

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UFRPE



O JOGO DE TABULEIRO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

Leandro Carlos de Freitas Celestino

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:
Prof^ª. Dr^ª. Sara Cristina Pinto Rodrigues

Recife
Janeiro/2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C392j

Celestino, Leandro Carlos de Freitas

O jogo de tabuleiro como recurso didático no ensino da Teoria da Relatividade no ensino médio / Leandro Carlos de Freitas Celestino. - 2020.

136 f. : il.

Orientadora: Sara Cristina Pinto Rodrigues.

Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS), Recife, 2020.

1. Ensino da Física. 2. Jogos Didático. 3. Teoria da Relatividade. I. Rodrigues, Sara Cristina Pinto, orient. II. Título

CDD 530

O JOGO DE TABULEIRO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DA
TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

Leandro Carlos de Freitas Celestino

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Sara Cristina Pinto Rodrigues

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Presidente: Prof^a. Dr^a. Sara Cristina Pinto
Rodrigues (UFRPE)

Membro Interno: Prof. Dr. Antônio Carlos da Silva
Miranda (UFRPE)

Membro Externo: Prof^a. Dr^a. Ana Paula Teixeira
Bruno Silva (UFRPE/UAEADTEC)

Suplente Interno: Prof. Dr. Adauto José Ferreira de
Souza (UFRPE)

Suplente Externo: Prof. Dr. Pedro Hugo Figueirêdo
(UFRPE)

“Dedico este trabalho a meu pai Aluísio Carlos Celestino (in memoriam), cujo empenho em me educar sempre veio em primeiro lugar.”

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele nada na minha vida seria possível;

A minha família, que sempre me motivaram. Em especial a minha esposa Sara Jacqueline, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos dessa jornada;

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) e a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pela promoção e realização do curso através da gestão do programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física;

A todos os professores, que passaram todo o conhecimento adquirido no decorrer deste curso. Em especial a Prof^a. Dr^a. Sara Cristina Pinto Rodrigues, pela sua valiosa orientação na elaboração deste trabalho;

E aos demais, que de alguma forma contribuíram na elaboração deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

O JOGO DE TABULEIRO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

Leandro Carlos de Freitas Celestino

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Sara Cristina Pinto Rodrigues

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Nas últimas décadas é notório as mudanças na educação brasileira, especialmente desde a Lei de Diretrizes e Base da Educação Nacional (LDB/1996) e, posteriormente, com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e suas diversas alterações, onde proporcionaram muitas reflexões a respeito de metodologias e de recursos a serem utilizados nas salas de aulas. Nesse sentido, a utilização de jogos na escola torna-se uma das estratégias lúdicas para a construção do conhecimento. Entretanto, este trabalho, tem a proposta de oferecer subsídios para os professores de Física, algo que vai além da simples apresentação de roteiros previamente elaborados e descontextualizados, mas sim, de modo a promover, de maneira lúdica e atrativa os conteúdos de Física. Para o presente trabalho, utilizamos um conteúdo que pouco é usado no ensino médio e que faz parte de uns dos assuntos abordados no ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC), a Teoria da Relatividade. Isto foi realizado através de uma proposta de trabalho para o 1º ano do ensino médio, onde utilizamos um jogo de tabuleiro como ferramenta no processo de ensino aprendizagem dos conteúdos dessa teoria. A abordagem aqui apresentada está pautada na compreensão contemporânea da ciência, onde buscamos através da ludicidade tornar o ensino de Física mais atraente e prazeroso contribuindo na construção dos conceitos científicos trata do ensino da Teoria da Relatividade para nossos estudantes.

Palavras chave: Ensino da Física, Jogos Didático, Teoria da Relatividade

ABSTRACT

THE BOARD GAME HOW TEACHING RESOURCE IN THE THEORY OF RELATIVITY IN HIGH SCHOOL

Leandro Carlos de Freitas Celestino

Supervisor(s):

Prof^a. Dr^a. Sara Cristina Pinto Rodrigues

Master's Dissertation submitted to the Professional Postgraduate Program in Physics Teaching of the Universidade Federal Rural de Pernambuco, in the Professional Masters Course in Physics Teaching (MNPEF), as part of the requisites required to obtain a Master's Degree in Physics Teaching.

In the last decades, it is common to have changes in Brazilian education, mainly since the National Education Guidelines and Base Law (LDB / 1996) and, later, with National Curriculum Parameters (PCNs) and their several changes, where provides many reflections about methodologies and resources to be used in classrooms. In this way, the use of games in the school becomes as one of the playful strategies for the construction of knowledge. However, this working, has the proposal to offer subsidies to physics teachers, something that goes beyond the simple presentation of previously elaborated and decontextualized scripts, but yes, this mode to promote, in a playful and attractive way the contents of physics. For the present work, we use content that is little used in high school and that is part of one of the subjects addressed in the teaching of Modern and Contemporary Physics (MCP), the Theory of relativity. This was accomplished through a work proposal to first year of high school, where we use a board game as a tool in process to teaching learning the contents of this theory. The approach presented here is based on contemporary understanding of science, where we seek through playfulness to make the teaching of physics more attractive and enjoyable contributing to the construction of scientific concepts deals with the teaching of the Theory of Relativity for our students.

Keywords: Physics Teaching, Didactic Games, Theory of Relativity.

Lista de Figuras

Figura 3.1 – Um observador em A irá perceber que o bastão C se afasta com uma velocidade \vec{v} e o bastão B com uma velocidade de $2\vec{v}$	12
Figura 3.2 – Um observador no extremo do mastro de um navio joga um objeto no pé do mastro e objeto seguirá uma trajetória retilínea independente da velocidade do navio.....	13
Figura 3.3 – Dois observadores, um no mastro do navio e a outra na margem do rio. Quando estiverem uma de frente para o outro, a pessoa do mastro deixa cair um corpo, em queda livre. Cada observador, em particular verá cair sua pedra ao pé do mastro, porém com trajetórias diferentes, o observador que está no alto do mastro verá a pedra cair em uma trajetória retilínea, no entanto a pessoa que está à margem do rio, verá uma trajetória curva.....	14
Figura 3.4 – Uma partícula com velocidade \vec{u} medida pelo sistema S, onde o sistema S' se movem com velocidade constante \vec{v} em relação ao sistema de referência S na direção x deste último.....	15
Figura 3.5 – Após partirem da mesma origem num certo instante t ,os determinamos as coordenadas da partícula com velocidade \vec{u} .Caixa cúbica com uma pequena cavidade e osciladores em seu interior.....	16
Figura 3.6 – Experiência de Michelson-Morley para comprovar a existência do éter (Serway, 2004)	21
Figura 3.7 – Experiência de pensamento proposta por Einstein, onde o mesmo fenômeno aparece simultâneo para um observador e não aparece para o outro (Wolffe e Mors, 2005).....	25
Figura 3.8 – Um sistema S' se movendo com velocidade \vec{v} em relação ao outro sistema S, onde \vec{u} é a velocidade de um pulso luminoso em S'	26
Figura 3.9 – Uma pessoa dentro de um vagão de um trem que se move com velocidade constante, observando a emissão de um pulso luminoso dentro do próprio vagão.....	30
Figura 3.10 – Uma outra pessoa fora de um trem, que se move com velocidade constante, observando a emissão de um pulso luminoso dentro de um vagão.....	30
Figura 3.11 – Triângulo formado pelo raio de luz visto pela pessoa fora do vagão do trem.....	31
Figura 3.12 – Um trem que se desloca com velocidade constante \vec{v} em relação à plataforma da estação, e dois observadores: um no interior do trem, referencial S', e outro	

na plataforma, referencial S, ambos irão calcular o tamanho da plataforma de acordo com o seu respectivo referencial.....	32
Figura 3.13 – Um passageiro que se move com velocidade \vec{u}' , medida no referencial S', e um observador que está em repouso no referencial S.....	34
Figura 3.14 – Experimento mental de Einstein que mostra a curvatura da luz para um observador fora do referencial dela.....	44
Figura 3.15 – Ilustração do efeito da deflexão da luz previsto pela Teoria da Relatividade. Os elementos do desenho estão fora de escala (ON, 2019)	45
Figura 4.1 – Fachada do Colégio da Polícia Militar.....	48
Figura 4.2 – Laboratório de Física do Colégio da Polícia Militar.....	49
Figura 4.3 – Teste Einstein aplicado em sala de aula.....	51
Figura 4.4 – Arte usada no produto.....	52
Figura 4.5 – Imagem do tabuleiro pronto.....	52
Figura 4.6 – Arte usadas nos dados.....	53
Figura 4.7 – Imagem dos dados prontos.....	53
Figura 4.8 – Imagem dos pinos usados no jogo.....	54
Figura 4.9 – Imagem da busca “Spacecraft Chess”	54
Figura 4.10 – Imagem da busca “Toy Spacecraft”	55
Figura 4.11 – Imagem da pasta que devemos clicar.....	55
Figura 4.12 – Imagem do arquivo aberto no programa Repiter.....	55
Figura 4.13 – Imagem do redimensionamento no programa Repiter.....	56
Figura 4.14 – Imagem do fatiamento e geração do arquivo gcode.....	56
Figura 4.15 – Imagem dos pinos na impressora 3D.....	57
Figura 4.16 – Imagens das cartas, utilizadas no jogo.....	57
Figura 4.17 – Aplicação do pré-teste em sala.....	60
Figura 4.18 – Aplicação do jogo.....	62

Lista de tabelas

Tabela 5.1 – Resultados percentuais da questão 1.....	64
Tabela 5.2 – Resultados percentuais da questão 2.....	64
Tabela 5.3 – Resultados percentuais da questão 3.....	65
Tabela 5.4 – Resultados percentuais da questão 4.....	66
Tabela 5.5 – Resultados percentuais da questão 5.....	66
Tabela 5.6 – Resultados percentuais da questão 1, levando em consideração o grupo GG.....	67
Tabela 5.7 – Resultados percentuais da questão 2, levando em consideração o grupo GG.....	67
Tabela 5.8 – Resultados percentuais da questão 3, levando em consideração o grupo GG.....	68
Tabela 5.9 – Resultados percentuais da questão 4, levando em consideração o grupo GG.....	68
Tabela 5.10 – Resultados percentuais da questão 5, levando em consideração o grupo GG.....	69

Sumário

Capítulo 1	Introdução	01
Capítulo 2	Fundamentação Teórica.....	04
2.1	Significado do Lúdico e a Evolução Histórica do Ensino Lúdico.....	05
2.2	Ensino de Ciências	07
2.3	Jogos na educação	09
Capítulo 3	Fundamentação Física – Teoria da Relatividade.....	12
3.1	Relatividade de Zenão	12
3.2	Relatividade de Galileu	13
3.2.1	Transformação de Galileu	15
3.3	Isaac Newton e o movimento relativo dos corpos.....	17
3.4	Problema da Mecânica Newtoniana com Eletromagnetismo.....	19
3.5	Tentativas para localizar o sistema absoluto	20
3.6	Relatividade Restrita	22
3.7	Consequências da Relatividade Restrita.....	24
3.7.1	Simultaneidade	24
3.7.2	Transformação de Lorentz.....	26
3.7.3	Dilatação do tempo.....	29
3.7.4	Contração do espaço.....	32
3.7.5	Adição de velocidades na Relatividade Restrita.....	33
3.7.6	Paradoxo dos Gêmeos	36
3.8	Dinâmica Relativística	38
3.8.1	Momento Relativístico	38
3.8.2	Energia Relativística.....	39
3.9	Relatividade Geral.....	42
Capítulo 4	Metodologia na Aplicação do Produto.....	47
4.1	Descrição e informações sobre a escola	47
4.2	O perfil do professor de física	49
4.3	O perfil do aluno.....	50
4.4	Descrição da construção do produto.....	50
4.4.1	O tabuleiro	51
4.4.2	Os dados	53
4.4.3	Os pinos	54
4.4.4	As cartas	57
4.5	Regras do jogo.....	58
4.6	Descrição da aplicação do produto.....	59
4.6.1	Preparação da turma	59
4.6.2	Aplicação do jogo.....	61
Capítulo 5	Resultados.....	63
5.1	Dados coletados no pré-teste	63
5.2	Dados coletados no pós-teste	66

Capítulo 6 Considerações finais	71
Referências Bibliográficas	73
Apêndice 1 Imagens das Cartas	77
Apêndice 2 Imagem do Cartão Resposta.....	89
Apêndice 3 Pré Teste / Pós Teste.....	90
Apêndice 4 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	91
Apêndice 3 Produto Educacional	92

Capítulo 1

Introdução

Tradicionalmente, a ciência que a escola traz para os alunos é marcada pela chamada ciência moderna pois costuma-se associar o nascimento da modernidade na ciência, com os trabalhos de Newton no século XVII. Estes trabalhos versaram sobre o fenômeno dos corpos em movimento sob a ação de um campo gravitacional e o estabelecimento do método científico, como parâmetro para delimitar o que era ciência.

Entretanto, após os trabalhos de Planck, Einstein, Schrödinger e outros, a física newtoniana passou a ser conhecida como Física Clássica (FC) e a nova ciência que nascia no início do século XX, ficou conhecida como Física Moderna e Contemporânea (FMC), sendo didaticamente apresentada nos livros como constituída pela Teoria da Relatividade e pela Física Quântica.

Desde então, com o forte progresso tecnológico vivido pela sociedade, muito associado ao desenvolvimento da Física Moderna e Contemporânea, não tardou para que esta ciência fosse contemplada nos livros didáticos. Porém, ainda nos dias de hoje, encontra-se de maneira muito discreta o ensino da FMC nos livros didáticos. Verificamos que na maioria dos livros de Física, que fazem parte do Programa Nacional do Livro de Didático (PNLD), onde cerca de 98% dos conteúdos são relativos à FC, deixando apenas 2% dos conteúdos para contemplar a FMC.

Encontra-se na literatura científica, relativo ao ensino de Física, um crescente número de pesquisa sobre o ensino da Física Moderna e Contemporânea (Ostermann e Moreira, 2000). Existem várias justificativas em defesa da introdução da FMC na educação básica, podemos citar algumas como:

Existe a necessidade do homem em entender o mundo moderno cercado de aparelhos e artefatos tecnológicos, bem como a necessidade de formar cidadãos conscientes e participativos de sua atuação nesse mesmo mundo (Terrazan, 1992). De maneira semelhante, Ostermann e Cavalcanti (1999) defende que a introdução dos tópicos

de FMC, no ensino médio, possibilita os estudantes desenvolverem um entusiasmo mais duradouro pela Ciência, despertando assim a curiosidade dos estudantes.

Desde 1987, Gil Pérez e colaboradores defendiam que a FMC na educação básica poderia contribuir para os alunos adquirirem uma visão da Física articulada com uma perspectiva mais coerente acerca da natureza do trabalho científico, principalmente superando a visão linear e cumulativa incorporada a ele.

Valadares e Moreira (1998) também concordam que é imprescindível que o estudante do ensino médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, uma vez que ela atua diretamente em sua vida e pode definir seu futuro profissional. Nesse sentido, destacamos a importância da introdução de conceitos básicos de FMC e, em especial, a necessidade de fazer uma ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano.

Com o intuito de que uma Física mais atual faça parte da formação cultural dos estudantes, Carvalho e Zanetic (2004) defendem que a introdução da FMC na educação básica deve-se ocorrer em articulação com a arte. Dentre outras possibilidades, o ensino de Física articulado com várias áreas do conhecimento favoreceria uma educação “problematizadora” e em sintonia com questões sociais mais amplas (Zanetic, 2005), o que permitiria a formação de cidadão crítico.

Várias são as sugestões para se introduzir o ensino de tópicos da FMC na educação básica, porém é também consenso que ainda se necessita de muitas pesquisas em relação aos processos de abordagens e enfoques desse tema, para serem desenvolvidos pelos professores em suas atividades. Como proposta para esse trabalho utilizamos a metodologia do ensino lúdico da ciência, onde esse pode ser utilizado como promotor da aprendizagem nas práticas escolares, possibilitando a aproximação dos alunos ao conhecimento científico. Neste sentido, ele se constitui em um importante recurso para o professor desenvolver a habilidade de resolução de problemas, favorecer a apropriação de conceitos, e atender as características da adolescência (Campos, 2003).

Nesse sentido, a luz de um ensino lúdico, este trabalho traz a proposta de um jogo didático com o objetivo de promover a construção do conhecimento de forma efetiva e contextualizada, para alunos do ensino médio. Entre os conteúdos investigados na FMC, propomos o estudo da Teoria de Relatividade (TR), onde buscamos identificar as concepções dos estudantes em relação a TR e analisar suas ideias após a realização do jogo.

Dessa forma, apresentaremos no Capítulo 2 uma breve explanação sobre o ensino lúdico na ciência e consonância com as principais teorias de ensino-aprendizagem, como forma de subsidiar teoricamente a discursão dos vários aspectos envolvidos na aplicação de jogos na sala de aula.

O Capítulo 3, falaremos um pouco sobre a Teoria da Relatividade, buscando uma linguagem clara e acessiva, tanto para os professores quanto para os estudantes, a fim de mostrar que é possível o ensino da TR para os alunos de 1º do ensino médio.

No Capítulo 4, iremos mostrar como foi construído e aplicado o produto proposto nesse trabalho, para que os professores tenham uma orientação mínima caso queira trabalhar com este material.

No Capítulo 5, apresentaremos, discutiremos e avaliaremos os resultados de toda a atividade proposta, através da aplicação de questionários que serão propostos antes e depois da aplicação do produto.

E por fim no Capítulo 6, faremos nossas considerações finais.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Ao ingressarem no Ensino Médio é natural que jovens venham estimulados pela curiosidade e motivados na busca de novos conceitos científicos. Entre os diversos campos do saber, a expectativa é muito grande com relação ao estudo da Física. Porém, na maioria das vezes e em pouco tempo, o contato em sala de aula com esse novo componente curricular torna-se uma vivência pouco prazerosa e, muitas vezes, chega a constituir-se numa experiência frustrante que o estudante carrega consigo por toda a vida.

Por isso, para muitas pessoas, após cursarem o Ensino Médio, falar em Física significa avivar recordações desagradáveis. Tanto isso é verdade, que não se esquece facilmente um professor de Física e, geralmente, por motivos pouco agradáveis, sendo até muito comum ouvirmos expressões como “Física é coisa para louco!”, sendo essas as imagens reveladoras que os estudantes formam da Física na escola.

Segundo Bonardiman e Nonenmacher, pág. 196, (2007), a razão que leva as pessoas, de um modo geral, a não gostarem da Física

“É a qualidade dos conteúdos desenvolvidos em sala de aula, a ênfase excessiva na FC e o quase total esquecimento da FMC, o enfoque demasiado na chamada Física Matematizada em detrimento de uma Física mais conceitual, o distanciamento entre o formalismo escolar e o cotidiano dos alunos, a falta de contextualização dos conteúdos desenvolvidos com as questões tecnológicas, a fragmentação dos conteúdos e a forma linear como são desenvolvidos em sala de aula”.

Além disso, a abordagem também não explora as questões interdisciplinares, dando ainda pouca valorização para as atividades experimentais e para os saberes que o aluno traz sobre a própria visão da ciência, ou da Física mais especificamente falando. Tudo ainda fortalece a concepção para o aluno de que a física é um produto acabado.

