, o movimento é relativo.

Na segunda parte não conseguimos notar uma diferença do experimento e concluir se o carro está em movimento uniforme ou repouso. Esta ideia foi discutida por Galileu Galilei em sua obra *Diálogos* sobre os dois máximos Sistemas do mundo (1631), ele descreve:

Figura 15 a - Ideia de Terra "parada"

Figura 15 b - Objeto solto do topo de uma torre, cai ao pé dela. Se a Terra estivesse em movimento ele deveria cair longe da torre. (Ideia Aristotélica)

“Tranque-se com um amigo na cabine principal do convés inferior de um grande navio, e leve consigo algumas moscas, borboletas, e outros pequenos animais voadores. Leve uma tigela grande com água e peixes; pendure uma garrafa que se esvazia gota a gota numa bacia grande debaixo dela. Com o navio parado, observe cuidadosamente como os pequenos animais voam na mesma velocidade para todos os lados da cabine. Os peixes nadam indiferentemente em todas as direções; a gota cai na bacia debaixo dela. E, ao jogar algo para seu amigo, não precisa jogar com mais força numa direção que na outra, a distância é igual. Pulando de pés juntos, você dá passos iguais em qualquer direção. Quando tiver observado todas essas coisas cuidadosamente, faça com que o navio se mova com a velocidade que desejar, desde que o movimento seja uniforme e não se altere de um modo ou de outro. Você descobrirá que não ocorre a menor mudança nos efeitos citados e que não se pode dizer com base em alguns deles que o navio está parado ou em movimento”

Atualmente, o “Princípio de relatividade de Galileu” afirma que é impossível detectar movimentos de translação absolutos de um sistema através de experiências internas a esse sistema, ou seja, para experiências realizadas dentro de um sistema, seu movimento de translação, se for uniforme, não pode ser notado. Portanto a ideia central é que: é impossível distinguir entre movimento uniforme e repouso.

No contexto da obra de Galileu há a preocupação da defesa do sistema Heliocêntrico de Copérnico, ou seja, que a Terra esteja em movimento de translação em torno do Sol. O argumento que a Terra era imóvel pode ser notado na obra de Aristóteles (Sobre o Céu), assim ele descreve que se atirmos em linha reta um corpo “pesado” para cima, ele retorna ao ponto de onde partiu (Figura 15a). Por outro lado, equivocadamente, pensando se a Terra estivesse em movimento, ao lançar um objeto para cima, ao retornar, nós teríamos deslocado, portanto o objeto não cairia no mesmo ponto de origem. (Figura 15b). Lembrando que não só Aristóteles defendia essa ideia e nem todos de sua época concordavam.

Porém quando nos deparamos com o princípio da relatividade, conseguimos entender o porquê não sentimos o movimento da Terra, por que nós compartilhamos do mesmo movimento. No entanto podemos medir o movimento de translação de um sistema em relação a outras coisas, como por exemplo a água ou o ar ou em relação a estrelas distantes.

Será que esse princípio vale para toda natureza? Como poderíamos medir as velocidades do som ou da luz, ou seja em relação a que?

O som é uma onda, que transporta energia e não matéria. Ele causa a alteração da pressão do meio, que se propaga, como exemplo do ar. Portanto sua velocidade pode ser medida em relação ao ar, se obtém um valor de aproximadamente de 1.100 km/h a uma temperatura de 20°C.

Vamos imaginar você viajando em um jato que se move com velocidade de 1.100 km/h em relação à superfície da Terra. Qual a velocidade que você vê de uma onda sonora se propagando ao seu lado? Lembre-se do Princípio da Relatividade.

A resposta é: Z-E-R-O. A onda sonora estaria parada ao seu lado! Portanto, não podemos afirmar que o som esteja em movimento absoluto ou em repouso absoluto, tudo depende do referencial utilizado.

Poderíamos pensar igualmente para a luz? Qual a velocidade da Luz em relação a quê?

Atividade 5 - Velocidade da luz

Introdução

Do que a luz é feita? Desde a antiguidade o Homem está em busca do que as coisas são feitas e a natureza da luz já foi muitas vezes questionada. Newton, por exemplo, defendia que a luz era constituída por partículas muito pequenas, que se moveriam pelo espaço com grandes velocidades. Christiaan Huygens (1629-1695) defendia que a luz era uma onda. Não só eles, mas outras pessoas já discutiam concepções acerca da natureza da luz. Para além disso, havia outra questão, a velocidade de propagação da luz. Em 1675, Olaus Römer, astrônomo dinamarquês, através das observações de rotação das luas de Júpiter concluiu que a luz demora um certo tempo para atravessar grandes distâncias, portanto não se trata de uma velocidade infinita. O valor por ele obtido foi de 225.000 km/s, lembrando que as distâncias entre Terra e Júpiter não eram bem conhecidas em sua época.

No início do século XIX, as experiências do físico e médico britânico Thomas Young (1773-1829), e do físico francês Augustin Fresnel (1788-1827), sobre interferência e difração da luz, demonstraram que a luz era uma onda. Mas que tipo de onda é a luz?

Na segunda metade do século XIX, Maxwell (1831-1879) estudava os fenômenos elétricos e magnéticos, quando ele calculou teoricamente o valor da velocidade de propagação de um campo eletromagnético e encontrou um valor muito próximo da velocidade da luz. E conclui “É muito difícil evitar a conclusão de que a luz consiste em ondulações transversais do mesmo meio que é a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos.” (Maxwell, [1861/1862], p. 500). Portanto a luz é uma onda eletromagnética.

• Características de uma onda

Uma onda é uma perturbação que se propaga no tempo e no espaço. As ondas não transportam matéria, mas sim energia. Podem ser classificadas de acordo com sua natureza e sua forma de propagação. Um ponto característico de uma onda é seu

comprimento de onda (λ), a distância de uma oscilação completa, que se repete na mesma frequência (veja Figura 16). A frequência (f) representa o número de oscilações da onda a cada segundo. A **amplitude** (A) representa o máximo afastamento da onda, durante a oscilação, em

Figura 16 - Representação gráfica de uma onda.

relação à posição de equilíbrio. Portanto quanto maior for a amplitude, maior será a quantidade de energia transportada. Na Figura 16, a posição de equilíbrio está representada pela linha tracejada. A velocidade de propagação da onda é calculada por:

$$v = \lambda f,$$

sendo v a velocidade de propagação (m/s), λ o comprimento de onda (m) e f a frequência (Hz). Quanto à natureza, as ondas podem ser mecânicas ou eletromagnéticas.

As ondas eletromagnéticas se diferenciam entre si pelo número de oscilações por segundo, ou seja, pela sua frequência. A classificação baseada nas diferentes frequências constitui o espectro eletromagnético (Figura 17).

Figura 17 - Espectro eletromagnético.

Assim a luz visível e o micro-ondas são de mesma natureza, ou seja, ondas eletromagnéticas. Se diferenciam entre si pela frequência de oscilação da onda.

Você sabia que podemos calcular a velocidade de propagação da luz usando um forno micro-ondas caseiro?

- **Micro-ondas: o que mais precisamos saber**

O que o forno de micro-ondas faz nos alimentos? Uma fonte elétrica emite ondas eletromagnéticas que aumentam a energia cinética das moléculas de água dos alimentos. Sabemos que a temperatura é um número que expressa o estado de agitação das partículas, logo, aumentando a vibração (ou estado de agitação) das moléculas, aumentamos a temperatura do corpo. O componente mais importante do forno de micro-ondas é o *magnetron*, um equipamento que utiliza a vibração de elétrons para gerar um campo magnético.

As ondas no forno de micro-ondas refletem nas superfícies metálicas internas do forno e interage com outra onda de tal forma que os pontos quentes e frios são formados dentro do micro-ondas. O fenômeno responsável para isto é a interferência das ondas (veja a Figura 18). Ondas que interferem construtivamente formam um ponto quente. Ondas que interferem destrutivamente resultam em um local frio. O aquecimento desigual causado por esses efeitos pode ser significativamente reduzido pelo uso de uma plataforma giratória. Os pontos de aquecimentos são os máximos de energia (antinodo) e os pontos frios são os pontos mínimos de energia (nodo), mostrados na Figura 18.

Figura 18 - Ondas eletromagnéticas se propagam no interior do forno micro-ondas viajando em direções opostas.