Dessa maneira, alguns dos fatores apontados como possíveis causas do fraco desempenho do aluno, da falta de motivação para o estudo da Física e, possivelmente, da alegada aversão por essa disciplina, são vistos assim como frutos de um ensino tradicional. Os professores não fazem uso de uma nova abordagem de ensino e lecionam de uma forma muito semelhante ao que aprenderam.

Em nosso entender, no âmbito daquilo que pode ser feito no sentido de contribuir para que as pessoas construam uma imagem mais positiva da Física, para que os estudantes tenham maior interesse pelo estudo desta ciência e, assim, melhorem seu aprendizado, seria um novo olhar que os professores de física deveriam ter em relação a suas metodologias, promovendo uma mudança na maneira de como a disciplina é ensinada nas escolas.

Nessa ótica, recorrer ao ensino da Física de forma lúdica se traduz como um aliado para o ensino e para o processo de aprendizagem, mas precisamos entender o que vem a ser esse “Ensino Lúdico da Ciência”? Qual a sua eficácia no processo ensino aprendizagem da ciência? E como deve ser usado? Seja qual for o profissional da educação, para entender a ludicidade e a sua manifestação na educação e na vida dos estudantes, primeiramente precisa entender o seu significado e seu progresso na histórica da humanidade.

2.1 Significado do Lúdico e a Evolução Histórica do Ensino Lúdico

A palavra lúdico se origina do latim *ludus* que significa brincar (De Souza Massa, 2015). De maneira igual e acrescentando Huizinga (2008, p. 41), “*ludus* abrange os jogos infantis, a recreação, as competições, as representações litúrgicas e teatrais e os jogos de azar”. Assim observa-se, portanto, que o seu significado extrapola as ações da criança, incluindo também as ações dos adultos e os efeitos resultantes dessas ações. Mas sobre a ótica de que o lúdico é a brincadeira, é o jogo, é a diversão que pautamos esse trabalho.

O brincar sempre esteve presente em todas as épocas da humanidade, mantendo-se até os dias atuais.

O jogar sempre foi uma atividade inerente do ser humano. O filósofo Platão (427-348 a.C.), em sua época, afirmava a importância de “aprender brincando”. Aristóteles, discípulo de Platão, sugere que a educação das crianças deveria ocorrer por meio de jogos que simulassem atividades dos adultos. Os romanos utilizavam os jogos físicos para formar cidadãos e soldados respeitadores e aptos (Cunha,2012).

No período medieval, a influência e o poder da Igreja passam a considerar as manifestações lúdicas perigosas, algumas até mesmo proibidas. Só o descanso aos domingos era permitido para que o indivíduo se preparasse para mais uma semana de trabalho e também para as atividades religiosas. Como lazer, eram aceitados apenas nos festivais religiosos, pois a vida terrena do indivíduo é apenas uma preparação para a vida

eterna (Brougère, 2003; Lopes, 2004). É sob esse olhar que as manifestações lúdicas, como sinônimo de diversão, se apresentam como algo fútil e não sério, associado as festas como por exemplo, o carnaval, no qual as pessoas precisam se esconder atrás de uma fantasia para viver o prazer. Segundo, De Souza Massa (2015), esse é o momento histórico em que a dissociação entre o sério e o não sério se formaliza e irá refletir até os dias de hoje quando falamos de ludicidade.

Durante o Renascimento, os humanistas perceberam o valor educativo dos jogos que, nesse período, deixaram de ser objeto de reprovação e passaram a ser parte da vida dos jovens e adultos, seja na forma de diversão, seja como elemento educativo. (Cunha,2015).

No século XVIII e início do século XIX, Cunha (2015) cita que educadores como o suíço Johann Heinrich Pestalozzi, afirmavam que: “o jogo é um fator decisivo e enriquecedor do senso de responsabilidade e estímulo à cooperação da criança. A escola é a verdadeira sociedade onde, para se educarem, as crianças precisam trabalhar esses aspectos.” Com esse mesmo pensamento o alemão Friedrich Froebel, acrescentava que o jogo e o brinquedo são como grandes instrumentos para o autoconhecimento para exercer a liberdade de expressão.

Na contemporaneidade, com o surgimento de muitas inovações pedagógicas os jogos passam a ter espaço educacional. Para Piaget apud Soares (2004), os jogos contribuem para o desenvolvimento intelectual das crianças e torna-se cada vez mais significativo à medida que elas se desenvolvem, uma vez que, o jogo e/ou brincadeiras, podem ser usados para apresentar obstáculos e desafios a serem vencidos, causando o processo de assimilação e acomodação.

Segundo Vygotsky (1991) o jogo é um instrumento importante para esse desenvolvimento, sendo que os jogos e suas regras criam nos alunos uma Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), proporcionando desafios e estímulos para a busca de conquistas mais avançadas, ensinando também a separar objetos e significados. Para ele, também é importante a interdependência dos sujeitos durante o jogo, pois jogar é um processo social.

A ideia desse resumo histórico da aplicação dos jogos na educação é simplesmente trazer elementos que nos leve a entender o jogo como parte integrante da história da humanidade e a partir daí compreender a importância do lúdico no contexto

da educação atual, mas é importante entender um pouco como se dá o processo de ensino de ciências.

2.2 Ensino de Ciências

A abordagem tradicional da educação em ciência é centrada nos conteúdos, onde o ensino é verbalista e resolvido quase exclusivamente na exposição de conteúdos científicos pelo professor. Tal ensino, ainda muito presente nos dias de hoje nas nossas escolas, desenvolve-se na base de determinados pressupostos psicopedagógicos e epistemológicos (Almeida, 2001). De maneira igual e acrescentando Magalhães (2002) diz que o ensino tradicional forma indivíduos mais aptos a aceitar regras e valores do que questionar e criar novas regras e novos valores.

Segundo Almeida (1996) o ensino de ciência tradicional, apresenta um pressuposto de que a aprendizagem ocorre através de um processo de acumulação de informações, cuja compreensão é normalmente avaliada em termos da sua capacidade de memorização, ou seja, da reprodução das informações e aplicação das regras definidas. E em termos epistemológicos, utiliza a ideia de que os conhecimentos são exteriores a nós e de que para os aprender é suficiente utilizar os órgãos dos sentidos, nomeadamente ouvir e ver com atenção. Levando a considerar os conhecimentos aprendidos, baseados em "fatos objetivos", que são apresentados como resultados empíricos que traduzem a realidade tal como ela é, de maneira que a ciência fique formulada em forma de enunciados e frases recitadas, levando os conceitos, leis e teorias não serem associados às atividades intelectuais inerentes à sua produção e aplicação.

No ensino tradicional de ciência, aprender é, portanto, acumular dados sobre a realidade. Entretanto neste ensino não se reconhece ao aluno um papel construtivo na aquisição de conhecimento, mas, sobretudo, é visto como um depositário de conhecimento (Almeida, 2001).

Subjacente ao ensino tradicional está uma epistemologia empirista da Ciência, denominada de indutivismo ingênuo, que considera o conhecimento científico como uma verdade provada ou descoberta que tem concepções e sentimentos que aplica os métodos científicos para chegar às generalizações cientificamente válidas. Essas concepções de Ciência acabam por conferir um peso excessivo às observações, bloqueando as ideias prévias e imaginação dos estudantes. Além disso, representa o método científico como um algoritmo infalível, capaz de produzir conhecimento cientificamente provado,

começando com observações objetivas e neutras, formulações de hipóteses, comprovação experimental e generalização das conclusões (Borges, 2002).

De forma inovadora as citadas anteriormente, esta perspectiva construtivista da aprendizagem, onde o processo de conhecimento dos indivíduos, no nosso caso o conhecimento científico, se faz por processos de transformação e reconstrução dos dados em função dos seus próprios sistemas cognitivos, dotados de uma lógica e coerência interna específica e regidos por condições motivacionais, atitudinais e compreensivas diferentes, originando assim uma interação do sujeito com a sua realidade social (Ruiz, 1991). Deste modo, o processo de construção pessoal da realidade implica o sujeito na sua totalidade: envolve não só elementos cognitivos, mas outros de aspecto afetivo como interesses, emoções, autoconceito, ansiedade, solidariedade e de aspecto moral como valores sociais, autonomia intelectual e pensamento crítico, que podem funcionar como ativadores do desenvolvimento prático de planos de ação ou até mesmo plano para a sociedade.

Pode assim dizer-se que, de acordo com estas perspectivas, tanto o conhecimento científico, como o conhecimento pessoal, é uma construção humana, pessoal e social onde o principal processo de atividade destaca os aspectos sócio cultural e atividades comunicativas da natureza do sujeito com o objeto para adquirir conhecimento, ou seja, acontece uma interação entre sujeito e o objeto do seu conhecimento (Almeida, 2001).

Porém no ensino construtivista de ciência, o aluno é considerado o principal responsável pela sua própria aprendizagem, ele é mais do que um receptor ou processador passivo de informação, esta concepção de ensino vê o aluno envolvido ativamente na construção de significados, confrontando o seu conhecimento anterior com novas situações e, se for caso disso, reconstruindo ou construindo as suas estruturas de conhecimento. Entretanto a forma como uma situação é construída depende das características da situação, como dos esquemas interpretativos usados e dos contextos de aprendizagem criados (Almeida, 2001).

Desta forma a aprendizagem pressupõe que o ensino deve ser uma forma de articulação feita pelo aluno entre o novo e o que se sabe e, portanto, a sua própria estratégia de seus saberes e aprendizagem deve ser de forma mobilizadora.

Em resumo, aquilo que se convencionou chamar de processos científicos (por exemplo, observar, classificar, interpretar) não pode ser utilizado isoladamente ou de uma forma neutra, na medida em que se fundamentam os conhecimentos e experiências

prévias dos alunos. Com isso a aprendizagem da ciência não pode, assim, ser caracterizada nem pela aprendizagem dos conteúdos, nem pela aprendizagem dos processos, mas sim pela sua interação dinâmica em situações de aprendizagem que possibilitem aos alunos mobilizar os seus saberes conceituais e processuais no desenvolvimento de processos investigativos e, deste modo, construir e reconstruir continuamente e progressivamente a sua compreensão do mundo (Almeida, 2001). Podendo assim tornar-se cidadãos mais críticos que possam propor ou julgar intervenções sociais e ter participação ativa nos processos políticos e sociais de suas comunidades.

Para o Ensino Médio, foram criadas fundamentações legais como PCN, PCN+, Orientações Curriculares Para o Ensino Médio entre outros. Porém, a luz dos os Parâmetros Curriculares Nacionais, onde afirma que é importante a utilização de diferentes materiais e recursos didáticos em sala de aula, assim como, a mudança no processo ensino aprendizagem, no viés dessas mudanças os PCNs sugerem, diferentes estratégias que os professores poderiam adotar, como por exemplo: experimentação, jogos, debates, simulações entre outros (BRASIL, 2002).

Sabemos que é característico no ensino de Física a experimentação, porém alguns conteúdos estudados na Física, como a Teoria da Relatividade, estão longe de serem apresentados de forma experimental, restando apenas a busca de outro recurso alternativo de ensino, que tem sido estudado, de forma crescente nos últimos anos, como por exemplo as atividades lúdicas na forma de jogos didáticos.

2.3 Jogos na educação

Jogando pode-se aprender. Aprender pode ser uma brincadeira. Aprender brincando, não pode ser a mesma coisa que brincar de aprender. É nessas premissas que procuramos pautar esse trabalho, pois acreditamos que o ato de brincar é uma forma significativa de aprendizagem.

Devemos ter em mente que um jogo pode ser usado como uma forma de aprendizagem quando mantém um equilíbrio entre as duas funções: lúdico e educativa. Para Kishimoto (1998), a função lúdica está relacionada ao caráter de diversão e prazer que o jogo proporciona e a função educativa se refere à apreensão do conhecimento, habilidades e saberes.

Em suma, um jogo é usado para poder facilitar a aprendizagem quando ele desenvolve habilidades cognitivas importantes para o processo de ensino e aprendizagem

como: resolução de problemas, percepção, criatividade, raciocínio rápido, dentre outras habilidades. Por outro lado, se o jogo não possuir objetivos pedagógicos explícitos e sim ênfase ao entretenimento, então os caracterizamos meramente de entretenimento.

Ao entender que o conhecimento é resultante de trocas, da interação entre sujeito e meio, o jogo passa a ser uma ferramenta importante nos processos de desenvolvimento e aprendizagem. Mas, é preciso compreender esses processos a fim de que permitam possibilitar que elas desafiem o raciocínio de cada sujeito. Isto supõe que o aluno, visto como um sujeito ativo e participativo, precisa, a cada momento, escolher estratégias, raciocínios, reconhecer erros para que possa construir novas estratégias até alcançar as metas e objetivos propostos com o jogo (Pereira, 2008).

É importante também, para entendermos melhor sobre jogos no processo ensino aprendizagem, diferenciar e definir dois termos: jogo educativo e jogo didático. Segundo Cunha, 2012:

“O primeiro envolve ações ativas e dinâmicas, permitindo amplas ações na esfera corporal, cognitiva, afetiva e social do estudante, ações essas orientadas pelo professor, podendo ocorrer em diversos locais. O segundo é aquele que está diretamente relacionado ao ensino de conceitos e/ou conteúdos, organizado com regras e atividades programadas e que mantém um equilíbrio entre a função lúdica e a função educativa do jogo, sendo, em geral, realizado na sala de aula ou no laboratório.” (Cunha, 2012)

A luz de um entendimento melhor podemos exemplificar os jogos mais conhecidos, tais como: Dama, Trilha, Gamão, Xadrez, Banco Imobiliário que são jogos educativos, pois a partir deles, as crianças desenvolvem habilidades como concentração, organização, manipulação, cooperação, etc.

Jogos didáticos, além das características acima citadas para os educativos, devem também possibilitar a aprendizagem de algum conceito, como é o caso de nosso produto que será apresentado adiante.

Logo podemos perceber que um jogo didático carrega em sua natureza aspectos gerais, é educativo, pois envolve ações lúdicas, cognitivas, sociais etc, mas nem sempre um jogo que é educativo pode ser considerado um jogo didático. No entanto, isso, não significa que um é menos importante que o outro.

Na educação, o jogo se torna importante quando a diversão se torna aprendizagem e experiências do cotidiano, conforme Lopes (2001):

“É muito mais eficiente aprender por meio de jogos e, isso é válido para todas as idades, desde o maternal até a fase adulta. O jogo em si, possui componentes do cotidiano e o envolvimento desperta o interesse do aprendiz, que se torna sujeito ativo do processo, e a confecção dos

próprios jogos é ainda muito mais emocionante do que apenas jogar.”
(Lopes, 2001).

Para Pereira (2008), o jogo deve proporcionar um ambiente crítico, fazendo com que o aluno se sensibilize para a construção de seu conhecimento com oportunidades prazerosas para o desenvolvimento de suas cognições.

Os jogos didáticos são elaborados para divertir os alunos e potencializar a aprendizagem de conceitos, conteúdos e habilidades embutidas no jogo. Um jogo desse tipo, pode propiciar ao aluno um ambiente de aprendizagem rico e complexo. Quando o jogo se torna um espaço para pensar, os jovens encontram oportunidades de desenvolvimento porque nele:

[...] organiza e pratica as regras, elabora estratégias e cria procedimentos a fim de vencer as situações-problema desencadeadas pelo contexto lúdico. Aspectos afetivo-sociais e morais estão implícitos nos jogos, pelo fato de exigir relações de reciprocidade, cooperação, respeito mútuo. Relações espaço-temporais e causais estão presentes na medida em que a criança coordena e estabelece relações entre suas jogadas e a do adversário (Brenelli, 2001, p.178).

Em resumo podemos dizer que um jogo por si só é apenas mera diversão, mas existem jogos educativos que possuem características que segundo Schaeffer (2006) “[...] possibilitam aos indivíduos trabalharem com a regularidade, o limite, o respeito e a disciplina, por meio de ações necessariamente subordinadas a regra. Todos esses aspectos se fazem importantes para a vida do indivíduo em sociedade”. E indo um pouco além, temos os jogos didáticos onde tem as características de um jogo educativo e no qual é acrescida a função didática, ou seja, a aprendizagem de conteúdos e/ou conceitos.

O presente produto tem a forma de um jogo didático, que tem função relacionada à aprendizagem de conceitos, não sendo uma atividade totalmente livre e descomprometida, mas uma atividade intencional e orientada pelo professor.

Assim, esse trabalho considerado como um jogo didático, constituído de regras, orientado pelo professor, que mantém um equilíbrio entre a função educativa e a função lúdica, podendo ser utilizado como recurso didático.

No próximo capítulo iremos expor os conceitos referentes a Teoria da Relatividade.

Capítulo 3

Fundamentação Física – Teoria da Relatividade

É notório que pessoas como Galileu, Newton, Maxwell e Einstein foram grandes gênios que contribuíram muito para o desenvolvimento da ciência. Mas, suas teorias não foram formuladas de forma independente, nem muito menos foram descobertas de uma hora para outra, muito pelo contrário, elas passaram e ainda continuam passando por constantes evoluções, onde cada nova teoria que surge tem contribuições das teorias anteriores.

Nesse capítulo iniciaremos com uma breve descrição da evolução da teoria da relatividade do movimento até a elaboração da Teoria da Relatividade proposta por Albert Einstein.

3.1 Relatividade de Zenão

O primeiro a se preocupar com o movimento relativo dos corpos foi o filósofo grego Zenão de Eleia (500 – 450 a.C.) com o paradoxo do estádio, também conhecido como paradoxo dos bastões em movimento. Zenão considerava que se dois bastões (A e B) se deslocassem com velocidades iguais em intensidades, porém em sentidos opostos a um terceiro bastão C, mantido fixo entre eles, um observador em A (ou em B) mediria a velocidade do bastão oposto B (ou A) como duas vezes maior do que a medida por C. Logo Zenão concluiu que este tipo de movimento seria impossível (Bassalo,1997). Assim a dificuldade de entender o movimento relativo permaneceu por muitos séculos.

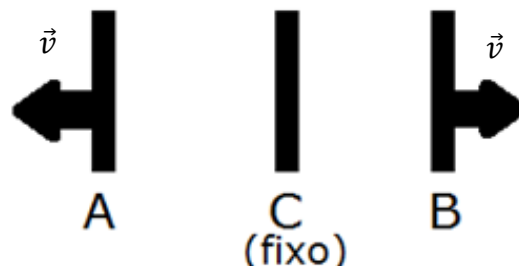


Figura 3.1 Um observador em A irá perceber que o bastão C se afasta com uma velocidade \vec{v} e o bastão B com uma velocidade de $2\vec{v}$ (Elaborada pelo autor, 2020).

3.2 Relatividade de Galileu

Por intermédio dos italianos, Giordano Bruno (1548-1600) e Galileu Galilei (1564-1642), no século XVII, foi retomado a discussão sobre o movimento relativo. Giordano Bruno propôs a experiência que poderia ser realizada a bordo de um navio em movimento uniforme, onde uma pessoa no extremo do mastro de um navio, joga um corpo no pé desse mastro, tal corpo seguiria uma trajetória reta na direção do alvo escolhido (pé do mastro), qualquer que fosse a velocidade do navio. (Figura 3.2) (Bassalo,1997).

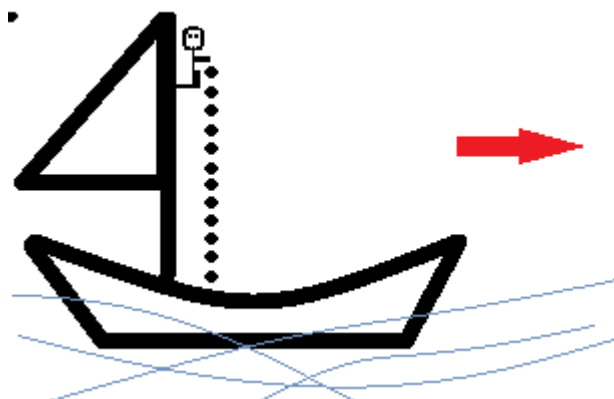


Figura 3.2 Um observador no extremo do mastro de um navio joga um objeto no pé do mastro e objeto seguirá uma trajetória retilínea independente da velocidade do navio (Elaborada pelo autor, 2020).

Um observador que se encontra em movimento uniforme lança um objeto do alto de um mastro do navio com velocidade \vec{v} uniforme, verá uma trajetória vertical para o objeto.

Convicto de que um navio em movimento uniforme arrasta qualquer corpo com ele na mesma velocidade, Giordano propôs outra experiência variante da anterior. Sejam agora duas pessoas, uma no navio e a outra na margem do rio. Então, quando estiverem uma de frente da outra, a pessoa do mastro deixa cair um corpo, em queda livre. Cada pessoa, em particular verá cair sua pedra ao pé do mastro, porém com trajetórias diferentes, o observador que está no alto do mastro verá a pedra cair em uma trajetória retilínea, no entanto a pessoa que está à margem do rio, verá uma trajetória curva (Figura 3.3) (Martins, 1986).

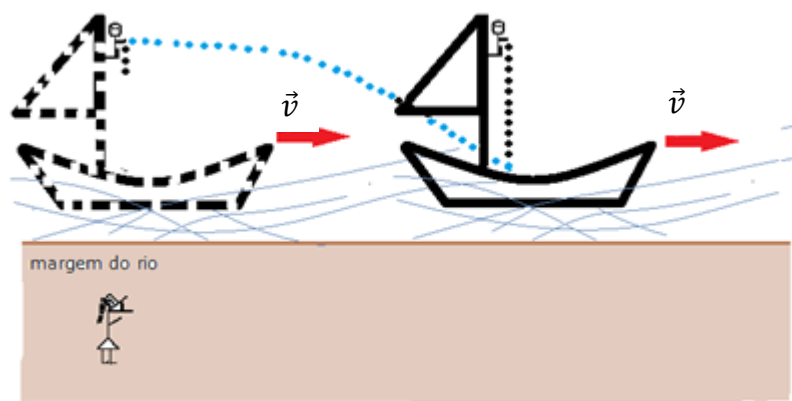


Figura 3.3 Dois observadores, um no mastro do navio e a outra na margem do rio. Quando estiverem uma de frente para o outro, a pessoa do mastro deixa cair um corpo, em queda livre. Cada observador, em particular verá cair sua pedra ao pé do mastro, porém com trajetórias diferentes, o observador que está no alto do mastro verá a pedra cair em uma trajetória retilínea, no entanto a pessoa que está à margem do rio, verá uma trajetória curva (Elaborada pelo autor, 2020).

Galileu também fez uso do mesmo tipo de argumento de Giordano Bruno em seu livro *Diálogo sobre os dois Principais Sistemas do Mundo: o Ptolomaico e o Coperniano*, publicado em 1623 (Bassolo, 1996). Em toda discussão de seu livro ele utiliza o princípio da relatividade do movimento ou também conhecido como princípio da independência dos movimentos, para demonstrar que a trajetória e velocidades são dependentes do referencial de onde se observa o movimento.

Logo, a dificuldade de entender o movimento relativo dos corpos permaneceu até os séculos XVI e XVII com Giordano Bruno e Galileu Galilei que deram respostas ao paradoxo dos corpos em movimento relativos descrito por Zenão, utilizando relações matemáticas e não apenas respostas filosóficas como a dadas por seus contemporâneos, como por exemplo, Aristóteles (Wolffe e Mors, 2005).

Em suma os princípios de Giordano- Galileu, hoje conhecido como Princípio de Galileu ou Lei de Composição de Velocidade de Galileu, tem o seguinte significado físico: a velocidade de um objeto, em relação a um corpo em repouso, é igual a velocidade que ele tem em relação a um outro corpo que se desloca com velocidade constante em relação ao corpo parado, acrescida desta última velocidade. (Bassalo, 1997). Esta é hoje chamada de relatividade galileana, termo utilizado por Einstein. (Wolffe e Mors, 2005)

3.2.1 Transformações de Galileu

Para que possamos ver de maneira mais clara a relatividade galileana, primeiro devemos verificar as transformações das coordenadas de um evento físico, através das Transformações de Galileu.

Para descrevermos o movimento dos corpos quantitativamente é necessário adotarmos um referencial, onde podemos considerar que existem três eixos imaginários que se cruzem ortogonalmente, além do referencial, o observador necessita de um relógio para descrever quantitativamente o movimento.

Vale lembrar que a relatividade galileana, trata da descrição de movimento em relação a um referencial em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme (não acelerado) em relação a outro referencial de mesma natureza, ou seja, um referencial inercial (Resnick, 1923).

Consideremos um evento físico, por exemplo, uma partícula em movimento com velocidade \vec{u} , medida pelo sistema de referencia S, ocorrendo no sistema de referência S' que se move com velocidade \vec{v} constante em relação ao sistema de referência S e na direção do eixo x deste último, conforme mostra a Figura 3.4.

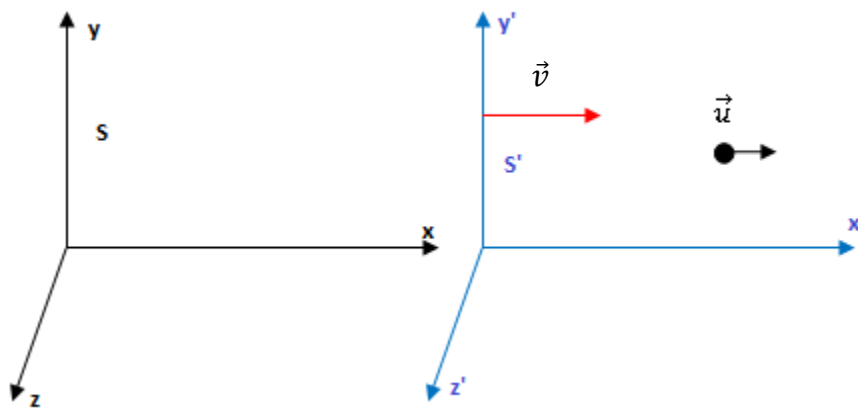


Figura 3.4 Uma partícula com velocidade \vec{u} medida pelo sistema S, onde o sistema S' se movem com velocidade constante \vec{v} em relação ao sistema de referência S na direção x deste último (Elaborada pelo autor, 2020).

Agora consideremos que inicialmente, para $t = 0$, as origens dos sistemas coincidam. No decorrer de certo tempo t , queremos determinar as coordenadas da posição

da partícula que se move com a velocidade \vec{u} , em termos das coordenadas (x,y,z) para o referencial S e (x',y',z') para o referencial S'. A relação entre as essas coordenadas é percebida conforme a Figura 3.5

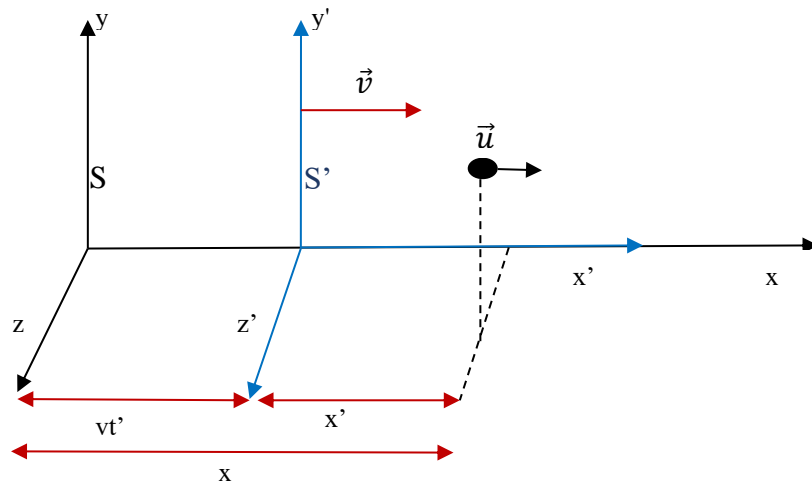


Figura 3.5 Após partirem da mesma origem num certo instante t , os determinamos as coordenadas da partícula com velocidade \vec{u} (Elaborada pelo autor, 2020).

Desta forma podemos escrever a relação entre as coordenadas do referencial S com o de S', ou seja, os valores medidos por um observador em S como sendo:

$$x = x' + vt' , \quad (3.1)$$

$$y = y' , \quad (3.2)$$

$$z = z' , \quad (3.3)$$

$$t = t' . \quad (3.4)$$

Essas equações são conhecidas como Transformações de Galileu de coordenadas (Resnick, 1923). Assim conhecendo as posições em um referencial inercial podemos calcular as posições correspondentes em qualquer outro referencial inercial.

Nesse ponto vale à pena ressaltar que os relógios estão sincronizados, ou seja, $t = t'$, isto porque para Galileu o tempo é absoluto, independe do referencial, o que chamamos de invariância do tempo. Tal invariância está de acordo com o nosso senso comum, pois se não fosse assim, teríamos que sincronizar nossos relógios constantemente (Tipler, 2006).

Segundo as transformações galileanas, uma consequência direta da invariância do tempo é a invariância do comprimento, assim pelas transformações de Galileu concluímos

que o comprimento como também o tempo são absolutos, independentes do referencial em que for medido (Resnick, 1923).

3.3 Isaac Newton e o movimento relativo dos corpos

Em 1687, Isaac Newton publicou a sua maior obra, Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural (*Principia Mathematica Philosophiæ Naturalis*), contendo uma exposição da Cinemática de Galileu e do movimento dos planetas descrito por Kepler, nesse trabalho podemos considerar que a essência está no que hoje denominamos as três Leis de Newton, que representa um importante progresso para relatividade do movimento dos corpos, essas leis são invariantes, isto é, conservam a mesma forma em qualquer referencial que esteja se movendo com velocidade constante em relação a um referencial inercial (Tipler, 2006).

Do ponto de vista das Leis de Newton, não existe uma posição especial ou privilegiada para medir o espaço e o tempo, como também não existe nenhuma velocidade especial ou privilegiada para o referencial inercial usado nas medidas. Todos os referenciais são equivalentes.

Assim se um observador em um referencial inercial S verifica que uma partícula percorre uma distância dx em um intervalo de tempo dt , ou seja, uma determina a velocidade da partícula como sendo u_x , precisamos somente efetuar as diferenciações em relação ao tempo das transformações Galileanas:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt} + v. \quad (3.5)$$

Como $t = t'$, a operação $\frac{d}{dt}$ é idêntica à operação $\frac{d}{dt'}$, tal que $\frac{d}{dt} = \frac{d}{dt'}$, portanto:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt'} + v. \quad (3.6)$$

Como $\frac{dx}{dt} = u_x$ é a velocidade da partícula medida em S na direção x e $\frac{dx'}{dt'} = u'_x$ a velocidade da partícula medida em S' na direção x , tal que teremos o teorema clássico da adição de velocidades:

$$u_x = u'_x + v, \quad (3.7)$$

$$u_y = u'_y, \quad (3.8)$$

$$u_z = u'_z. \quad (3.9)$$

Evidentemente, no caso mais geral, vetorial, a velocidade relativa do sistema, tem componentes ao longo dos três eixos, logo teremos:

$$\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v}, \quad (3.10)$$

A lei da adição de velocidades de Galileu, também conhecida como Teorema Clássico da Adição de velocidades, é usada em observações diárias e é consistente com nossa noção intuitiva de tempo e de espaço (Serway,2004).

Para obter a transformação da aceleração, diferenciamos as equações (3.7), (3.8) e (3.9), logo temos:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(u_x) &= \frac{d}{dt'}(u'_x + v), \\ \frac{du_x}{dt} &= \frac{du'_x}{dt'}, \end{aligned} \quad (3.11)$$

sendo v constante.

$$\frac{du_y}{dt} = \frac{du'_y}{dt'}, \quad (3.12)$$

$$\frac{du_z}{dt} = \frac{du'_z}{dt'}. \quad (3.13)$$

Assim $a_x = a'_x$, $a_y = a'_y$ e $a_z = a'_z$, portanto $\vec{a} = \vec{a}'$. Logo o produto $m\vec{a}$ será o mesmo para todos os observadores inerciais. Se $\vec{F} = m\vec{a}$ for tomada como sendo a definição de força, então, obviamente cada observador obtém a mesma medida de força, ou seja, $\vec{F} = m\vec{a} = m\vec{a}' = \vec{F}'$. Esse resultado pode ser generalizado das seguintes formas:

- a) *Todo referencial que esteja se movendo com velocidade constante em relação a um referencial inercial também é um referencial inercial.*
- b) *As leis de Newton são invariantes em todos os referenciais inerciais.*

Logo a primeira afirmativa traduz que S' é um referencial inercial tão legítimo quanto S, nenhum dos dois ocupa uma posição especial ou privilegiada, a segunda afirmação é o que chamamos de *Princípio da Relatividade Newtoniana* (Tipler, 2006).

A respeito da invariância das leis de Newton, estas são aplicáveis em fenômenos como gravitação, forças de Van der Waals e forças eletrostáticas, mas não são aplicáveis a Eletrodinâmica, porque a interação entre as cargas elétricas em movimento, isto é, entre cargas e Campos Magnéticos, envolve forças cuja direções não estão ao longo das linhas ligando as cargas, observa-se também que essas forças não só dependem das posições das cargas, mas, também das suas velocidades (Resnick, 1923).

3.4 Problema da Mecânica Newtoniana com Eletromagnetismo

Por volta de 1860, James Clerk Maxwell sintetizou as leis empíricas da eletricidade e do magnetismo e descreveu de forma resumida em um sistema de quatro equações matemáticas na qual conseguiu unificar as leis de Coulomb, Oersted, Ampère, Biot e Savart, Faraday e Lenz, atualmente conhecidas como as quatro equações de Maxwell (Tipler, 2006). Abaixo apresentamos as quatro equações em sua forma diferencial, com suas respectivas constantes, a permissividade no vácuo ϵ_0 e a permeabilidade magnética no vácuo μ_0 :

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \quad (3.14)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad (3.15)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (3.16)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}. \quad (3.17)$$

A equação (3.14) é definida como sendo o produto escalar entre o operador vetorial ∇ (nabla) e o campo elétrico \vec{E} e pode ser lida como o divergente do Campo Elétrico. Essa equação também é conhecida como Lei de Gauss para a Eletrostática, onde nos informa quanto ao fluxo de Campo Elétrico sob uma superfície fechada (superfície gaussiana) que envolve uma densidade de carga ρ , isto é, se o divergente do Campo Elétrico é não nulo, então, deve existir campos elétricos na região resultantes de carga total não nula.

Na equação (3.15) é a Lei de Gauss para o Magnetismo, esta é equivalente à primeira, mas aplicável aos campos magnéticos e exprime a ideia da não existência de monopolos magnéticos (não existe polo sul ou polo norte isolado). De acordo com ela, as linhas de campo magnético (\vec{B}) são contínuas, ao contrário das linhas de força de um Campo Elétrico que se originam em cargas elétricas positivas e terminam em cargas elétricas negativas.

Na equação (3.16) é conhecida como Lei de Faraday, esta mostra que a variação temporal do Campo Magnético gera um Campo Elétrico.

Por fim a equação (3.17) é conhecida por Lei de Ampère- Maxwell, que mostra que a variação do Campo Elétrico no tempo ou uma corrente elétrica, produz um campo magnético, onde temos \vec{J} sendo o vetor densidade de corrente.

As equações de Maxwell previam a existência de Ondas Eletromagnéticas cuja a velocidade era dada por $c = \frac{1}{\sqrt{(\mu_0 \epsilon_0)}} \cong 3 \times 10^8 m/s$, o que está em excelente concordância com o valor experimental da velocidade da luz, calculado por Fizeau em 1849. Além das propriedades de polarização das Ondas Eletromagnéticas e as propriedades de polarização da luz, tudo constituía um forte indicio de que a luz era uma onda eletromagnética e, portanto, se propagava com velocidade c (Tipler, 2006). Essas hipóteses foram mais tarde comprovadas experimentalmente por Heinrich Hertz (1857-1894). Ele mostrou que as ondas eletromagnéticas, como rádio e microondas, apresentam propriedades iguais às da luz, tais como reflexão, refração, interferência e difração.

Apesar dos avanços proporcionados pela teoria de Maxwell de conseguiu unir três ramos do conhecimento científico da época em uma única teoria: Eletricidade, Magnetismo e Óptica, surgiram algumas incompatibilidades. A primeira seria o fato de que se a luz é uma onda, necessita de um meio para se propagar pois, segundo o conhecimento da época, todas as ondas necessitavam de um meio para sua propagação (Tipler, 2006). O segundo problema era que, se aplicadas as transformadas de Galileu nas equações de onda obtidas por Maxwell, verifica-se que estas não são invariantes, ou seja, obtêm-se para referenciais diferentes, efeitos eletromagnéticos diferentes. Isto significa que as transformadas de Galileu e o eletromagnetismo não são compatíveis (Resnick, 1923).

3.5 Tentativas para localizar o sistema absoluto

No século XIX foi postulado que todas as ondas eletromagnéticas se propagavam em um meio e esse recebeu o nome de éter, que estaria presente em todo o universo, incluindo o interior da matéria. Essa suposta substância apresentava estranhas propriedades, entre outras, de ser extremamente rígida para suportar as altas tensões mecânicas causadas pela propagação das ondas eletromagnéticas e ao mesmo tempo não oferecia resistência alguma ao movimento dos planetas, que poderia ser descrito com grande precisão pelas leis de Newton (Tipler, 2006). O éter também definiria um sistema de referência absoluto no qual a velocidade da luz é c (Serway, 2004).

A mais famosa experiência projetada para mostrar a presença do éter foi realizada em 1887 por Albert Abraham Michelson (1852-1931) e Edward Williams Morley (1838-1923), onde o objetivo era determinar a velocidade da Terra em relação ao éter, e a

ferramenta experimental utilizada foi um aparelho chamado de interferômetro (Serway, 2004).

A ideia básica era a determinação da diferença entre dois tempos de percurso de dois pulsos luminosos. No primeiro, a direção e o sentido de propagação coincidiam com a direção e sentido da velocidade orbital da Terra em relação a um meio no qual esta (e os demais corpos celestes) estaria imersa, o “éter”. No segundo, tratava-se do mesmo percurso, percorrido pela luz desta vez de modo perpendicular à direção do movimento da Terra, essa diferença, entre esses tempos resultava, previa-se, das diferentes velocidades nos dois casos (Catelli e Vicenzi, 2004).