Um tipo especial de interação ocorre quando duas ondas do mesmo comprimento de onda movem-se em direções opostas. Isto cria o que é conhecido como uma onda estacionária onde a nodos e antinodos permanecem numa posição fixa no espaço. Para entender isso melhor, vamos pensar em um pulso se propagando numa corda presa a uma extremidade fixa. Uma onda produzida na extremidade A, ao atingir o ponto B sofre reflexão e volta “invertida” em relação ao pulso incidente. O que acontece quando essas ondas se encontram?

Figura 19 - Reflexão de um pulso em uma corda com extremidade fixa e seu encontro com o pulso seguinte.

Quando as ondas se encontram ocorre o fenômeno da interferência, ou seja, as ondas se superpõem naquele ponto, originando um efeito que é o resultado da soma algébrica das amplitudes de todas as perturbações no local de superposição. Podemos ter dois tipos de interferências: a *construtiva* e a *destrutiva*. Na interferência construtiva ocorre um reforço da onda, e a amplitude da onda resultante é maior do que a amplitude de cada uma das ondas que se superpõem (veja a Figura 20).

No caso da interferência destrutiva total, já que estamos falando de amplitudes e frequências iguais, o meio não apresenta efeito das perturbações, permanecendo o ponto em equilíbrio (veja a Figura 20).

Figura 20 - Interferência construtiva e destrutiva de ondas.

Materiais

- Régua
- Micro-ondas
- Massa de lasanha instantânea
- Prato

Procedimento

- Remova toda a plataforma giratória do micro-ondas.
- Coloque a massa de lasanha instantânea no prato e insira dentro do micro-ondas (veja a Figura 21).
- Na potência máxima, coloque um tempo de até 10 segundos.

Figura 21 - Montagem experimental.

Questões

1. O que acontece com a massa de lasanha, ela derrete uniformemente? Explique.
2. Explique o padrão de aquecimento apresentado, relacionando com as ondas.
3. O que representa a distância entre as regiões de aquecimento?
4. Verifique a frequência do micro-ondas e calcule a velocidade de propagação da onda.
5. Calcule o erro percentual no resultado da velocidade encontrada (velocidade experimental) em relação à velocidade da luz (velocidade teórica) no valor de 299.792.458 m/s (valor atual):

$$\text{Erro percentual (\%)} = \frac{|\text{velocidade experimental} - \text{velocidade teórica}|}{\text{velocidade teórica}}$$

Discutindo

EIS A QUESTÃO:

A velocidade de propagação da luz é aproximadamente 300.000.000 m/s, mas em relação a quê?

Não faz sentido afirmar tal velocidade sem falarmos do referencial. É preciso dizer em relação a que a luz se propaga com essa velocidade. Para isso vamos refletir sobre as seguintes questões:

- Uma onda é uma perturbação oscilatória que atravessa um meio de um ponto para outro. Se a luz é uma onda que se propaga entre o Sol e a Terra, então deveria existir uma substância a ser perturbada para transmitir a luz? Para isso precisamos pensar sobre o espaço, ele é um vazio absoluto ou deve conter uma substância para permitir a propagação da luz? Além de viabilizar a propagação da luz como uma onda, que outras propriedades esta substância deve apresentar?

Desde de Aristóteles (384-322 a.C.) se considerava impossível conceber o espaço como um vazio absoluto. René Descartes (1596-1650), também defendia essa ideia. Assim todas as regiões do Universo seriam preenchidas por um meio fluído invísivel, transparente e sem viscosidade, chamado “éter”. O éter estaria em repouso absoluto em todo o universo e a Terra se desloca através do éter. Portanto se você movesse através do éter na mesma direção da luz, a velocidade da luz pareceria mais lenta (lembre-se do experimento mental você ultrapassando um carro no mesmo sentido). Mas se você estivesse na direção oposta à luz, a velocidade se apresentaria mais rápida.

Durante o século XIX, foram feitos vários experimentos com luz, que procuravam observar os efeitos do éter. Finalmente em 1887, Albert A. Michelson (1852-1931) e seu colaborador Edward W. Morley (1838-1923), realizaram um experimento que poderia comprovar a existência do éter, considerado na época o meio de propagação da luz. Foi usado um instrumento muito sensível, denominado de interferômetro (lado esquerdo da Figura 22). O experimento consistia num feixe de luz que era dividido em dois por um espelho parcialmente refletor e parcialmente transparente. Os feixes seguiam caminhos perpendiculares, depois eram refletidos em espelhos e recombinados para revelar se havia diferença nos percursos ao longo dos caminhos de ida e

volta. Caso os percursos fossem os mesmos, o interferômetro mostraria um padrão de interferência construtiva, caracterizado por uma mancha brilhante no centro da tela onde os feixes se reencontram, como mostrado na Figura 22 (lado direito). Caso os percursos fossem diferentes, se veria apenas uma tela escura sem a mancha brilhante no centro. É como se fosse uma corrida, se o resultado da “corrida” entre os dois feixes fosse um empate, veríamos uma mancha brilhante no centro da tela.

O interferômetro era posicionado de tal modo que um dos caminhos fosse paralelo ao movimento orbital da Terra. Por isso eles acreditavam que não deveriam ter esse empate já que a Terra estava em movimento através do éter, sendo este imóvel e o meio responsável pelo transporte da luz. Eles acreditavam que o feixe de luz caminhando na direção do movimento da Terra deveria chegar mais tarde. Portanto, deveria ter uma diferença no tempo de viagem entre os feixes e o padrão de interferência não deveria mostrar uma mancha brilhante no centro da tela. Para melhor visualização do experimento (Figura 22) vamos assistir uma parte do vídeo “O Universo Mecânico - O Experimento De Michelson-Morley”, disponível [aqui](#).

Figura 22 - Montagem experimental do interferômetro de Michelson e Morley (imagem à esquerda) / franjas de interferência mostrados no vídeo (imagem à direita).

Como vimos no vídeo, para grande surpresa de Michelson e Morley (e de todos, exceto Einstein), eles não encontraram diferenças anuais ou diárias entre os feixes de luz. O que significa que não houve atrasos nos tempos de chegada dos feixes de luz. Os resultados negativos do experimento indicavam que o éter não tinha existência física, o que se tornou um dos fatos mais intrigantes da física no final do século 19.

Em 1892 os físicos, o irlandês G. F. FitzGerald e o holandês Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) propuseram, independentemente um do outro, uma possível solução para o

impasse. Ambos consideraram que era possível manter a teoria do éter. Uma vez que o feixe que deveria chegar mais tarde, chegou junto com o outro, então ele gastou um tempo menor que o esperado. Similarmente, o percurso do feixe que deveria ter chegado mais tarde, foi mais curto que o esperado. A possível solução era que o comprimento do aparelho experimental sofria um encurtamento na direção em que estava se movendo de valor exatamente igual ao requerido para compensar a variação no tempo, de forma a manter a velocidade da luz constante na direção do movimento da Terra, cancelando assim o efeito do éter. Desta forma, o comprimento na direção do movimento fica mais curto, um efeito conhecido por contração espacial. Para manter a velocidade da luz constante, o intervalo de tempo deve ser também menor, fazendo com que o tempo em movimento passe mais lentamente, um efeito conhecido por dilatação temporal. Estes dois fatores foram obtidos matematicamente por Lorentz e ficaram conhecidos por transformações de Lorentz (ou FitzGerald – Lorentz).

O matemático francês Poincaré analisou os resultados do experimento e as transformações de Lorentz, oferecendo uma explicação geral que deu o nome de “princípio da relatividade”. A ideia é que o movimento absoluto jamais seria detectado em laboratório. Era preciso um tipo de dinâmica nova para analisar. Se o experimento do interferômetro provasse o movimento absoluto da Terra, seria possível diferenciar o estado de movimento e repouso, o que contraria a relatividade de Galileu. Mas não pense que tudo estava esclarecido.

Em 1905 Einstein publicou um trabalho no qual ele, independentemente do experimento de Michelson-Morley e dos trabalhos de Lorentz e Poincaré, impôs que a velocidade da luz fosse a mesma em todos os referenciais e obteve duas consequências fundamentais: (1) as mesmas transformações de Lorentz e uma interpretação completamente nova onde espaço e tempo estavam intimamente interligados. Com isto, Einstein mostrou claramente que não havia a necessidade do éter. Mostrou também que o tempo não podia ser absoluto como se acreditava. Caso o Michelson tivesse esperado uns cinco anos mais e lido este trabalho do Einstein, não teria ficado tão surpreso de encontrar que a velocidade da luz é uma constante. Entretanto, Michelson foi até o fim de sua vida repetindo e aprimorando seu experimento, sempre encontrando o mesmo resultado: a velocidade da luz é uma constante universal. Esta interpretação do espaço e do tempo como uma única entidade, o espaço-tempo, aumentou profundamente o nosso conhecimento a respeito da nossa natureza. Logo após este trabalho do Einstein (a teoria da Relatividade Especial, ou Restrita), o matemático Hermann Minkowski (1864 – 1909) mostrou que esta junção do espaço e tempo criava uma geometria nova, diferente da geometria euclidiana.