Na figura 3.6 um raio de luz, partindo da fonte F, incide sobre um divisor de feixe (espelho semitransparente) M_0 . Parte da luz atravessa em direção ao espelho M_2 , e a outra parte é refletida para cima em direção ao espelho M_1 . Os dois espelhos estão à mesma distância do divisor de feixe. Após ser refletida por esses espelhos, a luz retorna ao divisor de feixe, e parte de cada feixe de luz propaga-se em direção ao observador O.

Um braço do interferômetro M_0M_2 (Braço 2), ver na figura 3.6, está alinhado ao longo da direção da velocidade \vec{v} da Terra através do espaço e, portanto, através do éter. O “vento do éter” soprando na direção oposta ao movimento da Terra, deve ter como medida no sistema de referência da Terra: $c - v$ quando a luz se aproxima do espelho M_2 , e $c + v$ após a reflexão.

No outro braço, M_0M_1 (Braço 1), é perpendicular ao vento do éter. Para que a luz viaje nessa direção, a velocidade \vec{c} deve estar direcionada para cima de forma que a adição vetorial de \vec{c} e \vec{v} forneça uma resultante como sendo $\sqrt{c^2 + v^2}$.

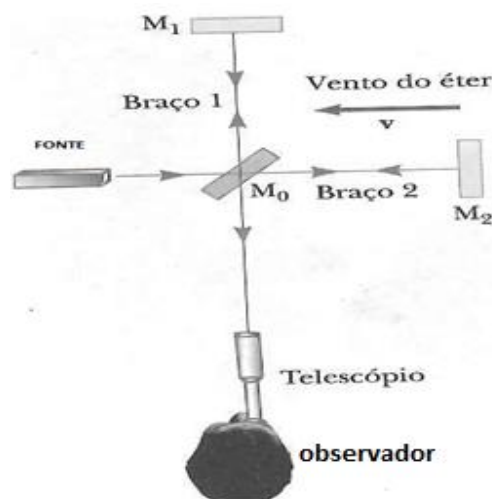


Figura 3.6 Experiência de Michelson-Morley para comprovar a existência do éter (Serway, 2004).

Assim, como os feixes de luz viajam em direções opostas com velocidades escalares diferentes, os que saíram do separador chegarão de volta a ele em instantes diferentes (Serway, 2004), ou seja, se os dois feixes percorressem a mesma distância com a mesma velocidade eles se juntariam em O com a mesma fase. Se, no entanto, a velocidade de um dos feixes fosse diferente do outro, os dois feixes chegariam em O com uma diferença de fase. O efeito seria observado na forma de uma figura de interferência com franjas claras e escuras (Tipler, 2006).

Contudo, as medidas não mostraram nenhuma diferença de tempo. A experiência de Michelson-Morley foi repetida por outros pesquisadores sob várias condições e em locais diferentes, mas o resultado foram sempre os mesmos: “Nunca foi observada nenhuma diferença de tempo no valor que se previa” (Serway, 2004).

A hipótese do éter não apenas foi contrariada pelo resultado negativo da experiência de Michelson-Morley, mas também significou que era impossível medir a velocidade absoluta da Terra em relação ao referencial do éter. Assim do ponto de vista teórico, isso significou que era impossível encontrar um referencial absoluto. (Serway, 2004).

Com base nesse e em outros experimentos devemos concluir que as equações de Maxwell estão corretas e que a velocidade das ondas eletromagnéticas é a mesma em todos os referenciais inerciais, independentemente do movimento da fonte em relação ao observador. Logo está invariância da velocidade da luz para referenciais inerciais significa que deve existir algum princípio de relatividade que se aplique tanto à mecânica quanto ao eletromagnetismo (Tipler, 2006). Evidentemente, este não pode ser o princípio de Galileu, uma vez que este exige que a velocidade da luz dependesse de um movimento relativo da fonte e do observador (Resnick, 1923).

Assim podemos concluímos que as leis fundamentais da mecânica, que eram compatíveis com as transformações galileanas, devem ser substituídas para que permaneçam invariantes ao serem submetidas à nova transformação.

3.6 Relatividade Restrita

Em 1905, Albert Einstein, físico alemão, publicou uma série artigos, dentre os quais um sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento onde deu origem à Teoria da

Relatividade Restrita (Tipler,2006). Einstein em 1905, no artigo *Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*, escreveu:

"... que os fenômenos da eletrodinâmica, bem como de mecânica não possuem propriedades correspondentes à ideia de repouso absoluto. ... as mesmas leis da eletrodinâmica e da óptica serão válidas para todos os quadros de referência para que as equações da mecânica sejam válidas. ...levantar essa hipótese (a sentido de que serão seguidamente chamado Princípio da Relatividade) ao status de um postulado, e também introduzir um outro postulado, que é apenas aparentemente irreconciliável com a antiga, ou seja, que a luz está sempre se propagando no espaço vazio com uma velocidade definida c , que é independente do estado de movimento do corpo emissor. Estes dois postulados são suficientes para a realização de uma teoria simples e consistente da eletrodinâmica dos corpos em movimento com base na teoria de Maxwell para corpos estacionários" (Título original: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Publicado em: Annalen der Physik 17 (1905): 891–921. Traduzido por Oliver F. Piattella.)

Assim podemos expressar estas suposições de Einstein como dois postulados:

1. *As leis da Física são as mesmas em todos os sistemas de referência inerciais. Não existe nenhum sistema de referência inercial preferencial.*
2. *A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c em todos os referenciais inerciais, independentemente da velocidade do observador ou da velocidade da fonte emitindo a luz.*

Os postulados acima descritos, formam a base da Teoria da Relatividade Restrita, que é a teoria da relatividade aplicada a observadores em movimento com velocidade constante. O primeiro conhecido como Princípio da Relatividade, afirma que todas as leis da física (abrange a mecânica, eletromagnetismo, óptica, termodinâmica, etc) são as mesmas em todos os sistemas de referência que se movem com velocidade constante um em relação ao outro (Serway, 2004). Esse postulado é uma generalização completa do Princípio da Relatividade Newtoniana que se refere apenas às leis da mecânica, ou seja, Einstein ampliou a ideia para incluir todas as leis da física (Halliday, 2007).

Vale lembrar que o primeiro postulado, não afirma que os valores medidos das grandezas físicas são os mesmos para todos os observadores inerciais, mas afirma que as leis da física, que expressam a relações entre os valores experimentais de duas ou mais grandezas físicas, é que devem ser as mesmas. (Halliday, 2007). Portanto não existe nenhum sistema de referência inercial privilegiado e é impossível detectar o movimento absoluto (Tipler, 2006).

O segundo, chamado de A Constância da Velocidade da Luz, diz que existe na natureza uma velocidade limite c , que é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais, onde a luz se propaga com esta velocidade limite (Halliday, 2007). Ao afirmar que a luz se movimenta sempre com velocidade c , em relação a todos os observadores inerciais, o segundo postulado também elimina o problema de medir a velocidade da Terra em relação ao éter, uma vez que ele é desconsiderado (Serway, 2004).

3.7 Consequências da Relatividade Restrita

Quando passamos a aceitar os dois postulados de relatividade restrita, temos de alterar nossas noções de senso comum de espaço e tempo, pois eles contrariam muito as situações comumente apresentadas.

3.7.1 Simultaneidade

A mecânica newtoniana possui a premissa básica de que existe uma escala de tempo universal que é a mesma para todos os observadores, onde, Newton afirma: “O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa”. Assim, Newton e seus seguidores simplesmente aceitavam a simultaneidade como um fato e não uma consequência de onde está sendo feita a medida (Serway, 2004).

Einstein no desenvolver de sua teoria, abandona a noção de que dois eventos que aparecem simultâneos para um observador também aparece simultâneos para todos os observadores. De acordo com ele, uma medida de tempo depende do sistema de referência no qual a medida é feita (Serway, 2004). Logo para Einstein, na relatividade restrita, o conceito de tempo deixa de ser absoluto e passa a ser relativo, onde eventos simultâneos, em um determinado referencial inercial, não serão necessariamente simultâneos em outro referencial inercial, assim a noção de simultaneidade também é relativa.

Einstein propôs a seguinte experiência de pensamento para ilustrar esse ponto (simultaneidade).

Consideremos o trem que se desloca com velocidade relativística constante \vec{V} (velocidade próxima à da luz), com um observador S' que se encontra exatamente no meio do trem, e outro observador S que se encontra no solo, e que estão se cruzando exatamente quando os raios ocorrem (Figura 3.7). Consideremos que dois raios atinjam

as posições frontal e traseira do trem, do ponto de vista do observador S, ao mesmo tempo. Os eventos serão simultâneos para o observador S, pois as duas frentes de onda de luz irão atingi-lo ao mesmo tempo. Para o observador que está no referencial no interior do trem (referencial S') os eventos não serão simultâneos, ou seja, ele verá primeiro a frente de onda da frente, pois é neste sentido que se desloca o trem, e depois verá a frente de onda de trás. Isto está de acordo com o princípio da invariância da velocidade da luz, ou seja, para qualquer que seja o observador inercial, ambos os pulsos se movem com a mesma rapidez c . Logo, S' é levado a concluir que o raio produzido na frente do trem foi emitido primeiro do que o outro, ou seja, para este observador os raios não são simultâneos (Wolffe e Mors, 2005).

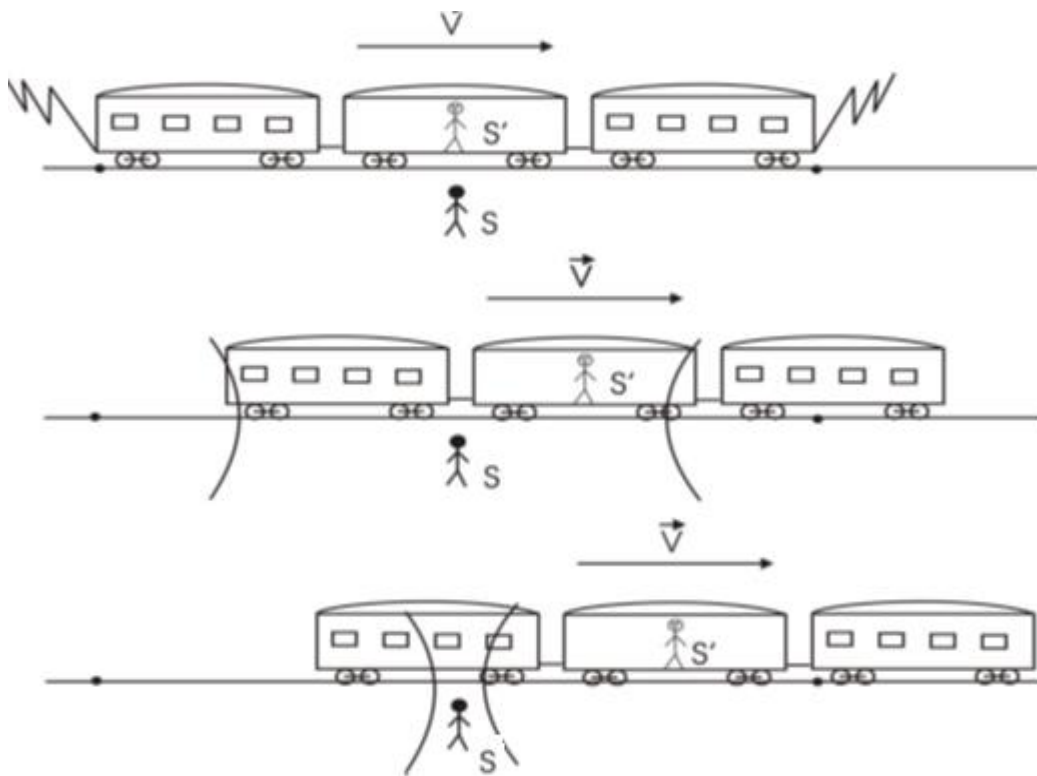


Figura 3.7 Experiência de pensamento proposta por Einstein, onde o mesmo fenômeno aparece simultâneo para um observador e não aparece para o outro (Wolffe e Mors, 2005).

Essa experiência de pensamento demonstra claramente que os dois eventos, que parecem ser simultâneos para o observador S, não parecem para o observador S'. Em suma, dois eventos separados espacialmente e observados como simultâneos em um sistema de referência não são observados como simultâneos em um segundo referencial movendo-se em relação ao primeiro. Isto é, a simultaneidade é uma noção relativa e não absoluta, ou seja, ela depende do estado de movimento do observador (Serway, 2004).

3.7.2 Transformação de Lorentz

Uma importante consequência dos postulados de Einstein são as relações gerais entre as coordenadas do espaço-tempo x, y, z e t de um evento em um sistema de referencia S e as coordenadas x', y', z' e t' do mesmo evento em um referencial S' que esteja se movendo com velocidade constante em relação a S (Tipler, 2006). Com o objetivo de simplificar os cálculos, consideremos o caso especial no qual as origens dos dois sistemas de coordenadas coincidem no $t = t' = 0$ e S' está se movendo em relação a S com velocidade \vec{v} ao longo do eixo x e com os eixos y e z paralelos aos eixos y' e z' , e \vec{u} é a velocidade de propagação de um pulso luminoso medida em S , conforme a figura 3.8.

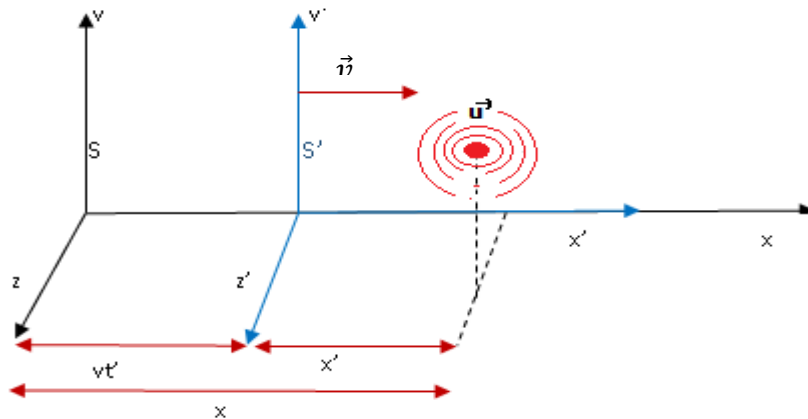


Figura 3.8 Um sistema S' se movendo com velocidade \vec{v} em relação ao outro sistema S , onde \vec{u} é a velocidade de um pulso luminoso em S' (Elaborada pelo autor, 2020).

Como vimos na seção 3.3.1 nas transformações de Galileu (equações 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4), temos: $x = x' + vt'$, $y = y'$, $z = z'$ e $t = t'$, que representam os valores das coordenadas medidos por um observador em S em termos dos valores medidos por um observador em S' , Assim, teremos a transformação inversa que são dadas por:

$$x' = x - vt, \quad (3.18)$$

$$y = y', \quad (3.19)$$

$$z = z', \quad (3.20)$$

$$t = t', \quad (3.21)$$

As equações acima, simplesmente refletem o fato de que as velocidades relativas dos referenciais são diferentes para os dois observadores. Nesse momento iremos ignorar

as equações dos eixos y e z, que são $y = y'$ e $z = z'$ devido a situação especial descrita no início desta seção.

A transformação clássica das velocidades são dadas pela equação 3.10, ou seja, $\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v}$, onde teremos $u'_x = c$ logo $u_x = c + v$, assim vemos que tal situação não é compatível com os postulados de Einstein da relatividade restrita, uma vez que, a luz deveria se propagar ao longo do eixo x com uma velocidade c no referencial S. Portanto as equações de transformações de Galileu devem ser modificadas para que se tornem compatíveis com os postulados de Einstein, de uma forma que se reduzam às equações clássicas para $v \ll c$, pois estas estão de acordo com os resultados experimentais.

Então para obter as transformações de Galileu modificada, vamos supor que a equação correta para x seja dada por:

$$x = \gamma(x' + vt'), \quad (3.22)$$

onde γ é uma constante que pode depender de v e de c , mas não das coordenadas, como também, para que a equação 3.22 possa ser reduzida para às equações clássicas, mas para isso é preciso que $\gamma \rightarrow 1$ quando $\frac{v}{c} \rightarrow 0$.

O mesmo pensamento devemos utilizar para a transformação inversa (equação 3.15), pois ela deve ser semelhante, a não ser pelo sinal da velocidade. logo:

$$x' = \gamma(x - vt). \quad (3.23)$$

Como afirmamos que o sistema de referencia S' se move ao longo do eixo x, coincidindo o eixos x com x', com os eixos y e z paralelos aos eixos y' e z', como mostrado na Fig 3.8, não há movimentos relativos entre os referenciais nas direções y e z e portanto $y'=y$ e $z'=z$. Por outro lado, a introdução da constante γ , de valor ainda não determinado, modifica a transformação clássica dos tempos, $t = t'$. Para verificar a veracidade de tal afirmação basta substituir a equação 3.23 na 3.22, assim teremos:

$$\begin{aligned} x &= \gamma(x\gamma - vt\gamma + vt'), \\ x &= x\gamma^2 - vt\gamma^2 + vt'\gamma, \\ vt'\gamma &= x - x\gamma^2 + vt\gamma^2, \\ t'\gamma &= \frac{x}{v} - \frac{x}{v}\gamma^2 + \frac{vt\gamma^2}{v}, \\ t'\gamma &= \frac{x}{v}(1 - \gamma^2) + t\gamma^2, \end{aligned}$$

dividindo tudo por γ^2 , temos:

$$\frac{t'}{\gamma} = \frac{x}{v\gamma^2}(1 - \gamma^2) + t,$$

logo:

$$t' = \gamma \left[t + (1 - \gamma^2) \frac{x}{v\gamma^2} \right]. \quad (3.24)$$

Devido a constância da luz, para o observador em S' o pulso luminoso percorre uma distância,

$$x' = ct', \quad (3.25)$$

e para um observador em S teremos:

$$x = ct \quad (3.26).$$

Fazendo agora, a multiplicação da equação 3.22 pela 3.23, temos:

$$xx' = \gamma^2 (xx' + vxt' - vx't - v^2 tt'). \quad (3.27)$$

Substituindo as equações 3.25 e 3.26 em 3.27, teremos:

$$ctct' = \gamma^2 (ctct' + ctvt' - ctvt' - v^2 tt')$$

$$c^2 tt' = \gamma^2 (ctct' - v^2 tt')$$

$$c^2 tt' = \gamma^2 (c^2 tt' - v^2 tt')$$

$$c^2 tt' = \gamma^2 tt' (c^2 - v^2)$$

$$c^2 = \gamma^2 (c^2 - v^2)$$

$$\gamma^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2},$$

dividindo o numerador e o denominador por c^2 temos:

$$\gamma^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3.28)$$

Para determinar a transformação de t em t' temos que substituir as equações 3.25 e 3.26 em qualquer uma das equações 3.22 ou 3.23, faremos aqui a substituição da equação 3.25 na equação 3.22, temos:

$$ct = \gamma(x' + vt'),$$

$$t = \gamma \left(\frac{x'}{c} + \frac{v}{c} t' \right). \quad (3.29)$$

Como de 3.25 podemos fazer: $t' = \frac{x'}{c}$ e substituir em 3.29, logo:

$$t = \gamma \left(t' + \frac{v}{c^2} x' \right). \quad (3.30)$$

Dá mesma forma podemos calcular t' e obteremos:

$$t' = \gamma \left(t - \frac{v}{c^2} x \right). \quad (3.31)$$

O valor de γ mostrado na equação 3.28 é denominado de fator de Lorentz, uma vez que, as equações 3.22, 3.23, 3.30 e 3.31, foram propostas por Hendrik Antoon Lorentz

em 1904, que de maneira empírica quando investigava o fato de que as equações de Maxwell não são invariantes em relação às transformações de Galileu, por isso as elas são chamadas de transformações de Lorentz (Tipler, 2006).

Apesar dessas transformações se encaixarem muito bem nas equações do eletromagnetismo para mudança de referencial, Lorentz não tinha uma interpretação física para elas. Em sua teoria, ele tentou explicar todos os fenômenos físicos em termos de interações de elétrons, radiação de elétrons e do éter, para prever os resultados de experiências eletromagnéticas em sistemas inerciais diferentes (Pires, 2011).

3.7.3 Dilatação do tempo

Uma das consequências da luz se propagar em todas as direções com a mesma velocidade é que as medidas de tempo não são mais absolutas, como é considerada na mecânica newtoniana, ou seja, as medidas de tempo irão depender do referencial inercial em que o tempo é medido.

Consideremos a seguinte situação: um trem desloca-se com velocidade constante \vec{v} , em relação ao solo, o qual poderemos considerar como um referencial inercial que chamaremos de S. Dentro do trem, que será o nosso referencial inercial S', um sinal de luz é emitido verticalmente e refletido por um espelho que se encontra no teto. Sejam D a distância do teto até a fonte emissora de luz, e Δt_0 intervalo de tempo necessário para que a luz se desloque até o espelho e retorne, do ponto de vista de S' também chamado de intervalo de tempo próprio ou tempo próprio (Halliday, 2007). Assim $\Delta t_0 = \frac{2D}{c}$. veja a Figura 3.9, que indica esquematicamente a experiência realizada em S'.

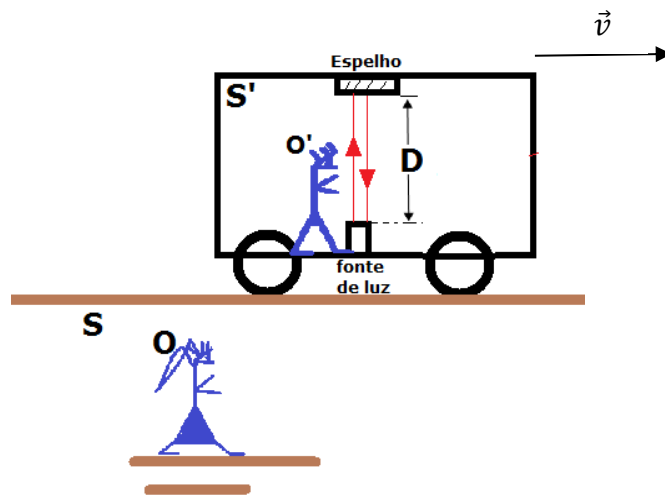


Figura 3.9 Uma pessoa dentro de um vagão de um trem que se move com velocidade constante, observando a emissão de um pulso luminoso dentro do próprio vagão (Elaborada pelo autor, 2020).

Considerarmos agora, um observador que se encontra no solo, onde o trem se desloca com velocidade constante \vec{v} , ele irá medir um intervalo de tempo maior para o mesmo processo. Como a luz percorre uma distância L com a mesma velocidade, teremos que o intervalo de tempo para a luz atingir o espelho, medido por este observador, será igual a $\frac{L}{c}$. Logo a experiência (ida e volta do sinal de luz) terá durado o intervalo de tempo $\Delta t = \frac{2L}{c}$. Como a distância L é maior que a distância D e sendo a velocidade da luz constante, teremos como consequência que $\Delta t > \Delta t_0$, como vemos na Figura 3.10.

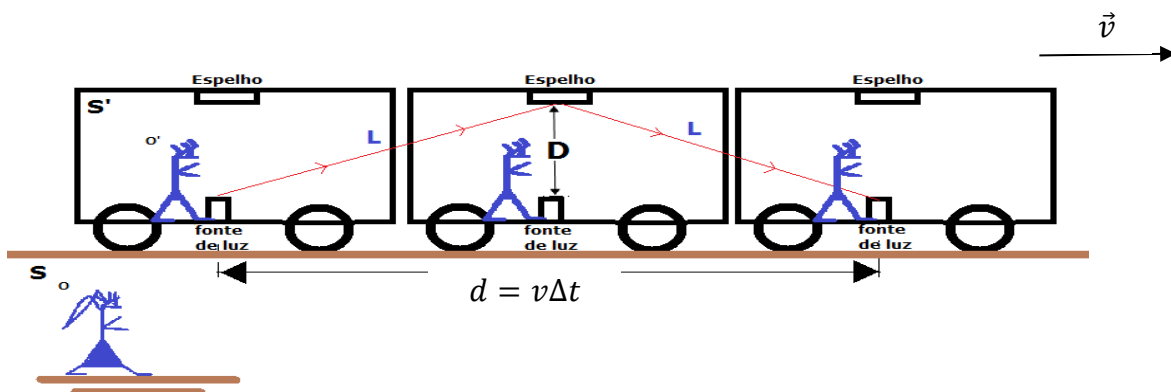


Figura 3.10 Uma outra pessoa fora de um trem, que se move com velocidade constante, observando a emissão de um pulso luminoso dentro de um vagão (Elaborada pelo autor, 2020).

Notamos que quando o sinal luminoso sai da fonte até o espelho e retorna até a fonte, o trem desloca-se, no solo, uma distancia $d = v\Delta t$. Podemos assim determinar a relação entre Δt_0 e Δt através do teorema de Pitágoras, considerando o triângulo retângulo formado pelo raio de luz.

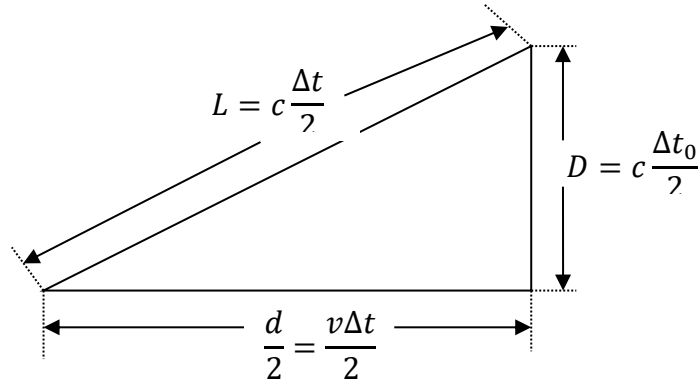


Figura 3.11 Triângulo formado pelo raio de luz visto pela pessoa fora do vagão do trem
(Elaborada pelo autor, 2020).

Assim, temos:

$$L^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 + D^2$$

$$\frac{c^2\Delta t^2}{4} = \frac{v^2\Delta t^2}{4} + \frac{c^2\Delta t_0^2}{4}$$

$$(c^2 - v^2)\Delta t^2 = c^2\Delta t_0^2,$$

dividindo tudo por c^2 , temos:

$$\Delta t^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = \Delta t_0^2$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} . \quad (3.32)$$

Usualmente utilizamos $\Delta t = \gamma\Delta t_0$, onde γ é de fator de Lorentz , equação 3.28.

Em suma podemos observar que só $v < c$ permite, para γ , um valor real. Como o fator de Lorentz, é sempre maior que um, teremos, como foi referido anteriormente, que $\Delta t > \Delta t_0$. Assim, quem está fora do trem irá medir um intervalo de tempo maior do que o observador que estiver dentro do trem. O movimento, portanto, afeta o tempo, e esse fenômeno do aumento do intervalo de tempo medido em consequência do movimento do referencial utilizando é chamado de dilatação temporal (Halliday,2007).

Não percebemos a dilatação do tempo em nosso cotidiano porque as velocidades que atingimos são muito menores que a velocidade da luz, o fator de Lorentz sendo praticamente igual a um.

3.7.4 Contração do espaço

Outra consequência dos postulados da Relatividade Restrita é a relatividade do comprimento. Assim como o tempo, o comprimento terá valores diferentes para observadores que se encontram em movimento relativo um em relação ao outro. A contração do comprimento sempre ocorre na mesma direção do movimento.

Consideremos novamente, como exemplo, um trem que se desloca com velocidade constante \vec{v} em relação à plataforma da estação, e dois observadores: um no interior do trem (S') e outro na plataforma (S), como mostrado na Figura 3.12. Suponhamos que um observador em S meça o comprimento da plataforma, encontrando o valor L . Este é o chamado comprimento próprio da plataforma, aquele que foi medido no referencial em que ela está em repouso. Este observador vê a frente do trem passar pela plataforma no intervalo de tempo Δt , assim, esse comprimento pode ser medido por $L = v\Delta t$.

Para o observador que está no trem, que viaja na direção do comprimento medido, a plataforma é que se move, assim, para ele o comprimento medido vale $L_0 = v\Delta t_0$, onde Δt_0 é o tempo próprio, calculado anteriormente.

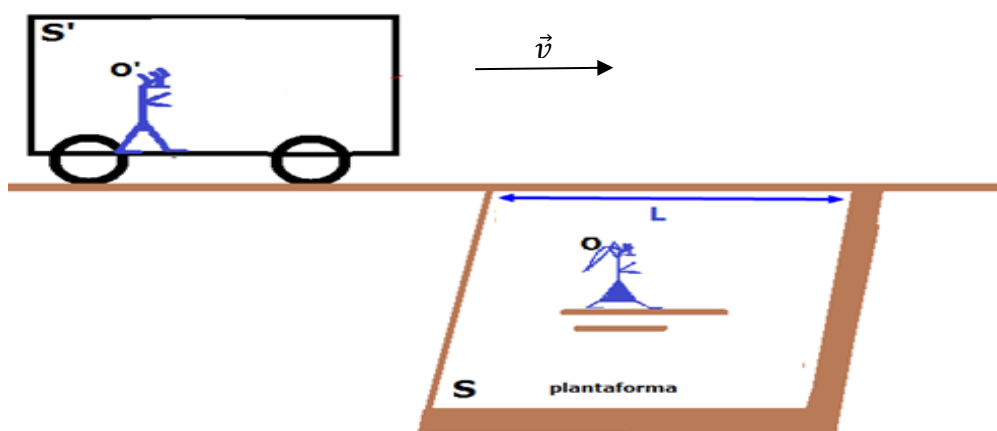


Figura 3.12 Um trem que se desloca com velocidade constante \vec{v} em relação à plataforma da estação, e dois observadores: um no interior do trem, referencial S' , e outro na plataforma, referencial S , ambos irão calcular o tamanho da plataforma de acordo com o seu respectivo referencial (Elaborada pelo autor, 2020).

Assim teremos:

$$L = v\Delta t \quad (3.33)$$

$$L_0 = v\Delta t_0. \quad (3.34)$$

Fazendo (3.33) dividido por (3.34), temos:

$$\frac{L}{L_0} = \frac{\Delta t}{\Delta t_0},$$

como

$$\Delta t = \gamma\Delta t_0,$$

teremos:

$$\frac{L}{L_0} = \gamma,$$

ou seja,

$$L_0 = \frac{L}{\gamma}. \quad (3.35)$$

Aqui o comprimento próprio é L . Como $\gamma > 1$, teremos $L_0 < L$, ou seja, o comprimento medido em outro referencial em relação ao qual está se movendo (na direção da dimensão que está sendo medido), é sempre menor que o comprimento próprio, por isso chamamos de contração do comprimento (Halliday, 2007).

3.7.5 Adição de velocidades na Relatividade Restrita

Na Relatividade Restrita, como discutimos nas seções anteriores, as medidas de tempo e espaço foram modificadas totalmente, e fomos obrigados a abandonar a Relatividade galileana. Como consequência, a adição de velocidades vista na seção 3.3 também será alterada, até mesmo porque nenhum corpo pode possuir velocidade maior que a da luz em relação a um referencial inercial.

Assim façamos mais uma vez a seguinte experiência mental, considere um trem se movendo com uma velocidade \vec{v} em relação ao solo, e um passageiro no trem se movendo com uma velocidade \vec{u}' em relação ao trem, então a velocidade do passageiro em relação ao solo \vec{u} é, exatamente a soma vetorial das duas velocidades (equação 3.10), isto é;

$$\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v}$$

Isto é, simplesmente, o teorema clássico de adição das velocidades na teoria da relatividade de Galileu.

Consideremos a princípio, o caso especial que todas as velocidades estão ao longo do eixo x para os dois sistemas inerciais S e S' . Seja S o sistema do solo e S' o do trem, cuja a velocidade relativa ao solo é \vec{v} (Figura 3.13).

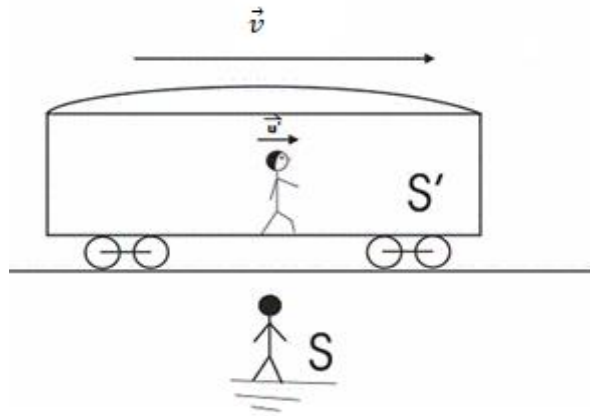


Figura 3.13 Um passageiro que se move com velocidade \vec{u}' , medida no referencial S' , e um observador que está em repouso no referencial S (Wolffe e Mors, 2005).

A velocidade do passageiro em S' é \vec{u}' , e a sua posição no trem, no passar do tempo, pode ser descrita por $dx' = u_x' dt'$. Nesse momento devemos nos perguntar: Qual é a velocidade do passageiro observado do solo? Usando as equações de transformação de Lorentz, equações 3.23 e 3.31, temos:

$$dx' = \gamma(dx - vdt) = u_x' dt' ,$$

como:

$$dt' = \gamma(dt - \frac{v}{c^2} dx)$$

Teremos:

$$\gamma(dx - vdt) = u_x' \gamma(dt - \frac{v}{c^2} dx),$$

assim:

$$dx - vdt = u_x' (dt - \frac{v}{c^2} dx)$$

$$dx = u_x' dt - \frac{v}{c^2} dx u_x' + vdt$$

$$dx + \frac{v}{c^2} dx u_x' = u_x' dt + vdt$$

$$dx(1 + \frac{v u_x'}{c^2}) = dt(u_x' + v)$$

$$dx = \frac{u_x' + v}{1 + \frac{u_x' v}{c^2}} dt. \tag{3.36}$$

Como u_x é a velocidade medida em relação ao solo (em S), logo sua posição no solo, ao passar do tempo, é dada por $dx = u_x dt$, comparando com a equação 3.36, teremos:

$$u_x = \frac{u_x' + v}{1 + \frac{u_x' v}{c^2}}. \quad (3.37)$$

Para as velocidades que são perpendiculares à direção do movimento relativo teremos:

$$u_y = \frac{dy}{dt},$$

como,

$$d_y = d_y' \text{ e } dt = \gamma(dt' + \frac{v}{c^2} dx'),$$

logo:

$$u_y = \frac{d_y'}{\gamma(dt' + \frac{v}{c^2} dx')},$$

dividindo o numerador e o denominador por dt' , teremos:

$$u_y = \frac{\frac{d_y'}{dt'}}{\gamma(1 + \frac{v}{c^2} \frac{dx'}{dt'})}$$

$$u_y = \frac{u_y'}{\gamma(1 + \frac{v}{c^2} u_x')} \quad (3.38)$$

Da mesma forma faremos para a velocidade na direção z, e encontraremos:

$$u_z = \frac{u_z'}{\gamma(1 + \frac{v}{c^2} u_x')}. \quad (3.39)$$

Por outro lado, se quisermos determinar \vec{u}' em termos de \vec{u} teremos:

$$u_x' = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x v}{c^2}} \quad (3.40)$$

$$u_y' = \frac{u_y}{\gamma(1 - \frac{v}{c^2} u_x)} \quad (3.41)$$

$$u_z' = \frac{u_z}{\gamma(1 - \frac{v}{c^2} u_x)} \quad (3.42)$$

Esse é o teorema relativístico, ou de Einstein, de adição de velocidades.

Vejamos que, se u' e v são muito pequenos comparado com c , a equação 3.37 se reduz ao resultado clássico, $u_x = u_x' + v$.

Por outro lado se o nosso “passageiro” for considerado um pulso luminoso, teremos $u' = c$, logo obrigatoriamente u deve ser igual a c , para qualquer valor de v , pois como visto anteriormente, todos os observadores medem a mesma velocidade c para luz. Vejamos matematicamente se tal afirmação é verdade, com $u' = c$:

$$\begin{aligned}
u &= \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} \\
u &= \frac{c + v}{\frac{c^2 + cv}{c^2}} \\
u &= \frac{c + v}{c^2 + cv} c^2 \\
u &= \frac{c+v}{c(c+v)} c^2 = c.
\end{aligned} \tag{3.43}$$

Logo $u = c$, como esperado conforme os postulados de Einstein.

As consequências dos postulados da Teoria da Relatividade Restrita que são: Simultaneidade, Transformação de Lorentz, Dilatação Temporal, Contração Espacial e Adição de Velocidades, levam a um grande número de previsões que são inesperadas ou mesmo surpreendentes quando comparadas com nossas experiências do cotidiano, onde temos $v \ll c$, por consequência temos $\gamma = 1$ e a geometria é aproximadamente euclidiana (Tipler, 2006). A título de exemplo, iremos apresentar na próxima seção, uma situação, que contradiz do nosso senso comum, o que chamamos de paradoxo dos gêmeos.

3.7.6 Paradoxo dos Gêmeos

O mais famoso paradoxo da relatividade restrita é o Paradoxo dos Gêmeos, também conhecido como paradoxo do relógio, que está ligado ao fenômeno da dilatação dos tempos.

O paradoxo consiste em que, dois gêmeos se separam num dado instante, iniciando um deles uma viagem a uma estrela distante, numa nave que se desloca a uma velocidade próxima da velocidade da luz ($v \approx c$) e regressa logo em seguida à Terra. Ao encontrar-se com o seu gêmeo que ficou na Terra verifica que este está muito mais velho, significando isto que o gêmeo viajante envelhece mais lentamente, o que está de acordo com as previsões da Teoria da Relatividade Restrita, uma vez que todo movimento é relativo e o tempo não é absoluto. Assim tal situação implica em uma contradição lógica, ou seja, um paradoxo.