Atividade 6 - Teoria da Relatividade Especial

Introdução

Vamos lembrar do experimento mental você dando carona para um amigo em um carro, no referencial dele você se declarou em repouso. Lembrando que ambos estavam no carro a 80 km/h no referencial da rodovia. Agora sabendo tudo isso sobre a Luz, se você andasse na velocidade da luz, você veria ela em repouso? Se pensarmos em relação ao Princípio da relatividade de Galileu sim, mas se pensarmos que a onda eletromagnética calculada por Maxwell tinha um valor invariável, chegamos a um resultado diferente.

Einstein considerou que a velocidade da luz é a mesma para qualquer referencial inercial (repouso ou movimento uniforme), o que contraria a relatividade de Galileu. Ele descreve em seu artigo:

[...] as tentativas sem sucesso de verificar que a Terra se move em relação ao “meio luminoso” [éter] levaram à conjectura de que, não apenas na mecânica, mas também na eletrodinâmica, não há propriedades observáveis associadas à ideia de repouso absoluto, mas as mesmas leis eletrodinâmicas e ópticas se aplicam a todos os sistemas de coordenadas nos quais são válidas as equações da mecânica [...]. Elevaremos essa conjectura (cujo conteúdo será daqui por diante chamado de “princípio da relatividade”) à posição de um postulado; e, além disso, introduziremos um outro postulado que é apenas aparentemente inconsistente com o primeiro, a saber, que a luz no espaço vazio sempre se propaga com uma velocidade definida que é independente do estado de movimento do corpo que a emite (EISTEIN, 1905, pp. 891-2).

Princípio 1: Todas as leis da física são as mesmas em todos os sistemas de referência inercial, ou seja, não existe referencial preferencial.

Essa afirmação nos remonta à Relatividade de Galileu, porém agora enunciada de uma maneira mais geral. Assim não existe um experimento físico que possa ser realizado, mesmo com a luz, para determinar o estado de movimento absoluto. Ele simplesmente não existe. Se falarmos de velocidades, falaremos em relação a alguma coisa. Portanto seria estranho se as leis da mecânica variassem para observadores com diferentes velocidades. Por exemplo, um jogador de sinuca em um navio de passageiros navegando no mar calmo teria de ajustar seu

estilo de jogar de acordo com a velocidade do navio. Mas sabemos que no nosso dia-a-dia isso não é necessário. Isso se estende por toda a física, não apenas à mecânica.

Princípio 2: A velocidade da luz no espaço vazio tem o mesmo valor para todos os observadores, ou seja, é uma constante universal não importando o referencial adotado.

Apesar de ser uma onda, a luz não necessita de um meio para se propagar (como mostrou James C. Maxwell em 1861). Se trata de uma velocidade constante para qualquer referencial inercial. Portanto há a invariância da velocidade da luz. Ela é uma constante universal. Agora vamos refletir sobre as consequências desses postulados, o fato da velocidade da luz ser constante e invariável reflete em toda a mecânica?

Atividade 6.1 - Invariabilidade da velocidade da luz

Vimos que para falar de movimento precisamos adotar um referencial e portanto um corpo pode ter diferentes velocidades em diferentes referenciais. Assim para medir a velocidade de um dado objeto, primeiro escolhemos um sistema de referência e depois medimos a velocidade do objeto que se movimentará com respeito ao sistema de referência. Será que isso é sempre válido para toda a natureza?

Compare

- Imagine uma escada rolante que tem velocidade de 20 m/s. Quando você sobe na escada você tem duas opções, fica parado em relação a escada e aguarda chegada do piso superior ou você pode andar pelas escadas ao mesmo tempo que ela funciona. A pergunta é qual você chegaria primeiro ao piso superior? Porque? Se você caminha sobre a escada com velocidade de 1 m/s, qual sua velocidade em relação ao piso do prédio onde se encontra a escada rolante?
- Imagine que você esteja em um carro que se move a 90 km/h em relação ao piso de uma rodovia, ao lado da qual encontra-se um pedestre parado. No exato instante em que você liga o farol do carro, ele está passando pelo pedestre. A velocidade da luz emitida pelo farol, em relação a você, tem um módulo de 300.000 km/s. Entretanto, em relação ao pedestre em repouso à estrada, qual é o módulo da velocidade da luz do farol?

Figura 23 - A velocidade da luz é a mesma em todos os referenciais.

Discutindo

Lembre-se de uma pergunta que fizemos lá trás: “como pareceria um feixe luminoso se você estivesse se deslocando lado a lado com ele?”. De acordo com a física clássica, o feixe estaria em repouso com respeito a este observador. Mas será que alguém pode se deslocar junto com um feixe de luz? De acordo com a Relatividade, não importando quão rápido os observadores possam se mover uns em relação aos outros, cada um deles mediria a rapidez da luz que passa por eles como sendo igual a 300.000 quilômetros por segundo.

Assim de acordo com a física clássica, no segundo exemplo teríamos de somar a velocidade do carro em relação à estrada (90 km/h) com a velocidade da luz em relação ao automóvel, o que resultaria em $300.000 \text{ km/s} + 90 \text{ km/h}$. Mas, de acordo com a Teoria da Relatividade, a velocidade da luz é a mesma para todos os referenciais em movimento uniforme e, assim, o valor da velocidade da luz em relação ao pedestre parado ao lado da estrada também é de 300.000 km/s.

Atividade 6.2 - Simultaneidade

Para entender as consequências da velocidade da luz ser universal, precisamos entender o conceito de evento. Ao passar dos anos, vivenciamos e observamos vários eventos. Por exemplo, seu nascimento, um acontecimento qualquer ou um evento que você confirma presença nas redes sociais.

Etapa 1 - Experimento mental

Imagine que você e um amigo estão em uma estação de trem. Você está parado na plataforma e seu amigo está parado entre dois vagões em repouso. Vocês estão alinhados um de frente para o outro. Ambos têm um relógio de pulso e observam que são 14 horas. Nesse momento duas luzes se acendem, uma na dianteira de um vagão e outra na traseira do outro vagão (veja a Figura 24).

Figura 24 - Situação hipotética você observando um amigo entre dois nos vagões de um trem em repouso, quando ascendem duas luzes nas extremidades dos vagões.

Questões

- 1) Quais as informações necessárias para descrever os eventos das luzes acendendo?
- 2) Podemos dizer que você e seu amigo observam os mesmos eventos?
- 3) Os eventos aconteceram no mesmo tempo, ou seja simultaneamente, para você e seu amigo?

Reflexão

Será que eventos que são simultâneos independem do referencial?

Etapa 2 - Experimento mental

Imagine a mesma situação anterior. Porém agora o trem está se movendo com velocidade constante. Você está parado na plataforma e seu amigo está entre os dois vagões em movimento. Em um determinado instante você e seu amigo ficam alinhados um de frente para o outro, nesse exato momento acendem duas lâmpadas nos vagões, uma na parte dianteira e outra na parte traseira (Figura 25).

Figura 25 - Situação hipotética você observando um amigo entre dois vagões de um trem em movimento uniforme, quando ascendem duas luzes nas extremidades dos vagões.

Questões

- 1) As lâmpadas ascenderam simultaneamente para você? Lembre-se que a velocidade da luz é constante e que você está sentando na mesma distância entre as duas lâmpadas.
- 2) No momento que as luzes se acendem, seu amigo se encontra na mesma distância entre as luzes. Essa distância se mantém até que a luz viaja das lâmpadas até ele?
- 3) As lâmpadas acenderam simultaneamente para seu amigo? *

Dica: A velocidade da luz é constante, independentemente do referencial. *Se uma bolinha fosse arremessada em sua direção e você andasse de skate. Você pegaria a bolinha mais rápida se você andasse no sentido do encontro da bolinha ou se estivesse parado?