Para ilustrar tal afirmação acima, considere dois irmãos gêmeos, Heitor e Carlos, que tem hoje 25 anos de idade, quando Carlos é escolhido para realizar uma viagem a um planeta que fica distante 20 anos-luz da Terra. Para realizar a viagem será utilizado um

foguete que atinge a velocidade de 95% da velocidade da luz ($0,95c$). Carlos fica com saudades de Heitor e retorna imediatamente para Terra com a mesma velocidade escalar de sua jornada de ida. Para Heitor, na Terra, o tempo de viagem de Carlos será de aproximadamente 42 anos, isso significa que, Heitor envelheceu pouco mais de 42 anos e tem agora 67 anos de idade. Para Carlos, que viajou, o tempo transcorrido (tempo próprio) será menor. Segundo a equação 3.32, teremos:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,95}{c}\right)^2}}$$

$$\Delta t_0 = 42 \sqrt{1 - \left(\frac{0,95}{c}\right)^2}$$

$$\Delta t_0 \cong 13 \text{ anos.} \quad (3.44)$$

Para Carlos, que viajou (ida e volta), terão transcorrido apenas 13 anos, ou seja sua idade após a viagem será de 38 anos, enquanto Heitor, que permaneceu na Terra, será de 67 anos, ou seja, Heitor será mais velho que Carlos aproximadamente 29 anos.

Agora, consideremos a situação da perspectiva de Carlos, foi ele que ficou em repouso, enquanto Heitor e a Terra se afastaram rapidamente com uma jornada de 6,5 anos e então voltaram durante 6,5 anos adicionais. Nesta situação consideramos o foguete em repouso, e o tempo próprio passa a ser o tempo medido por Heitor, que está em movimento em relação a Carlos, que medirá o tempo dilatado.

Então, eis o paradoxo: dependendo do referencial que escolhermos, Heitor ou Carlos estará mais velho ao final da viagem. Como resolver este paradoxo? É simples: Heitor está na Terra, e podemos considerar que este é um referencial inercial. Porém Carlos, que está no foguete, não pode ser considerado como um referencial inercial, pois, para atingir a velocidade de $0,95c$, ele teve várias acelerações durante a jornada para virar e voltar, como isso, sua velocidade escalar não é sempre uniforme. Então não temos paradoxo, já que não estamos comparando observações a partir de dois referenciais inerciais.

Logo o problema não é simétrico. Uma vez que Carlos não permanece em apenas um referencial inercial. Assim, quando se reencontram, Heitor e Carlos não terão que ter a mesma idade, vez que Heitor permaneceu em um referencial inercial, enquanto Carlos sofreu acelerações.

3.8 Dinâmica Relativística

Nesse tópico iremos discutir as mudanças introduzidas na dinâmica clássica pela Teoria da Relatividade Restrita, com uma atenção especial para as três grandezas básicas para o desenvolvimento da mecânica clássica: massa, momento e energia.

Até aqui, vimos que para descrever o movimento de algo que se mova próximo da velocidade da luz, no contexto da relatividade restrita, a transformação de Galileu precisa ser substituída pela transformação de Lorentz, agora precisamos generalizar as leis da mecânica clássica, de modo que a “nova mecânica” seja consistente com a Teoria da Relatividade proposta por Albert Einstein. Vale ressaltar que essas definições generalizadas devem reduzir-se as definições clássicas quando fizermos $v \ll c$ ou para $u \ll c$ (Resnick, 1923).

Os princípios mais importantes da mecânica clássica são: lei de conservação do momento e o princípio de conservação da energia total (Tipler, 2006). A simplicidade e universalidade dessas leis de conservação nos obriga a buscar equações para a mecânica relativística, análogas a $\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$ e outras, que sejam compatíveis com a conservação do momento e da energia e ao mesmo tempo invariantes em relação à transformação de Lorentz.

3.8.1 Momento Relativístico

Considere vários observadores, localizados em diferentes referenciais inerciais, observando uma colisão entre duas partículas, embora as velocidades sejam diferentes em diferentes referenciais, a lei de conservação do momento deve ser obedecida em todos os referenciais. Porém se continuarmos a definir o momento de uma partícula de maneira clássica, ou seja, o produto da massa pela velocidade ($\vec{p} = m\vec{v}$), o momento não será o mesmo para observadores situados em referenciais diferentes. Logo devemos tomar uma dessas duas decisões: abandonar a lei de conservação do momento ou mudar a definição do momento para uma forma tal que a lei de conservação do momento continue a ser respeitada. A segunda escolha é a mais correta (Halliday, 2007).

Considere uma partícula se deslocando com velocidade constante v no sentido positivo do eixo x . Logo, classicamente teremos o módulo do momento dado por $|\vec{p}| = m|\vec{v}| = m \frac{\Delta x}{\Delta t}$ onde, Δx é a distância percorrida pela partícula no intervalo de tempo Δt .

Assim para encontrar uma expressão relativística para o momento, devemos considerar: $|\vec{p}| = m \frac{\Delta x}{\Delta t_0}$ onde, Δx é a distância percorrida pela partícula do ponto de vista de um observador externo e Δt_0 é o intervalo de tempo necessário para percorrer a distância Δx , do ponto de vista de um observador que esteja se movendo com a partícula. Como a partícula está em repouso em relação a este observador, o intervalo de tempo medido por ele é um intervalo de tempo próprio.

Como $\Delta t = \gamma \Delta t_0$, temos: $|\vec{p}| = m \frac{\Delta x}{\Delta t_0} = m \frac{\Delta x}{\frac{\Delta t}{\gamma}} = m \frac{\Delta x}{\Delta t} \gamma$, ou seja, $|\vec{p}| = m v \gamma$.

Logo o momento relativístico será dado por:

$$\vec{p} = \gamma m \vec{v}. \quad (3.45)$$

Veja que a diferença entre esta expressão da equação 3.45 e a clássica está apenas na presença do fator de Lorentz. Esta equação fornece o valor correto do momento para qualquer velocidade, inclusive para velocidades menores que c , quando a expressão se reduz à definição clássica do momento.

3.8.2 Energia Relativística

Assim como a definição de momento requer generalização para torná-la compatível com o princípio da relatividade a definição de energia cinética precisa ser modificada, como o mesmo sentido de preservar a invariância dessa lei de conservação nas transformações entre sistemas de referência. Assim a energia relativística total E deve apresentar duas propriedades: a primeira que a energia total E de qualquer sistema isolado é conservada e a segunda é que a energia total E tende ao valor clássico quando $v \ll c$ (Tipler, 2006).

Iniciaremos procurando uma expressão para a energia cinética relativística. O teorema trabalho-energia cinética, que diz que o trabalho de uma força sobre uma partícula é igual à variação da energia cinética da mesma (Serway, 2004). Consideremos o movimento unidimensional de uma partícula, que parte do repouso da posição x_1 , e se desloca até a posição x_2 onde possui velocidade v . Como a energia cinética inicial é nula, logo o trabalho realizado para acelerar uma partícula desde o repouso até v é equivalente à energia cinética relativística K da partícula, dada por:

$$W = \Delta K = K - 0 = K = \int_{x_1}^{x_2} F dx \quad (3.46)$$

Como $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, substituindo e escrevendo a integral em termos da velocidade da partícula, obtemos:

$$K = \int_{x_1}^{x_2} \frac{dp}{dt} dx = \int_0^v \frac{dp}{dv} \frac{dx}{dt} dv = \int_0^v \frac{dp}{dv} v dv,$$

como;

$$v = \frac{dx}{dt}.$$

Assim teremos:

$$K = \int_0^u \frac{dp}{du} u du \quad (3.47)$$

Fazendo:

$$\frac{dp}{dv} = m \frac{d}{dv} (\gamma v) = m \frac{d}{dv} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} v \right) = m \frac{d}{dv} \left[v \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \right]$$

$$\frac{dp}{dv} = m \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} + v \left(-\frac{2v}{c^2} \right) \left(-\frac{1}{2} \right) \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-3/2} \right]$$

$$\frac{dp}{dv} = m \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} + \left(\frac{v^2}{c^2} \right) \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-3/2} \right]$$

$$\frac{dp}{dv} = m \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \left[1 + \left(\frac{v^2}{c^2} \right) \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1} \right] \right]$$

$$\frac{dp}{dv} = m \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \left[1 + \left(\frac{v^2}{c^2} \right) \left(\frac{c^2 - v^2}{c^2} \right)^{-1} \right] \right]$$

$$\frac{dp}{dv} = m \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \left[1 + \left(\frac{v^2}{c^2} \right) \left(\frac{c^2}{c^2 - v^2} \right)^1 \right] \right]$$

$$\frac{dp}{dv} = m \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \left(1 + \frac{v^2}{c^2 - v^2} \right) \right]$$

$$\frac{dp}{dv} = m \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \left(\frac{c^2 - v^2 + v^2}{c^2 - v^2} \right) \right]$$

$$\frac{dp}{dv} = m \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \left(\frac{c^2}{c^2 - v^2} \right) \right]$$

$$\begin{aligned}\frac{dp}{dv} &= m \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \left(\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right) \right] \\ \frac{dp}{dv} &= m \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} \right] \\ \frac{dp}{dv} &= m \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-3/2}.\end{aligned}\tag{3.48}$$

Substituindo a equação 3.48 em 3.47 teremos:

$$\begin{aligned}K &= \int_0^v mv \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-3/2} dv \\ K &= m \int_0^v v \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-3/2} dv.\end{aligned}\tag{3.49}$$

Fazendo $\theta = 1 - \frac{v^2}{c^2}$ e $\frac{d\theta}{dv} = -\frac{2v}{c^2}$ termos $v dv = -\frac{c^2}{2} d\theta$ substituindo na equação 3.49 e mudando os limites de integração, teremos:

$$\begin{aligned}K &= m \int_1^\theta \theta^{-3/2} - \frac{c^2}{2} d\theta = -\frac{mc^2}{2} \int_1^\theta \theta^{-3/2} d\theta \\ K &= -\frac{mc^2}{2} (-2)\theta^{-1/2} \Big|_1^\theta \\ K &= mc^2 \theta^{-1/2} \Big|_1^{\theta=1-\frac{v^2}{c^2}} \\ K &= mc^2 \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} - 1 \right].\end{aligned}$$

Como $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$, logo: $K = mc^2[\gamma - 1]$, ou seja:

$$K = \gamma mc^2 - mc^2.\tag{3.50}$$

A equação 3.50 é a definição da energia cinética relativística de uma partícula de massa m e velocidade v .

Nesse momento é importante verificar se a equação para energia cinética relativística se reduz a equação clássica no limite de baixas velocidades, ou seja, vamos verificar se $K = mc^2[\gamma - 1] = \frac{mv^2}{2}$, quando $v \ll c$. Para tal, vamos expandir o termo $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$ em torno de $\frac{v^2}{c^2}$ usando a expansão binomial da seguinte forma:

$$\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} = 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \frac{3}{8} \frac{v^4}{c^4} + \dots \quad (3.51)$$

No limite de baixas velocidades, $v \ll c$ ou $\frac{v}{c} \rightarrow 0$, podemos truncar a expressão a cima no segundo termo e a equação para energia cinética resulta em:

$$K = mc^2 \left[1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} - 1\right] = \frac{mc^2 v^2}{2c^2} = \frac{mv^2}{2} \quad (3.52)$$

Dessa forma, a equação para energia cinética na Teoria da Relatividade Restrita recupera a forma clássica no limite de baixa velocidades (Tipler, 2006).

Vale lembrar que o primeiro termo da expressão para a energia cinética relativística, equação 3.50, γmc^2 , depende do fator de Lorentz que por sua vez depende da velocidade da partícula, enquanto que o segundo termo, mc^2 , independe da velocidade da partícula. Esse termo constante, mc^2 , é chamado de energia de repouso da partícula livre.

Assim a energia relativística total (E) da partícula é definida por:

$$E = mc^2 + K = mc^2 + \gamma mc^2 - mc^2$$

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3.53)$$

Notemos que a equação 3.53 nos diz que a energia de uma partícula livre sempre é uma grandeza positiva não nula. Seu valor mínimo corresponde à situação em que a partícula está em repouso em relação a um dado referencial, ou seja, $v = 0$, quando a energia total vale $E = mc^2$, mostrando assim que a massa é uma manifestação da energia, onde uma pequena massa corresponde a uma quantidade enorme de energia (Serway, 2004).

3.9 Relatividade Geral

Nesse trabalho, até o momento, vimos que a Teoria da Relatividade Restrita se restringe a referenciais não acelerados, ou seja, referenciais inerciais, promovendo uma completa revolução no modo de pensar sobre as grandezas de espaço e tempo. A generalização da Teoria da Relatividade para referenciais acelerados (não inércias) foi proposta por Einstein em 1916, que ficou conhecida por Teoria da Relatividade Geral. (Tipler, 2006). Essa por sua vez, tem grande importância para muitos campos de pesquisa, tanto teórico como experimentais, dos quais podemos destacar a astrofísica, a cosmologia e a procura do campo unificado.

Na mecânica clássica o conceito de massa aparece duas situações intrigantes. Ela determina a força de atração gravitacional mútua entre dois corpos (lei da gravitação universal de Newton) e representa também a resistência de um corpo isolado a ser acelerado (segunda lei de Newton), independentemente do tipo de força produzindo aceleração. Assim, como pode uma grandeza ter duas propriedades tão diferentes? Einstein, propôs a Teoria da Relatividade Geral que responde tal questionamento que incomodou Newton e outros físicos (Serway, 2004).

Para Einstein, o comportamento duplo da massa era evidência de uma conexão muito íntima e básica entre os dois comportamentos, que denominou Princípio da Equivalência, que pode ser enunciado da seguinte forma: Um campo gravitacional homogêneo é equivalente, sob todos os aspectos, a um referencial uniformemente acelerado (Tipler, 2006).

Esse princípio surge, na mecânica newtoniana, graças à igualdade entre a massa gravitacional e a massa inercial, ou seja, em um campo gravitacional homogêneo, todos os corpos caem com a mesma aceleração g , independente da massa, onde a força gravitacional é diretamente proporcional à massa (gravitacional) e a aceleração é inversamente proporcional à massa (inercial). Porém experimentos nos mostram que a massa m em $\vec{F} = m\vec{a}$ (massa inercial) e a massa m em $\vec{F}_G = G \frac{Mm}{r^2} \hat{r}$ (massa gravitacional), com $G = 6,671384 \times 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}$, sendo a constante de gravitação universal, são exatamente iguais na mecânica clássica, embora a teoria clássica não ofereça nenhuma explicação para essa igualdade (Tipler, 2006).

Para um melhor entendimento do princípio da equivalência, imaginemos um observador está em pé sobre uma balança dentro do elevador fechado, ao perceber que o ponteiro da balança começa a indicar um valor diferente para sua massa, duas explicações são possíveis: o elevador está num movimento de velocidade variável em módulo, ou o campo gravitacional local mudou (Braz Júnior, 2002).

Mas se o cabo do elevador arrebenta e ele entra em queda livre, a balança vai indicar zero. O observador e todos os objetos dentro do elevador parecem flutuar. Esse efeito de flutuação sugere gravidade zero, mas na verdade pode ser conseguido de duas formas: pela anulação do campo gravitacional local, ou por um movimento do elevador com aceleração igual à gravidade em módulo (Braz Júnior, 2002).

Observemos que de dentro do elevador, sem observar o que acontece lá fora, não há como saber o que de fato está acontecendo. Essa impossibilidade de decidir entre as

duas possibilidades aceitáveis constitui basicamente o princípio da equivalência, que pode também ser enunciado desta forma: “Se um observador está dentro de um recinto fechado, sem ter que olhar para fora, não há como saber se o recinto está sob a ação de um campo gravitacional uniforme ou se está acelerado.” (Serway, 2004).

O princípio da equivalência torna-se mais interessante quando aplicamos a luz. Imaginemos agora, um observador segurando uma lanterna dentro do elevador, suponha que o esse elevador despenque em queda livre e num certo momento da queda a lanterna é ligada. Para o observador dentro do elevador, ao cair com a lanterna ele observa um raio de luz que segue em linha reta, cruzando o elevador e batendo na parede da frente.

Para um observador externo, parado em relação ao chão, se pudesse enxergar através das paredes do elevador, o que veria? Esse observador veria o raio de luz literalmente curva-se. Nesse caso, a causa dessa curva seria o movimento acelerado do elevador. Mas pelo princípio da equivalência, o mesmo efeito poderia ser conseguido a partir de um campo gravitacional externo. Logo a partir desse raciocínio Einstein concluiu que a gravidade deveria forçar a luz a fazer uma curva (Braz Júnior, 2002).

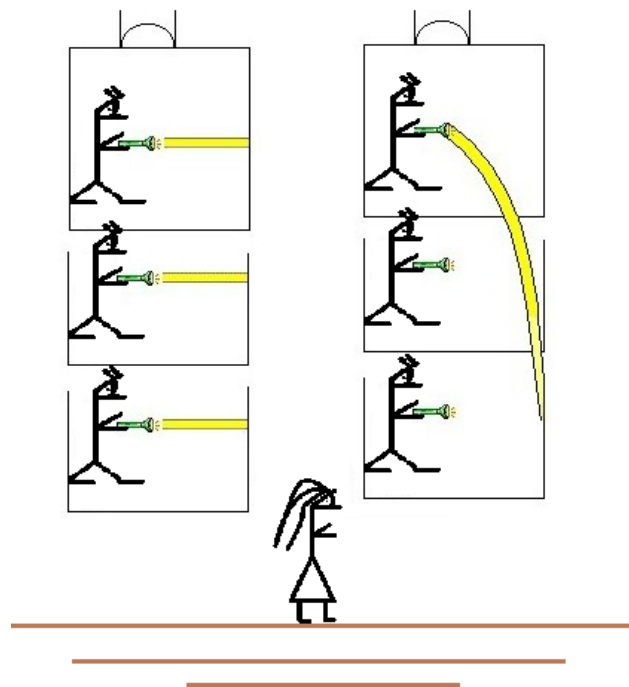


Figura 3.14 Experimento mental de Einstein que mostra a curvatura da luz para um observador fora do referencial dela (Elaborada pelo autor, 2020).

É a partir daí que surge a interpretação geométrica para os efeitos da gravidade, onde podemos considerar que corpos com grande massa provocam uma curvatura no espaço-tempo ao seu redor. Para Einstein, corpos com grande massa, como estrelas, por exemplo, poderiam tirar a luz de sua suposta e previsível trajetória retilínea (Tipler, 2006). Como podemos observar na figura 3.15.

Para testar a teoria, seria necessário fotografar estrelas próximas ao Sol e depois fotografá-las no mesmo lugar à noite. Em seguida, medir a posição delas no céu a cada momento, e encontrar a diferença entre estas medidas. O cenário ideal para isso seria um eclipse total, um alinhamento que faz com que a Lua esconda o Sol, projetando sua sombra sobre a Terra (Braz Júnior, 2002).

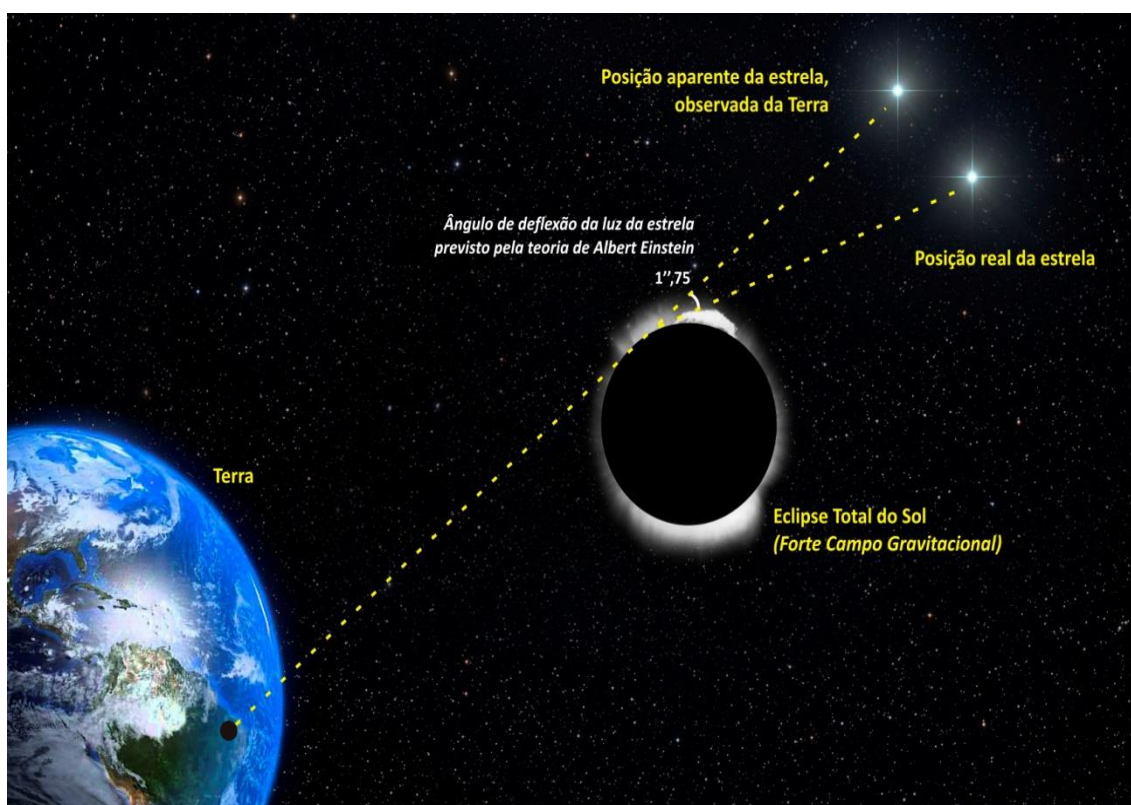


Figura 3.15 Ilustração do efeito da deflexão da luz previsto pela Teoria da Relatividade. Os elementos do desenho estão fora de escala (ON, 2019).

Esse efeito teve sua comprovação durante o eclipse total do Sol ocorrido em 29 de maio 1919 em Sobral, no Ceará, onde os cientistas foram designados para fotografar o eclipse e realizar medidas das posições das estrelas visualmente próximas do Sol e que só aparecem quando o disco solar é encoberto pela Lua, na totalidade do eclipse. Assim o Brasil acabou participando desse momento histórico que projetou Albert Einstein no

cenário científico mundial, onde mostro experimentalmente que um corpo de grande massa pode provocar uma curvatura no espaço-tempo ao seu redor (Braz Júnior, 2002).

No próximo capítulo iremos falar como sobre a metodologia aplicada nesse projeto.

Capítulo 4

Metodologia na Aplicação do Produto

Nas aulas, alguns professores de física, procuramos dar uma atenção maior aos fenômenos da natureza em ressonância com os conceitos associados e procuramos apresentar os assuntos de maneira descontraída, fazendo uso de exemplos presentes no dia-dia dos estudantes. A proposta desse trabalho busca, além dos exemplos, outra prática presente no cotidiano dos estudantes, o jogo de tabuleiro. Ao partir da premissa de que os alunos ao participar de um jogo sentem-se à vontade, esse estado de conforto, pode contribuir para o processo de ensino aprendido.

A luz dessa ótica, nesse capítulo iremos arguir de início, onde foi aplicado o produto, qual perfil da instituição de ensino, dos professores e dos estudantes. Como também iremos apresentar a metodologia utilizada na aplicação do produto, descrevendo a construção e realização desse do produto supracitado.

4.1 Descrição e informações sobre a escola

O trabalho aqui apresentado realizada na cidade do Recife, estado de Pernambuco, no Colégio da Polícia Militar de Pernambuco, é uma escola pública, porém administrada por policiais e bombeiros militares, tem em seu Projeto Político Pedagógico (PPP) a ótica vygotskyana, visando à construção do indivíduo como pessoa e fornecendo instrumentos que irão possibilitar sua maturidade intelectual(PPP,CPM 2010). O colégio possui 363 alunos regularmente matriculados no ensino médio, dos quais formam: quatro 1º e 2º anos e três 3º anos. Funciona em apenas no turno vespertino, porém os alunos tem aulas extras curriculares nos contraturnos a depender da vontade e interesses dos mesmos. Sua fachada é mostrada na figura 4.1.



Figura 4.1 Fachada do Colégio da Polícia Militar (Elaborada pelo autor, 2020).

Sua estrutura é composta por: uma biblioteca, 03 auditórios, salas de leitura, laboratórios de informática, física, matemática, química e biologia, três quadras poliesportivas e um campo de futebol. Em relação a recursos tecnológicos, possui vários projetores, DVDs, televisores e notebooks que ficam alocados numa sala reservada chamada de SMAP (seção de meios auxiliares e publicações). Não possui *internet* disponível aos alunos apenas para funcionários, para a realização de atividades administrativas e também para os professores realizarem pesquisas e preenchimento da caderneta online, na sala de professores a qual existe um computador. No laboratório de informática existem 10 computadores que funcionam e também há rede de *internet* disponível.

O laboratório de física é utilizado por apenas dois professores e possui diversos equipamentos que são utilizados, porém tem ainda equipamentos que permanecem embalados e encaixotados. Recentemente foi feita uma aquisição de uma impressora 3D que está sendo utilizada para construção de peças que ajudem os professores em suas propostas pedagógicas. Existem também 08 kits de robótica, que permanecem sem utilização trancados no armário, tais kits chegaram no segundo semestre do corrente ano, mas segundo os professores não foram utilizados por falta de capacitação. No que tange a estrutura física o laboratório de física possui 06 bancadas onde cada uma comporta 06 estudantes; possui ainda 09 armários; uma lousa; um birô e um projetor, mas não tem

computador próprio do laboratório. Na figura 4.2 podemos ver a imagem do laboratório de Física do Colégio.



Figura 4.2 Laboratório de Física do Colégio da Polícia Militar (Elaborada pelo autor, 2020).

4.2 O perfil do professor de física

Na escola há uma equipe de cinco professores com formação acadêmica em licenciatura em Física, dos quais um é responsável pela coordenação técnica de ensino de física e os outros são professores do ensino médio e fundamental, uma vez que a disciplina de física é introduzida no currículo no 8º e 9º ano do ensino fundamental.

Assim, os professores são distribuídos da seguinte forma: um é responsável pelas turmas do terceiro ano do ensino médio, outro pelo segundo ano e os outros dois responsáveis pelas turmas do primeiro ano do ensino médio e das aulas que são ministradas para os alunos do ensino fundamental, vale salientar que os dois últimos juntamente com o coordenador da disciplina fazem um trabalho de preparação dos estudantes para a participação nas olimpíadas de física e astronomia, seja em nível estadual como também a nível nacional.

Um dos professores participou ativamente da aplicação do trabalho e afirmou nunca ter ensinado, sequer qualquer assunto de física moderna, muito menos Teoria da Relatividade.

Faz jus ressaltar, que foi perguntado aos professores se o conteúdo que trata sobre Teoria da Relatividade foi trabalhado no ano de 2019, em algum momento das respectivas aulas, infelizmente a resposta foi não. Segundo eles o porquê da negatividade foi a falta de tempo devido aos vestibulares.

4.3 O perfil do aluno

Os alunos desta comunidade escolar, como a grande parte dos jovens, vivem inteiramente ligados aos aparelhos eletrônicos, com por exemplo, celulares e computadores, assim a interação social é praticamente dependente de redes sociais e jogos eletrônicos.

Alguns pais ou responsáveis, não participam ativamente da vida escolar desses estudantes, segundo a coordenação escolar, a baixa participação se dá porque ambos trabalham o dia inteiro e não tem tempo de acompanhar o rendimento de seus filhos. Porém é notório um melhor rendimento dos alunos que tem a presença ativa dos pais na escola, esses por sua vez, demonstram um maior interesse e respeito em sala de aula, como também um melhor desenvolvimento cognitivo, assim percebe-se que é fundamental a participação da família na vida escolar dos jovens.

Infelizmente, ainda é comum encontrar, no ensino médio, alunos que não conseguem interpretar um texto, efetuar problemas simples de aritmética e nem tão pouco uma organização algébrica no momento de descrever quantitativamente alguma grandeza física. Apesar dessas dificuldades a maioria dos estudantes sentem-se motivados e interessados em superar essas dificuldades, quando são postos a eles alguma atividade lúdica.

Assim, vimos que temos estudantes que tem todo potencial para galgar degraus maiores e mudar o atual cenário da educação brasileira.

4.4 Descrição da construção do produto

O jogo apresentado nesse trabalho foi construído com o objetivo de possibilitar de maneira motivadora, reflexiva e problematizadora, a aprendizagem significativa de vários conceitos estudados em física moderna, especificamente, no tópico relativo Teoria da Relatividade.

O jogo chamado Teste Einstein é um basicamente um jogo de tabuleiro com perguntas e respostas, onde cada jogador deve percorrer as casas do circuito devido a cada jogada, cumprindo também, determinações que algumas casas espalhadas pelo tabuleiro exigem, ao passo que são respondidas algumas perguntas propostas quando as jogadas forem realizadas.

O jogo, Teste Einstein, é formado por um tabuleiro, dois dados um chamado de marcador e outro de indicador, três pinos (naves), 17 cartas nível 1, 17 cartas nível 2, 17 cartas nível 3, 07 cartas desafios, 01 carta coringa e 06 cartas finais. Além das cartas temos o caderno resposta.



Figura 4.3 Teste Einstein aplicado em sala de aula (Elaborada pelo autor, 2020).

4.4.1 O tabuleiro

A arte do tabuleiro foi construída com o auxílio do programa Corel Draw 2018 com ilustração temática de uma viagem espacial, ela é composta por 39 casas que devem ser percorridas através das jogadas, dessas temos sete casas desafio, uma casa coringa e uma casa desafio final. Ela possui um tamanho de 30cm X 40cm, foi salva em formato pdf e impressa em material adesivo vinil semi-brilho em alta qualidade. A arte do tabuleiro encontra-se no anexo deste trabalho. A figura 4.4 mostra a arte do tabuleiro.

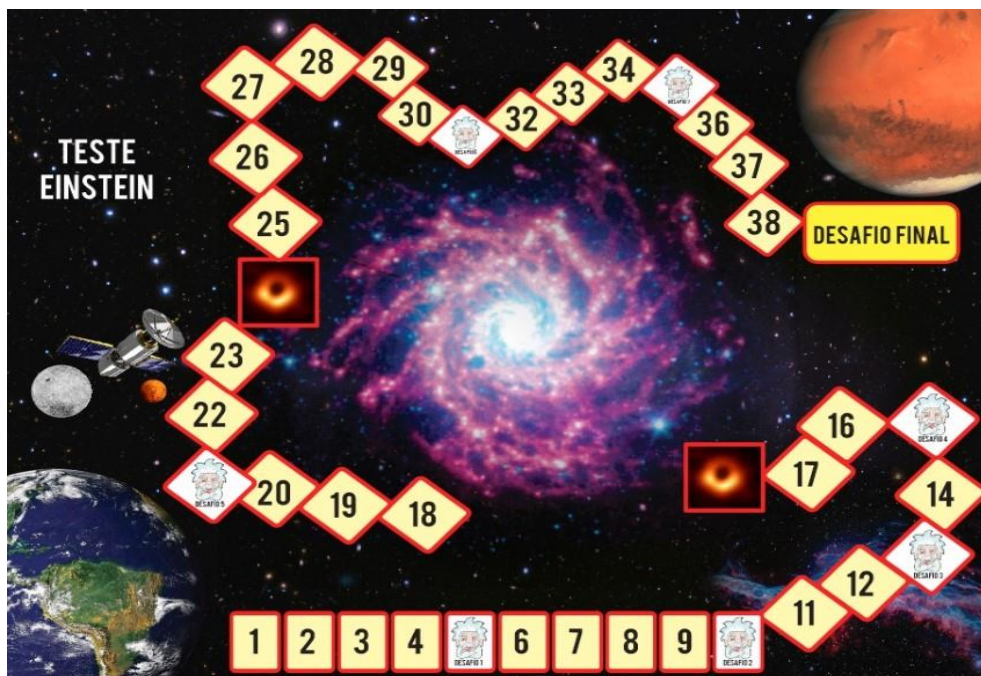


Figura 4.4 Arte usada no produto (Elaborada pelo autor, 2020).

Além do adesivo gráfico foi fabricado um suporte de madeira, nas mesmas dimensões, dividido ao meio e posto duas dobradiças, para diminuir o tamanho e facilitar o acondicionamento, e uma cava no meio para jogar os dados por fim foi colado o adesivo, conforme é apresentado na figura 4.5.



Figura 4.5 Imagem do tabuleiro pronto (Elaborada pelo autor, 2020).

4.4.2 Os dados

Foi comprado dois dados convencionais onde foi adesivado em um deles três círculos verdes e três interrogações vermelhas e no outro dado foi adesivado em cada face dois números 1, dois números 2 e dois números 3, conforme as imagens abaixo da figura 4.6, logo cada um dos dados foram chamados respectivamente de dado marcado e dado indicador, ver imagem da a figura 4.7. Após a adesivação foi posto uma película de fita adesiva com o objetivo de preservar a imagem nos dados.

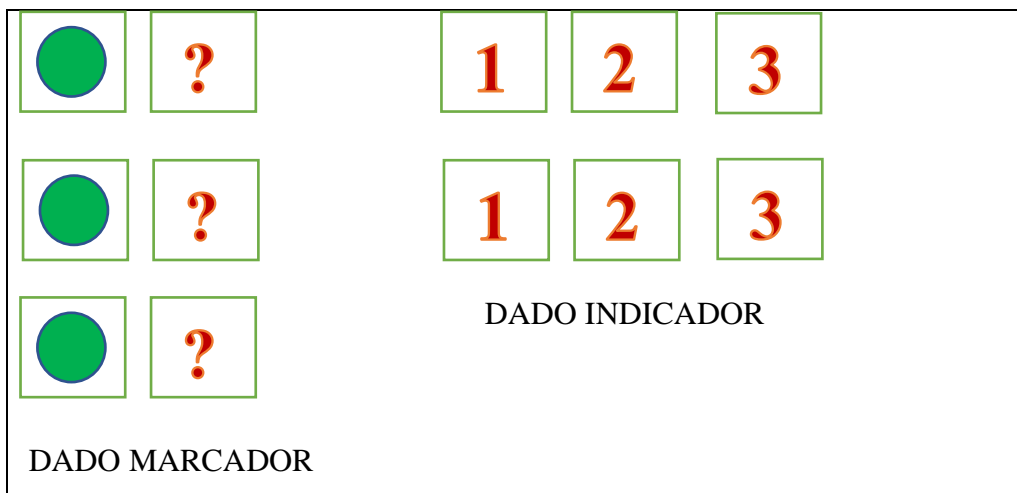


Figura 4.6 Arte usadas nos dados (Elaborada pelo autor, 2020).

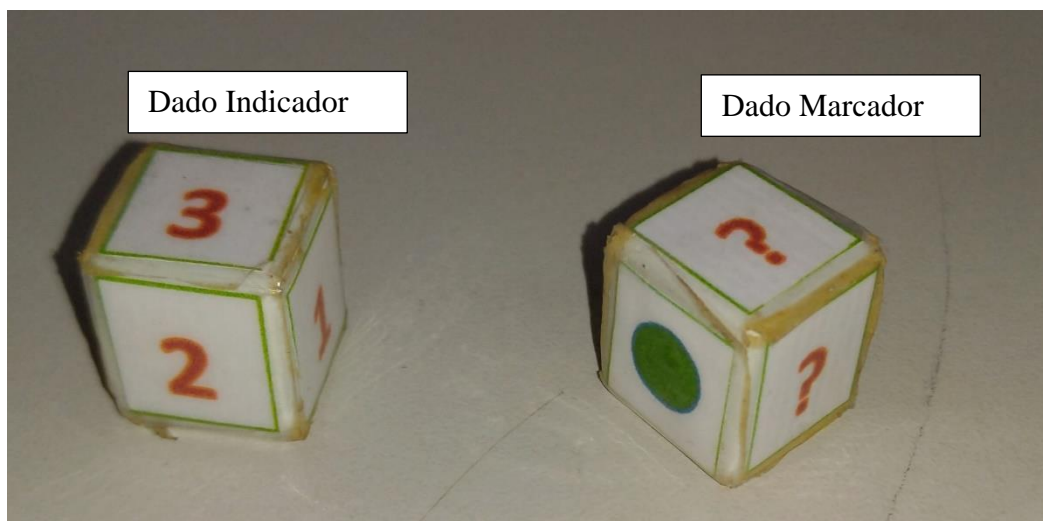


Figura 4.7 Imagem dos dados prontos (Elaborada pelo autor, 2020).

4.4.3 Os pinos

Os pinos tem a arte gráfica de três naves espaciais como mostra a figura 4.8, foram feitos através da impressora 3D, da própria escola, mas poderia ser feito por qualquer outro material, como por exemplo de cartolina, isopor ou até mesmo madeira.

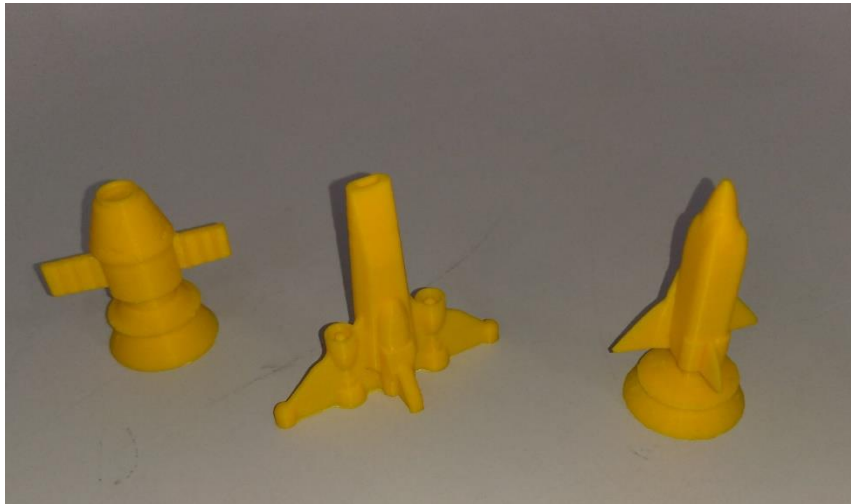


Figura. 4.8 Imagem dos pinos usados no jogo (Elaborada pelo autor, 2020).