Depois de fazer essa atividade, vamos assistir uma simulação para entender o que acontece com a simultaneidade. A situação não é exatamente a mesma, mas muito parecida. Trata-se de um ônibus em movimento, uma pessoa dentro do ônibus e uma pessoa fora do ônibus parada em relação ao solo.

Figura 26 – Simulação Modellus sobre simultaneidade – disponível em:

<http://fisicanalixa.blogspot.com.br/2011/04/conceito-de-simultaneidade-teoria-da.html>

Discutindo

Simultâneo ou não Simultâneo? Na primeira parte ambos observam as luzes acendendo simultaneamente, já que se encontram parado um em relação ao outro. Na segunda parte a pessoa que está parada na plataforma e equidistante das luzes, percebe que elas acendem simultaneamente. Já a pessoa que está entre os vagões em movimento, ao mesmo

tempo em que se desloca para a direita, indo ao encontro da lâmpada da traseira do vagão, ele se afasta da lâmpada da dianteira do outro vagão. Portanto, a segunda lâmpada deve percorrer uma distância maior que a primeira para chegar até ele. Assim a pessoa que está em movimento diz que as lâmpadas não acendem no mesmo instante, ou seja, os eventos não são simultâneos. Mas quem está certo? Os dois! Assim podemos dizer que a primeira consequência da velocidade da luz ser universal é a quebra da simultaneidade:

Dois eventos simultâneos em um referencial inercial não são necessariamente simultâneos em outro referencial inercial que se move em relação ao primeiro.

Nós conseguimos ver isso no dia-a-dia? Não, porque a velocidade da luz é muito alta. Ou seja, os vagões deveriam ter velocidades muito altas. Por exemplo, a velocidade do vagão deveria ser cerca de 60% da velocidade da luz, para que a pessoa visse uma das lâmpadas e depois virasse e visse a segunda lâmpada.

Os fenômenos previstos pela teoria só se tornam relevantes (e detectáveis) para velocidades próximas às da luz no vácuo. Nós vivemos em um mundo onde os corpos mais rápidos (incluindo os celestes) são dotados de velocidades bem menores do que a velocidade da luz, então não observamos tais efeitos. Mas se vivêssemos em um mundo onde corpos se movessem com frequência a velocidades próximas à da luz, tais efeitos não nos pareceriam estranhos, pelo contrário, fariam parte de nosso senso comum.

Atividade 6.3 - Relógio de Luz

Vamos falar um pouco sobre o tempo. Já se passaram mais da metade da aula, meu relógio indica que se passaram 1h e o seu? Se eu pudesse perguntar para outra pessoa localizada em outro país sobre a duração de nossa aula, ela chegaria no mesmo valor que o meu? Será que o tempo passa igual para todo mundo? Para responder tal questão vamos analisar a situação a seguir.

Experimento mental

Imagine uma nave que viaja com velocidade horizontal constante, dentro dela um astronauta dispara um pulso de luz em direção a um espelho fixo no teto, numa distância de 6 metros. Se a distância entre o ponto de partida e o espelho é fixa, então tal arranjo constitui um

relógio de luz (Figura 27), porque as viagens de ida e volta do flash duram intervalos de tempo iguais. O astronauta então mede o tempo em que a luz demora para atingir o espelho.

Figura 27 – Relógio de luz.

Agora imagine que uma pessoa parada no referencial da Terra pudesse observar o acontecimento dentro da nave. Ela veria a situação mostrada na Figura 28 quando a nave deslocasse oito metros.

Figura 28 - Relógio de luz observado por uma pessoa para no referencial da Terra.

Enquanto que o astronauta veria a situação mostrada na Figura 29.

Figura 29 - Relógio de luz observado por uma pessoa dentro da nave.

Questões

1. Qual a trajetória que o astronauta observa do feixe de luz saindo da fonte e atingindo o espelho?
2. Qual a trajetória que a pessoa no referencial da Terra observa do feixe de luz saindo da fonte e atingindo o espelho?
3. Qual a distância percorrida pelo feixe de luz saindo da fonte até atingir o espelho? Para o astronauta e para a pessoa na Terra, as distâncias são iguais?
4. Sabendo que a velocidade da luz é de 3×10^8 m/s, independentemente do referencial, qual o intervalo de tempo entre o momento que o pulso sai da fonte até atingir o espelho? Para o astronauta e para a pessoa na Terra, os intervalos de tempo são iguais?

Atividade 6.4 - Salvador Dalí

Relembre os resultados da uma última atividade e compare com a obra de arte (Figura 30) do Salvador Dalí de 1931, “A persistência da Memória”.

Questões

O que será que a obra de arte tem a ver com Relatividade Especial e com os resultados das medidas de tempo do experimento mental da aula passada?

Figura 30 - Obra do Salvador Dalí: A persistência da Memória (1931) Disponível em:

https://sites.google.com/site/sitedoperon/_/rsrc/1336953600708/manifestacoes-artisticas/dali1.jpg

Atividades

Em um cartaz represente de forma escrita, com desenhos, etc., respostas do seu grupo das questões que já foram emencionas. Agora cole na parede as atividades e vamos discutir os resultados. Hora de compartilhar e ver as conexões dos grupos. Primeiro vamos fazer um rodízio dos grupos, cada grupo ouve a explicação do outro. Depois fechamos todo mundo no grande grupo.

Discutindo

Vimos que para caracterizar um evento, devemos definir o local e o instante de tempo. Entre dois eventos pode haver um intervalo de tempo, por exemplo, o ascender da lâmpada até o momento que a luz chega ao espelho. Na situação descrita anteriormente, no referencial do astronauta, ele descreve a trajetória da luz em linha reta em uma distância de 6 metros. Sabemos que a nave se desloca 8 metros horizontalmente. Assim para a pessoa parada no referencial da Terra a trajetória da luz é vista como uma diagonal (a hipotenusa de um triângulo retângulo). Podemos achar o valor da diagonal (D), usando a relação de um triângulo retângulo pelo Teorema de Pitágoras (veja a Figura 31):

Figura 31. Trajetória da luz vista no referencial da Terra.

Como a velocidade da luz é constante ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) e independente do referencial, os intervalos de tempo decorridos entre os dois eventos serão diferentes, pois a distância medida entre os dois eventos pelo astronauta é menor que a distância medida pelo observador na Terra. Então o intervalo de tempo medido pelo astronauta será menor do que o intervalo de tempo medido na Terra. Ou seja, a distância ao longo da diagonal (que é maior) deve ser dividida por um intervalo de tempo correspondente maior para resultar num valor constante da velocidade da luz. Esse alongamento do tempo é chamado de **dilatação temporal**.

Você consegue ver alguma relação com a obra de Dalí?

Observe a forma dos relógios e as horas marcadas!

Mas sobre o experimento o que podemos concluir é que a medição do tempo depende do referencial. Assim, o tempo não é absoluto, ou seja, medimos intervalos de tempo distintos em referenciais que estejam em movimento relativo entre si. Não há nada de errado com o relógio, ele simplesmente marca o ritmo do tempo de forma diferente.

Quanto mais rápido um relógio se movimenta, mais lentamente ele parece funcionar quando visto por um observador que não se move junto com ele. Ou seja, a pessoa que está parada no referencial da Terra veria as coisas se passarem mais lentamente no referencial do astronauta. Já para o astronauta as coisas aconteceriam normalmente.

Podemos ver isso no filme Interestellar, o tempo para a tripulação passava normalmente dentro da nave em movimento, mas quando esse tempo era medido na Terra já tinham se passado muito mais tempo.

Mas você já viu isso (intervalos de tempos diferentes) no nosso dia-a-dia?

A velocidade (medida no referencial da pessoa em repouso em relação a Terra) que a nave deveria ter para, a partir da qual, percebermos a dilatação temporal é 240.000 km/s. Isso é um valor muito alto, cerca de 80% da velocidade da Luz. Para se ter uma noção, quando você pisca os olhos a luz já deu 7 voltas em torno da Terra.

Isso não parece nos afetar muito por que não é comum trabalharmos a velocidades tão altas, das quais chamamos de velocidades relativísticas. Apenas essas velocidades apresentariam valores significativos para a dilatação temporal.

Mas então para que saber da dilatação temporal? Ela realmente acontece e foi provada ou só fica no nosso imaginário?

A dilatação temporal já foi confirmada através de aceleradores de partículas, onde as partículas possuem velocidades relativísticas, ou seja, próximas da luz. Essas partículas radioativas possuem um tempo de vida muito curto, porém quando estão em velocidades relativísticas o tempo de vida delas aumentam. Isto faz com que tais partículas produzidas nas camadas mais externas da nossa atmosfera sejam detectadas na superfície terrestre. Sem a

dilatação temporal, elas se transformariam em outras partículas no meio do caminho e nunca atingiriam a o solo.

Mas essa dilatação temporal já foi detectada também em movimentos não tão rápidos onde dois aviões a jato voaram ao redor da Terra em sentidos opostos, um no sentido leste e outro no sentido oeste. Eles possuíam relógios atômicos muito precisos, que após a viagem mediram tempos diferentes quando comparados com o relógio atômico que ficara no solo, confirmando assim, mais uma vez, as previsões da Relatividade Especial.

Bloco 3 – Como a gravidade se propaga?

Atividade 7 - Espaço – tempo

Introdução

Tempo para refletir, vamos olhar para o céu noturno...

Figura 32 – Céu noturno.

Uma das coisas que encantam ao olhar o céu são as estrelas. Podemos observar uma constelação, um conjunto de estrelas, e perceber certas formas. Há algumas constelações dos quais já estamos familiarizados com o nome. Principalmente aquelas que estão dentro das constelações zodiacais. Por exemplo, a constelação Escorpião exibida na Figura 33. Se você souber quais estrelas fazem parte dessa constelação, você liga os pontos e consegue ver (ou imaginar) um desenho parecido com o de um escorpião.

Figura 33 - Observação da constelação de escorpião.

Atividade 7.1 - Constelação 3D

Etapa 1

Cada grupo irá receber a foto de uma constelação diferente. Imagine que esta foto foi tirada pelo grupo em uma observação noturna do céu. Invente uma data (dia/mês/ano) e o horário que essa foto foi tirada.

Questões

1. No momento que a foto foi tirada por vocês, tratava-se da imagem que vocês viam NAQUELE MOMENTO do presente, do passado ou do futuro?
2. Quais as dimensões que a foto traz sobre a constelação.

Etapa 2

Cada grupo receberá informações sobre as estrelas que compõem a constelação. Essas informações são sobre a distância das estrelas (em anos-luz) até a Terra, brilho e forma da constelação.

Ano-luz (*símbolo: ly*, do inglês *light-year*) é uma medida de comprimento, com valor aproximado de 10 trilhões de quilômetros. Um ano-luz é a distância que a luz atravessa no vácuo em um ano terrestre.

Com bolinhas de isopor, uma placa de isopor e palitos, monte a configuração tridimensional das constelações, partindo das distâncias fornecidas. Os palitinhos devem ser proporcionais as distâncias.

Figura 34 - Exemplo de uma possível representação de uma constelação.

Questões pós-atividades

Observe a representação da constelação que você fez:

1. Olhando em diferentes ângulos, a composição de estrelas tem o mesmo formato, ou seja, representa o mesmo desenho da constelação originalmente vista da Terra? As estrelas teriam as mesmas distâncias da Terra?
2. Quando olhamos uma foto da constelação vemos todas as estrelas contidas em um plano, agora olhando as estrelas no espaço, estão todas contidas no mesmo plano?
3. Sabendo que a velocidade da luz é constante e que um ano-luz representa a distância que a luz percorre no vácuo em um ano terrestre (9.461.000.000.000 km), o que você pode concluir em relação ao tempo que a luz demora para atravessar o espaço interestelar e chegar até a Terra?
4. Existe alguma relação entre a distância da estrela e o tempo para observar sua luz no referencial da Terra?
5. Quais são as dimensões que estão representadas na atividade?

Atividade 7.2 - Diagrama espaço – tempo

Introdução

Figura 35 - Representação de uma constelação no espaço.

O espaço é onde as coisas acontecem, o tempo é quando as coisas acontecem. Assim podemos calcular onde as coisas estão e quando elas acontecem. Porém quando olhamos para a atividade anterior percebemos que “quando” e “onde” são partes de uma mesma questão.

Quando olhamos para as estrelas, podemos compreender de fato que estamos olhando para trás no tempo, para o passado. As estrelas que estão mais longe estão sendo vistas como eram há mais tempo do que as mais próximas. Isso nos leva a pensar que o espaço e tempo devem estar intimamente ligados. Não falaremos de espaço sem envolver o tempo. As coisas existem no espaço-tempo. A Teoria da Relatividade de Einstein mostra como o espaço e o tempo estão interligados, tanto do ponto de vista físico quanto matemático.

Etapa 1

Quando marcamos um encontro com uma pessoa precisamos dar algumas informações. Imagine que nesse momento você marca um encontro, quais são essas informações que você precisa passar para pessoa te encontrar na escola? Quantas dimensões são necessárias?

*Lembre-se a escola tem diferentes salas, corredores, andares e, dependendo em qual aula você está no momento, você pode mudar de lugar.

Etapa 2

Você conhece *flip book* ou um folioscópio (Figura 36)? Trata-se de uma coleção de imagens organizadas sequencialmente, em geral no formato de um livreto para ser folheado dando impressão de movimento. Método usado para animação de desenhos.

Figura 36 – Folioscópio ou *flip book*.

Observações

1. Organize as imagens para que elas representem uma sequência. Você tem dois grupos de imagens diferentes, que formarão dois folioscópios diferentes.
2. Pilhe as imagens na ordem e faça teste para ver se você consegue ver os movimentos.

Questões

1. Existe alguma diferença entre os folioscópios 1 e 2? São situações diferentes?
2. O que temos de diferente em cada quadro do folioscópio 1?
3. Porque ao passarmos de um quadro para o outro percebemos movimentos?
4. Quando empilhamos cada quadro temos uma forma tridimensional, indique onde e quais dimensões representam.
5. Faça um desenho da trajetória (marque posições com bolinhas) do folioscópio 1 e 2 no diagrama do espaço-tempo (Lembre-se: não conseguimos representar 4 D).

Recorte de imagens

Quando objetos se movem pelo espaço-tempo, tanto o espaço como o tempo sofrem alterações. Como já vimos anteriormente, os relógios em movimento relativístico marcam o tempo mais lentamente. Então o que acontece com o comprimento de um objeto em movimento relativístico visto da Terra?

Se o intervalo de tempo passa mais lentamente, ele tem menor valor, para manter a velocidade constante o que deve acontecer com o comprimento dos objetos?

Para isso vamos pensar em uma viagem interestelar hipotética, digamos que a distância de uma estrela até uma pessoa em repouso em relação à Terra é de 20 anos-luz, ou seja, a luz demoraria 20 anos para chegar na Terra. Já sabemos que, por causa da dilatação temporal, para uma pessoa em uma nave viajando a 80% a velocidade da luz, mediríamos um intervalo de tempo diferente. No caso, como o relógio da nave passa mais devagar, para nós ele marcaria 15 anos, supondo que a nave esteja passando pela posição da Terra.

Questões

1. Por um cálculo simples, calcule a distância que a pessoa na nave deveria perceber, segundo nossa concepção.

Discutindo

Nossa medida de tempo está em anos, a velocidade da luz vale um ano-luz, então acharemos um valor da distância em anos-luz simplesmente multiplicando o tempo pela velocidade (relativa à luz): $15 \times 80\% = 12$ anos-luz.

Podemos concluir que houve a **contração do espaço (ou encurtamento)**. Vale lembrar que essas medidas de contração e dilatação, atribuídas ao referencial em movimento relativístico, são feitas pelo referencial em repouso em relação à Terra. Portanto a pessoa na nave não percebe essas diferenças no seu relógio, a não ser que olhe para a pessoa na Terra. Podemos então concluir que o espaço medido também depende do referencial, o espaço é relativo!

Contração e dilatação são descritas matematicamente pelas transformações de Lorentz, contraem o espaço e atrasam o relógio independente do sistema de referência de quem está se movimentando. Mas esses termos não são novos. Já tínhamos ouvido falar deles quando falávamos do éter e do experimento com o interferômetro de Michelson-Morley. Estas ideias foram propostas pela primeira vez por Fitzgerald e expressada matematicamente por Lorentz, mas eles defendiam que a contração espacial era resultante de uma modificação nas distâncias

entre as moléculas que compõem o corpo, devido à interação com o éter, e que a dilatação temporal era um puro artifício matemático. Para eles, o tempo continuava absoluto, dissociado do espaço.

Einstein deu uma interpretação completamente diferente para a contração espacial e a dilatação temporal: elas eram consequências da universalidade da luz. Para ele, tempo e espaço estavam intimamente interligados. Esta unificação entre espaço e tempo rompeu com séculos de crença num tempo absoluto. Devido às evidências experimentais e, principalmente, a elegância das interpretações de Einstein (e posteriormente de Minkowski, mostrando que o espaço-tempo, juntos, forma uma geometria nova), a interpretação de Lorentz-FitzGerald deixou de ser usada. Vale ressaltar que, após tomar conhecimento da interpretação de Einstein, Lorentz passou imediatamente a defendê-la ardorosamente.

Existe uma excelente animação mostrando as transformações de Lorentz dentro da série Universo Mecânico, da qual selecionamos um pequeno trecho (Figura 38):

Figura 38 – Transformações de Lorentz (Universo Mecânico). Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=WvhXxV1JB8>

A contração espacial faz o comprimento ao longo da direção do movimento diminuir com o aumento da velocidade. Os comprimentos perpendiculares à direção do movimento não se alteram, como mostrado na Figura 39.

Figura 39 - Objeto em diferentes velocidades e a contração espacial.

Sabemos que todas essas consequências vêm do fato da velocidade da luz ser constante. Por fim, a pergunta que fica: alguma coisa pode viajar mais rápido do que a velocidade da luz? Se um objeto, de alguma maneira, fosse capaz de se mover com rapidez igual a c , seu comprimento na direção do movimento seria nulo. Essa é uma das razões porque dizemos que a velocidade da propagação da luz no vácuo é o limite superior para o valor da velocidade de qualquer objeto em movimento. Se existissem velocidades superiores à da luz, o universo seria visto de outra maneira.

Voltemos a pergunta original:

“Desta forma, desde que a luz não pode propagar-se instantaneamente pelo universo, como poderia a gravidade fazê-lo?”

- **Mas afinal, por que Teoria da Relatividade Restrita (ou Especial)?**

A Relatividade Especial estuda apenas referenciais inerciais, ou seja, em movimento relativo uniforme. Esse termo é usado porque ela trata de um caso especial dentro de uma visão mais ampla. Não, ela não deixa de ser válida nesta visão mais ampla. Mas o que trabalhamos até agora foram velocidades constantes e vimos pelo princípio da equivalência que gravidade é aceleração. Assim sabendo que a gravidade é aceleração e que ela não se transmite instantaneamente, se iniciou a busca de uma nova teoria gravitacional.

“Em 1907, (...) eu percebi que todos os fenômenos naturais poderiam ser discutidos em termos da relatividade especial exceto a lei da gravitação. Eu senti um profundo desejo de entender a razão por trás disto (...)”

Einstein em “Subtle is the Lord”, Abraham Pais, p. 179.

Atividade 8 - Teoria da Relatividade Geral

Na concepção de Newton, se o Universo fosse congelado o tempo continuaria a existir. Mas vimos que na relatividade especial o espaço e tempo se unem num espaço-tempo contínuo. Essa ideia foi proposta originalmente por Einstein em 1905. Apesar de inicialmente ter parecido um artifício matemático conveniente, o matemático lituano Hermann Minkowski (1864-1909), que havia sido professor de Einstein, mostrou em 1908 que era possível trabalhar matematicamente o tempo como sendo uma quarta dimensão análoga às três dimensões do espaço para formar uma geometria nova, de quatro dimensões, diferente da geometria euclidiana. As transformações de Lorentz relacionam, desse modo, medições neste espaço-tempo feitas por observadores inerciais diferentes.

No gráfico de três eixos mostrado na Figura 40, as três dimensões (não as usuais dimensões espaciais x , y e z) mostra o movimento espacial apenas no plano horizontal. O eixo vertical mostra a passagem do tempo. Neste gráfico, denominado de diagrama espaço-tempo, representamos a história do movimento de objetos como em qualquer outro gráfico tridimensional. Cada ponto é representado usando três coordenadas: x , y e o tempo. O que não é usual neste gráfico é que mesmo quando alguma coisa aparenta não estar em movimento no plano espacial (xy), o tempo está passando. Assim, o objeto será representado por uma linha

e não por um ponto no diagrama espaço-tempo. Cada evento está associado a um ponto no espaço-tempo. A história de um objeto qualquer pode ser considerada como uma sucessão contínua de eventos. Assim, tal história é representada no espaço-tempo por uma linha contínua, chamada linha de mundo do objeto.

Figura 40 - Diagrama espaço-tempo.

- **Mas devemos recordar que...**

Vimos pelo princípio da equivalência que, lembre-se dos elevadores imaginários, a queda de um objeto na presença de um campo gravitacional é equivalente ao mesmo experimento na ausência de campo gravitacional em que ele acelera para cima com uma aceleração igual ao do campo. Ou que a queda livre na presença de campos gravitacionais é equivalente a um elevador em repouso longe de campos gravitacionais. Em ambos casos, parece que os objetos estão flutuando. **Gravidade é aceleração e aceleração é gravidade:** os efeitos de cada uma são equivalentes e indistinguíveis.

Atividade 8.1 - Espaço-tempo, uma nova geometria, e a geodésica

A geodésica não é usada só na física, mas na matemática, na geografia, nas artes e até mesmo para pilotos de avião. Para entender esse conceito vamos trabalhar com duas geometrias a plana (como uma folha) e a geometria curva, que pode ser esférica (como uma bolinha de isopor) ou pode ser hiperbólica (como uma sela de cavalo). Observe as Figuras 41 e 42.

Figura 41 - Geometrias esféricas, hiperbólicas e planas (euclidiana).

Figura 42 - Geometrias plana e curvas.

Etapa 1

Cada grupo receberá uma folha e uma esfera de isopor, neles terão representados três pontos em lugares diferentes que não são colineares. Com uma caneta trace o caminho mais curto entre todos os pontos. Inicie em um e retorne até ele.

Questões

1. Qual a forma geométrica vista pela união dos três pontos? Na folha e na esfera as formas são iguais? Veja a Figura 42.
2. As linhas dessa forma geométrica são retas em ambos desenhos?

Etapa 2

Para entender se são realmente uma reta, vamos precisar de um vetor. Um vetor pode ser representado por uma flecha (ou seta): Na seta podemos ver uma orientação espacial com sua direção e sentido. Nesse exemplo temos um vetor na direção horizontal e no sentido para a direita.

Tanto na folha como na esfera, pegue seu vetor feito de palito cortado ao meio, a parte pontuda será ponta da flecha (vetor). Escolha uma direção e não modifique-a e, sobre as curvas traçadas, siga de um ponto a outro até retornar ao inicial. Tome o cuidado de manter sempre o mesmo ângulo entre o vetor e a curva em que está percorrendo. Lembre-se: quando encontrar uma nova curva, haverá um novo ângulo, o qual deverá ser mantido. Este

processo chama-se “deslocamento paralelo”. Primeiramente na folha (plano) e posteriormente na esfera. Posteriormente escreva vários vetores seguindo o que você fez com o palito, mas agora marque com a caneta.

Questões

1. Você percorreu as curvas com o vetor sempre paralelo a ele mesmo?
2. Olhe para o vetor inicial e para o final? Eles iniciam e retornam na mesma direção, na folha ou na esfera?

O deslocamento paralelo (do vetor) num triângulo (representando uma curva fechada) num plano e numa esfera possibilita observarmos o efeito da curvatura da esfera. No plano o vetor retorna ao ponto de partida com a mesma orientação inicial, este é o chamado paralelismo absoluto. Já na esfera ele retorna na direção perpendicular, ou seja 90° , assim não existe paralelismo absoluto num espaço curvo. Porém, se o deslocamento paralelo fosse feito num grande círculo na esfera, como exemplo a linha que unem as duas metades da esfera (faça o teste), o vetor retorna ao ponto de partida com a mesma orientação inicial. Assim se você conclui isto, é por que o grande círculo é uma **geodésica**. Em um espaço curvo, a geodésica é a curva mais similar, do ponto de vista geométrico, de uma curva retilínea no espaço euclidiano (plano). Cada linha “reta” que une dois pontos na esfera é uma geodésica e é a curva com o menor comprimento passando por estes pontos.

Figura 43. Limite III - Escher (1959).

A ideia de uma curva geodésica é usada também nas artes. Antes, porém, como podemos representar esses espaços curvados num plano? Estamos habituados com planos cartográficos, que são representações de regiões da Terra. Mas na obra de artistas como Escher, um artista gráfico holandês, há mais que mapas cartográficos. Na obra mostrada na Figura 43, Escher “visualiza” a geometria hiperbólica bidimensional usando o disco de Poincaré (veja [aqui](#) os detalhes sobre este esquema de projeção). Nesta obra, as linhas brancas de cada peixe formam geodésicas. As geodésicas no espaço hiperbólico 2D desempenham o papel de

linhas retas e são os caminhos mais curtos entre dois pontos. No modelo de disco de Poincaré (a nossa visão desse mundo hiperbólico 2D), geodésicas aparecem curvadas. Note também que os objetos perto da borda do disco de Poincaré tornam-se menores. Por fim, talvez a observação mais chocante: esse mundo hiperbólico 2D, que é infinito, parece para nós finito.

Na ausência de forças externas, corpos seguem geodésicas no espaço-tempo curvo. Mas afinal quem produz essa curvatura no espaço-tempo? Na Relatividade Geral, a presença da matéria (e energia), altera as propriedades do espaço-tempo, “deformando-o”, criando caminhos (geodésicas, entre eles) para a matéria passar. A matéria diz ao espaço-tempo como se curvar e o espaço-tempo diz à matéria por onde caminhar. Mesmo no vácuo, o espaço-tempo pode estar também deformado – ou seja, as alterações produzidas pela matéria não estão restritas somente ao local onde a própria matéria está.

O campo gravitacional da Terra é perfeitamente observável por todos nós, temos peso e observamos objetos caindo. Na Relatividade geral, esse campo é interpretado como uma deformação do espaço-tempo produzida pela matéria terrestre. A Figura 44 ilustra a deformação do espaço-tempo ao redor da Terra. Se o espaço-tempo nas proximidades da Terra não fosse significativamente alterado, os corpos não se moveriam em direção ao centro dela.

Figura 44 - Deformação do espaço-tempo produzido pela Terra.

Em 1915, Einstein presenteou o mundo com esta nova realidade – a Teoria da Relatividade Geral. O espaço não é simplesmente uma grade tridimensional onde matéria, luz e energia movem-se. Ele é uma estrutura quadridimensional chamada espaço-tempo cuja forma é curvada e torcida pela presença e movimento de massa e energia. O espaço-tempo é curvado ao redor de qualquer massa, ou seja, presença de planetas, estrelas e galáxias entortam a estrutura do espaço-tempo.

Quando uma massa menor passa próximo de uma massa maior, ela é acelerada em direção à massa maior porque o espaço-tempo é curvado em direção a ela. Por exemplo, o massivo Sol curva o espaço-tempo ao redor dele, a curvatura alcança as bordas do sistema solar e além. Os planetas orbitando o Sol estão seguindo a curvatura do espaço-tempo causada pelo Sol.

Refleta: Pensando dessa forma você consegue descrever órbitas e queda-livres, sem a presença de uma força?

Uma massa menor não é “atraída” pela massa maior por qualquer “força”. A massa menor simplesmente segue a estrutura do espaço-tempo curvado próximo à massa maior. O Sol não atrai os planetas, ele produz uma deformação no espaço-tempo e os planetas, ao se moverem nesse espaço-tempo curvo, são obrigados a seguirem trajetórias especiais (geodésicas). Como estas trajetórias não são retilíneas, temos aceleração e, portanto, gravidade.

Atividade 8.2 - Modelo espaço-tempo

Um modelo usado muito comumente para mostrar alguns fenômenos da curvatura do espaço-tempo é uma estrutura simplificada bidimensional formada por um tecido esticado capaz de curvar e bolinhas de massas diferentes. Vamos usar uma estrutura assim para ver alguns fenômenos. Mas devemos tomar muito cuidado, pois além de ser uma estrutura bidimensional, a deformação dada por uma massa no tecido será devido à própria gravidade terrestre na sala de aula.

Etapa 1 - Massa e gravidade: trajetórias

- 1) Lance uma esfera pequena de aço (rolando sobre o tecido). Observe a sua trajetória.
- 2) Coloque a esfera maior no centro do tecido e repita o procedimento, lance uma esfera menor e olhe sua trajetória.

Questões

1. As trajetórias das bolinhas na parte 1 e 2 são iguais?
2. Você consegue fazer a bolinha dar a volta em torno da esfera? Quais são as três variáveis chaves que você deve controlar para tentar isso?
3. É possível que a bolinha fique numa órbita permanente neste modelo?

Etapa 2 - Luz e gravidade: lentes gravitacionais

Se imaginarmos uma grande massa entre uma estrela e a Terra, nós conseguiríamos observar a estrela?

O que acontece com a luz na presença de campos gravitacionais? Em observações de feixes de luz na superfície da Terra, vemos que a luz se propaga em linha reta. Porém algo do qual precisamos levar em consideração e não estudamos é a famosa relação entre massa e energia encontrada pelo Einstein em sua Teoria da Relatividade (ainda na restrita), $E = mc^2$. Basicamente ela diz que massa e energia (ondas eletromagnéticas, por exemplo) são equivalentes. Assim se a massa percorre a curvatura do espaço-tempo, a luz também percorrerá. Este desvio gravitacional da luz pode formar lentes (gravitacionais), como na ótica usual.

Procedimento

Coloque uma grande massa no centro do tecido elástico para criar uma depressão razoável. Vamos imaginar que uma estrela esteja em um canto e a Terra em outro canto. Role uma bolinha (fóton) de um canto do pano até a Terra (localizada no canto oposto). A estrela e a Terra devem estar exatamente em posições opostas uma da outra. Observe a trajetória do fóton e veja se ele consegue chegar até a Terra.

Figura 45 - Representação do desvio gravitacional da luz.

Questões

1. Pela trajetória, você acha que uma pessoa na Terra, com essa geometria, conseguiria observar a luz da estrela? Por que?
2. Uma pessoa na Terra veria a estrela exatamente onde ela se encontra, ou seja, atrás da massa central? Ou ela observa uma estrela aparente?
3. Quão similar é este fenômeno com o que lentes usuais fazem com a luz?

Etapa 3 - Objetos Maiores = Maior Gravidade?

O que causa mais curvatura do espaço-tempo (gravidade mais forte)? Use bolinhas de mesma forma, mas de massas diferentes, e massas iguais, mas com tamanhos diferentes. Observe as curvaturas criadas.

Questões

1. Qual grandeza determina o quanto o espaço-tempo é curvado ou, similarmente, o poder da força gravitacional: volume ou massa?
2. Compare o nosso Sol com uma estrela de nêutrons. O sol é aproximadamente 100.000 vezes maior que uma estrela de nêutrons, mas a estrela de nêutrons tem uma massa ligeiramente maior. Qual dos dois curvam mais o espaço-tempo?

Discutindo

A Física mundial e o mundo em geral ficaram chocados pelas afirmações de Einstein. Ele afirmou estar “*zufrieden aber ziemlich kaputt*” (“contente, mas esgotado”), depois de seus dez anos (entre 1905 e 1915) de esforço para encontrar uma nova teoria da gravidade. Para muitos, era incompreensível que a força gravitacional que nós conhecíamos tão bem poderia ser descrita

alternativamente como a geometria de um espaço-tempo deformado pela presença de matéria. A única maneira de aceitar a teoria de Einstein de um espaço-tempo curvo era testá-la.

Como em toda ciência, somente experimentos com observações e medidas reais poderiam convencer as pessoas de que Einstein estava certo. Felizmente, algumas maneiras de testar sua teoria se realizaram logo após as revelações de Einstein. De fato, Einstein conduziu a primeira dessas comprovações dias antes da publicação de sua teoria. Foi sobre a não explicada precessão extra na órbita de Mercúrio, um mistério que tinha cinquenta anos de idade.

1) A precessão anômala da órbita de Mercúrio

A órbita elíptica de Mercúrio quando observada estava em um movimento de precessão, ou seja, o Mercúrio não seguia as mesmas trajetórias cada vez que orbitava o sol. A precessão da órbita de Mercúrio não era um fenômeno usual. O que estava confuso sobre a precessão de Mercúrio era que a teoria da Gravidade de Newton não conseguia explicá-la por completo. Quando Simon Newcomb (em torno de 1890) usou as equações de Newton para calcular o efeito que todos os planetas produziam na precessão de Mercúrio, o resultado não conferia com as

observações: faltava 43 segundos de um arco na precessão de Mercúrio (por ano). Alguns astrônomos chegaram a propor que um planeta menor, ainda não identificado, denominado “Vulcano”, estava orbitando dentro de Mercúrio e criando esta precessão anômala. Entretanto, quando em 1915 Einstein aplicou suas equações a este mistério, seus resultados concordaram precisamente com as observações sobre a precessão de Mercúrio e sua Teoria da Relatividade Geral teve sua primeira grande vitória. Os restantes 43 segundos de um arco na precessão de Mercúrio vinham da curvatura do espaço-tempo produzida pelo Sol.

Figura 46 - Precessão anômala da órbita de Mercúrio.

2) Deflexão da luz

Eddington, pôs-se a testar uma das afirmações centrais de Einstein – que toda matéria e energia em movimento no universo deviam seguir as curvas do espaço-tempo. Com a ajuda do astrônomo real Frank Dyson, organizaram expedições simultaneamente na América do Sul (Sobral no Brasil; Einstein foi a Sobral) e no Oeste da África para observar e fotografar um eclipse solar. Bloqueando a luz intensa do Sol, o eclipse solar deu a Eddington a oportunidade de ver estrelas que estavam perto da borda do Sol. De acordo com a teoria,

Figura 48 - Representação da deflexão da luz de uma estrela ao ser observado da Terra.

estas estrelas apareciam em um local ligeiramente deslocado do usual devido a massa do Sol estar curvando o espaço-tempo. Eddington provou isso fotografando a mesma área do céu após o eclipse e comparando os locais das estrelas. Quando o Sol estava entre a Terra e as estrelas distantes, o espaço-tempo tinha flexionado a luz estelar. Isto significa que a estrela aparentava ter se afastado de sua posição original quando o Sol estava lá. Desde então, este experimento tem sido repetido com mais e mais precisão usando raios de luz e ondas de rádio, sempre confirmando a predição de Einstein. Entre 1969 e 1975, vinte medidas foram feitas usando rádio-telescópios para medir a deflexão das ondas de rádio em um quasar distante. Essas medidas concordaram com as predições da teoria da Relatividade Geral com 1 % de erro.

3) Desvio para o vermelho gravitacional

O desvio para o vermelho (*redshift*) gravitacional e o atraso temporal de Shapiro são dois outros aspectos da teoria de Einstein que têm sido verificados muito bem. No primeiro caso, é predito que a luz perde energia quando emerge de um campo gravitacional. Quando a luz perde energia, seu comprimento de onda torna-se maior e a cor da luz desloca-se para o vermelho. Em 1960, os físicos Robert Pound e Glen Redka estavam detectando o desvio para o vermelho de raios gama de alta energia em uma torre de elevador na Universidade de Harvard. Suas medidas concordaram com as predições de Einstein com um erro em torno de 10 %.

O experimento “Gravity Probe A” (GP-A), também conhecido como teste de Vessot-Levine, fez uma medida muito mais acurada do desvio para o vermelho gravitacional. Este experimento

consistiu em um relógio atômico dentro de um foguete que voou em um arco alcançando uma altitude de 10.000 km acima da Terra. Como predito, o relógio corre um pouco mais rápido em um campo gravitacional mais fraco (afastado da Terra) do que na superfície da Terra; um efeito análogo ao desvio para o vermelho gravitacional da luz. Depois de corrigir o fato de que relógios em movimento também correm mais devagar em relação àqueles parados no chão, o resultado do GP-A concordou com a relatividade geral com um erro de 0,01%.

4) O atraso temporal de Shapiro

Irwin Shapiro predisse que ondas de luz (ou qualquer onda eletromagnética) deveriam ser atrasadas quando passassem através de um campo gravitacional. As ondas teriam que seguir as curvas no espaço-tempo, tornando suas trajetórias mais longas do que o esperado. Isto criaria um atraso no tempo de transmissão esperado das ondas eletromagnéticas. Desde 1964, cientistas têm usado radiotelescópios para verificarem esta previsão de Shapiro com um erro de 0,5 %.

- **O que mais precisa ser feito?**

Logo após a publicação da Teoria da Relatividade Geral, Einstein tem passado em todos os testes. Cada experimento tem concordado com suas previsões e confirmado suas afirmações de que o universo não é regido pela “força da gravidade” mas pela curvatura do espaço-tempo. O que mais precisa ser feito?

Figura 48 – Representação do arrastamento do espaço-tempo.

5) Procurando por Ondas Gravitacionais

De acordo com a teoria de Einstein, a força da gravidade não viaja pelo espaço instantaneamente. Ela viaja na velocidade da luz na forma de ondas gravitacionais. Essas ondas gravitacionais deveriam ser detectadas observando um evento gravitacional massivo, como a explosão de uma supernova ou o colapso de uma estrela com um buraco negro. Até o momento, não temos uma comprovação direta da existência destas ondas gravitacionais. **Atualizando:** nós observamos ondas gravitacionais pela primeira vez em 2017.

6) O Arrastamento do Espaço-Tempo

Em 1918, poucos anos depois de Einstein desenvolver sua teoria do espaço-tempo curvo, os físicos austríacos Joseph Lense e Hans Thirring predisseram que uma massa poderia deformar o espaço-tempo de uma segunda maneira. Eles propuseram que a rotação de planetas e estrelas ou qualquer massa em rotação arrasta consigo a estrutura do espaço-tempo ao seu redor, torcendo-a. Em termos mais técnicos, uma massa em rotação produz uma corrente gravitomagnética, parecida com uma corrente elétrica. Enquanto a massa rotaciona, essa corrente distorce o espaço ao redor, bem como qualquer objeto neste espaço. Lense e Thirring predisseram que este efeito seria extremamente pequeno, e tornaria-se ainda menor nas regiões mais afastadas da massa em rotação. Entretanto, este efeito ocorreria ao redor de qualquer massa em rotação, seja um planeta, uma estrela ou uma galáxia.

Atualizando: o arrastamento do espaço-tempo observado em 2010 pelo experimento denominado “*Gravity Probe B*” (GP-B).

APÊNDICE C – Cortes e seleção das cenas do filme Interestelar (Atividade 1)

Atividade 1 - Cenas selecionadas do filme Interestelar

Cena	Intervalo	Cena	Intervalo
1	00:02:46 - 00:03:13	17	01:00:00 - 01:01:22
2	00:03:39 - 00:04:22	18	01:02:27 - 01:06:34
3	00:14:25 - 00:15:14	19	01:09:12 - 01:12:16
4	00:19:08 - 00:20:13	20	01:14:38 - 01:16:18
5	00:20:52 - 00:21:00	21	01:17:29 - 01:17:50
6	00:21:35 - 00:21:47	22	01:26:08 - 01:29:07
7	00:26:52 - 00:28:04	23	01:32:36 - 01:34:29
8	00:29:50 - 00:30:50	24	01:38:49 - 01:39:57
9	00:31:47 - 00:34:46	25	01:41:25 - 01:46:10
10	00:38:49 - 00:38:58	26	01:49:28 - 01:49:42
11	00:39:25 - 00:40:11	27	02:13:03 - 02:13:39
12	00:40:51 - 00:40:57	28	02:14:15 - 02:14:47
13	00:42:12 - 00:42:44	29	02:19:52 - 02:24:10
14	00:45:45 - 00:49:05	30	02:25:25 - 02:34:48
15	00:49:12 - 00:49:24	31	02:35:11 - 02:36:11
16	00:57:12 - 00:59:00	32	02:40:07 - 02:43:55

ANEXO A – Pedido de autorização de filmagem

Pedido de Autorização para Filmagem

Nome do solicitante:

Finalidade:

Coleta de dados para pesquisa de mestrado que versa sobre as Situações Didáticas no ensino da Relatividade Geral: análise do engajamento dos alunos.
--

O projeto é parte integrante do Programa Interunidades de Pós-Graduação em Educação da Universidade de São Paulo que visa à melhoria da qualidade do Ensino.
--

Esclarecemos que todos os registros - escritos, de imagem ou de voz - serão utilizados exclusivamente para fins pedagógicos e de pesquisa em educação, não tendo quaisquer finalidades outras.
--

_____ Ciente da Direção	_____ Assinatura do Solicitante: Data: ____/____/2015.
----------------------------	--

Autorização dos Pais/Responsáveis

Eu _____ autorizo a filmagem das aulas de Física de meu (minha) filho(a)

_____ do ____º Ano _____ do Ensino Médio.

_____ Assinatura do Pai/Mãe ou Responsável

R.G. _____

Data: ____/____/____