Como esse trabalho foi utilizado a impressora 3D, abaixo temos o passo a passo da construção dos pinos (figuras 4.9 a 4.15)

- 1- Acessar o site: www.thingiverse.com, que é uma comunidade de design para criar e compartilhar programação de para impressão 3D, tudo de forma gratuita;
- 2- Na aba de localizar objetos digitamos: Spacecraft Chess e Toy Spacecraft, e aparece as imagens das figuras 4.9 e .4.10;

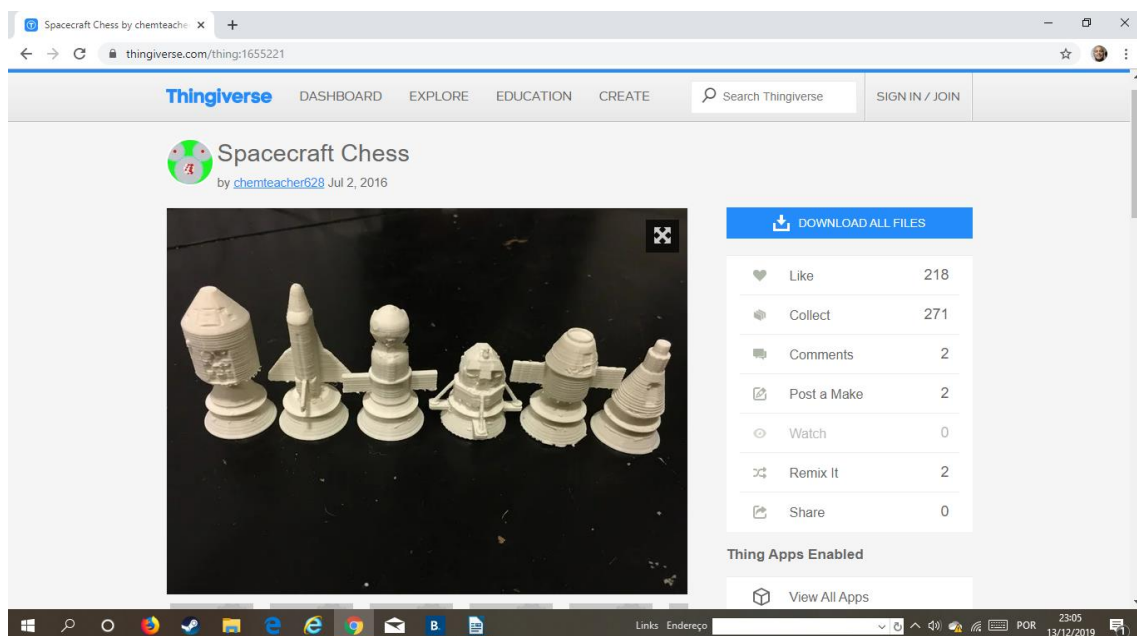


Figura 4.9 Imagem da busca “Spacecraft Chess”(Elaborada pelo autor, 2020)

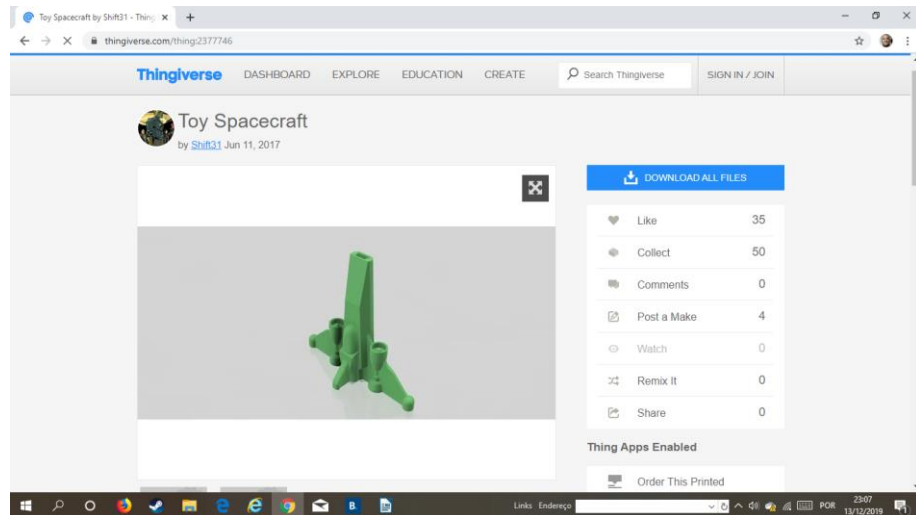


Figura 4.10 Imagem da busca “Toy Spacecraft”(Elaborada pelo autor, 2020).

- 3- Realizamos o download dos arquivos escolhidos;
- 4- Descompactamos os arquivos baixados e clicamos na pasta files (Figura 4.11);

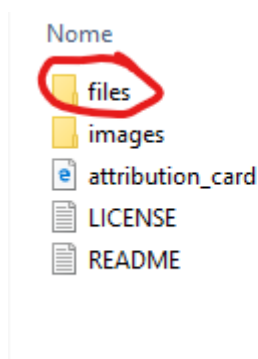


Figura 4.11 Imagem da pasta que devemos clicar (Elaborada pelo autor, 2020).

- 5- Com o auxílio do programa Repiter, abrimos os arquivos;

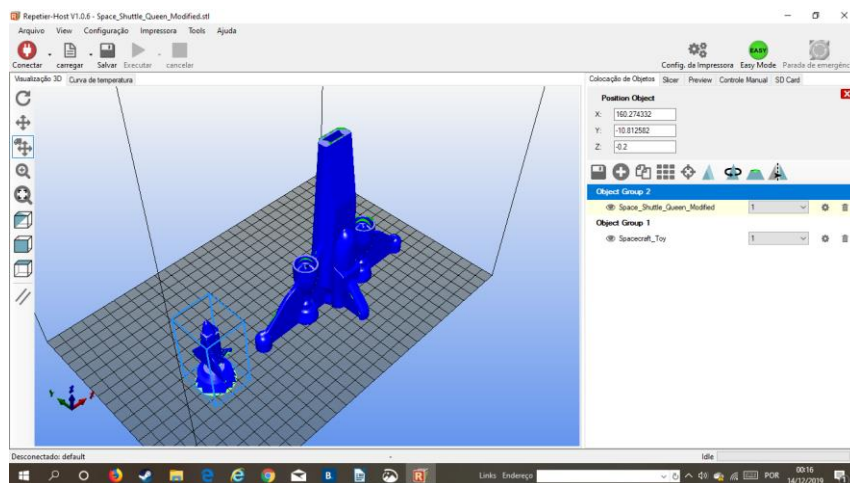


Figura 4.12 Imagem do arquivo aberto no programa Repiter (Elaborada pelo autor, 2020).

6- Redimensionamos as peças, que precisam de ajuste no tamanho;

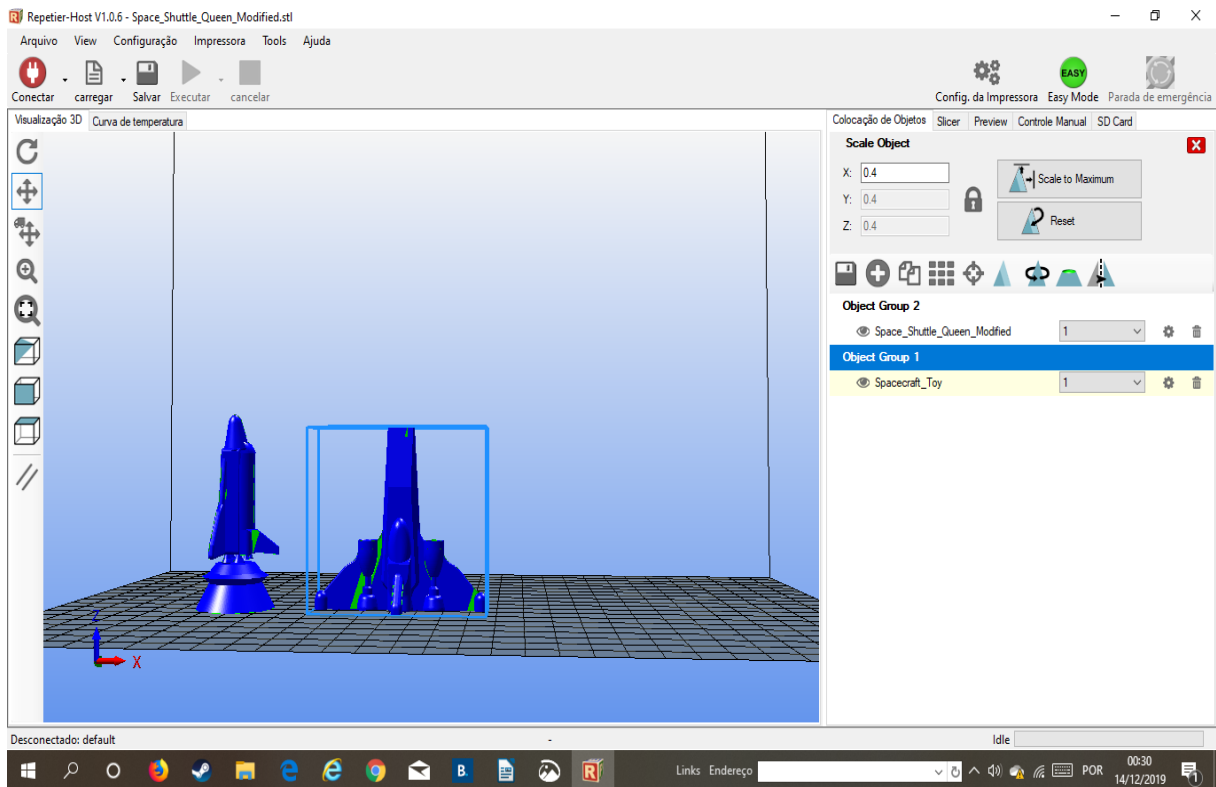


Figura 4.13 Imagem do redimensionamento no programa Repiter (Elaborada pelo autor, 2020).

7- Fatiamos os objetos para gerar o arquivo gcode;

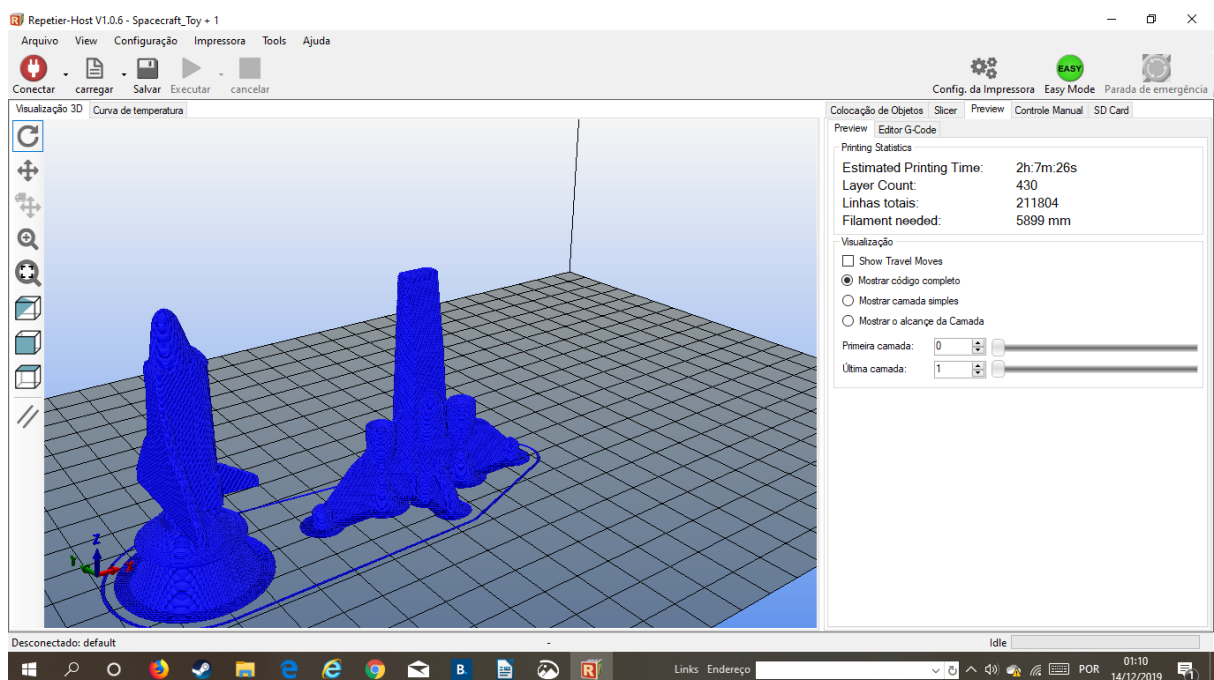


Figura 4.14 Imagem do fatiamento e geração do arquivo gcode (Elaborada pelo autor, 2020).

8- Carregamos o arquivo na impressora (Gtmax 3D – modelo A1V2);

9- Executamos a impressão.



Figura 4.15 Imagem dos pinos na impressora 3D (Elaborada pelo autor, 2020).

4.4.4 As cartas

Assim como o tabuleiro, as cartas tiveram sua arte criadas com o auxílio do programa Corel Draw 2018, elas foram salvas em pdf, em seguida foram recortadas conforme seu respectivo tamanho.

As cartas tem as dimensões 50mm X 90mm, foram impressas em papel couché 180g/m², conforme mostra a figura 4.16.



Figura 4.16 Imagens das cartas, utilizadas no jogo (Elaborada pelo autor, 2020)

Foram criadas seis tipos distintos de cartas, sendo:

- ✓ 17 cartas nível 1, contendo perguntas de fáceis respostas;
- ✓ 17 cartas nível 2, contendo perguntas de nível intermediário;
- ✓ 17 cartas nível 3, contendo perguntas de nível maior comparada com as de nível 1 e 2;
- ✓ 01 carta coringa, que tem por objetivo dá uma maior dinâmica no jogo;
- ✓ 07 cartas desafios onde também possui várias missões a serem cumpridas;
- ✓ 06 cartas desafio final, contendo perguntas mais específicas e de um grau maior de complexibilidade de respostas comparadas as de nível 1, 2 e 3.

Todas as cartas prontas para impressão, apêndice 1, como também o caderno de resposta que se encontra no apêndice 2.

4.5 Regras do jogo

A regra principal desse jogo é o seguinte: joga-se os dois dados, Marcador e Indicador, onde o primeiro tem em suas faces círculos verdes e interrogações vermelha, ver figura 4.7, caso o Dado Marcador der círculo verde o jogador avança a quantidade de casas correspondente ao número do Dado Indicador, caso o Dado Marcador der interrogação vermelha o jogador deve pegar uma carta correspondente ao nível do número do Dado Indicador. Quando o jogador responder corretamente à pergunta da carta determinada pelo Dado Indicador ele avançará o número de casas correspondente ao número indicado do Dado Indicador, ou seja, o número do nível da carta. Caso erre a pergunta da respectiva carta, o jogador voltará uma quantidade de casas correspondente a fórmula: $V = 4 - nD_i$, onde nD_i corresponde ao valor mostrado do Dado Indicador e V é a quantidade de casas que ele voltará, assim por exemplo, se em uma jogada o Dado Marcador for uma interrogação vermelha e o Dado Indicador for o número 3, o jogador deverá pegar uma carta nível 3 e responder sua respectiva pergunta, se ele acertar sua nave avançará três casas, caso contrário, ele voltará um casa. Assim, se o jogador errar uma carta nível 3 ele voltará uma casa, se errar uma carta nível 2 ele voltará duas casas e por fim se errar uma carta nível 1 ele voltará 3 casas.

Para iniciar o jogo, a regra é a mesma, como um detalhe, que se a equipe não obtiver o acerto da sua respectiva carta pergunta sua nave não poderá dar partida, ou seja, a equipe continua na posição inicial.

Quem iniciou a partida da sua nave, na sua respectiva vez, deve continuar jogando sempre junto os dados conforme o início, e levando sempre em consideração a regra principal.

No decorrer do jogo, os jogadores, pode se deparar em algumas casas desafio, onde os mesmos devem realizar os desafios propostos e receber as recompensas e punições que tal casa oferece.

É obrigatório que todos os jogadores chegue na última casa, chamada de desafio final, para poder concluir o jogo, assim independentemente no número tirado, para o avanço das casas, eles devem ficar na casa desafio e pegar uma carta desafio final para ser respondida, caso responda corretamente a equipe vencerá a partida, caso contrário ficará nessa casa dando a vez a outra equipe, esse processo se repetira até conseguir responder corretamente.

4.6 Descrição da aplicação do produto

Para a realização do produto foi necessário efetuar um momento, que aqui chamamos de preparação da turma, pois eram alunos do 1º ano do ensino médio, e a Teoria da Relatividade geralmente é estudada no 3º ano do ensino médio. Em seguida foi aplicado o produto construído para essa finalidade.

A aplicação do produto foi realizada em uma turma do 1º ano do ensino médio, porque acreditamos ser possível o estudo da Teoria da Relatividade para esse público, uma vez que, eles estão estudando as ideias clássica de movimento.

4.6.1 Preparação da turma

Para alcançar os objetivos propostos nessa atividade lúdica, dedicamos cinco encontros de 01 hora e 40 min cada, totalizado 10 horas-aulas, a fim de que os alunos tomassem conhecimento dos conceitos que julgamos importante, para o ensino médio, no entendimento da Teoria da Relatividade.

O primeiro encontro foi aplicado um pré-teste, individualmente, e, na sequência iniciamos uma aula com o objetivo de apresentar a evolução histórica das ideias filosóficas e científicas do conhecimento de movimento relativo, como por exemplos, o

paradoxo de Zenão, as ideias de Giordano Bruno, Galileu Galilei e Isaac Newton, inclusive foi também estudado as transformações de Galileu.

No segundo encontro estudamos o problema da mecânica newtoniana com o eletromagnetismo, discutimos a incompatibilidade entre a mecânica e a natureza das ondas eletromagnética, como também a variância das transformações de Galileu para o eletromagnetismo. Nesse encontro, também, foi apresentado a tentativa de localizar um sistema absoluto, através da ideia filosófica do éter luminífero, como solução para a incompatibilidade da mecânica clássica e o eletromagnetismo, bem como a tentativa de comprovar a existência do éter através do experimento de Michelson-Morley.

No terceiro, foi apresentado as ideias e parte do artigo publicado em 1905 pelo jovem Albert Einstein, que são os seus postulados, também foi iniciado o estudo da simultaneidade e as transformações de Lorentz a título de consequências dos dois postulados.

No quarto encontro continuamos a ver as outras consequências dos postulados, como dilatação temporal, contração espacial e a adição de velocidades relativas, como também suas respectivas aplicabilidades em exemplos.

No quinto encontro vimos e discutimos o paradoxo dos gêmeos através da aplicabilidade dos exemplos anteriormente estudados. Foi visto também, a dinâmica relativística e por fim de maneira sucinta estudamos a relatividade geral, dando uma ênfase na participação do Brasil na comprovação dessa teoria geral.



Figura 4.17 Aplicação do pré-teste em sala(Elaborada pelo autor, 2020).

4.6.1 Aplicação do jogo

Após os encontros onde foram discutidos os conteúdos sobre a Teoria da Relatividade, foi disposto sobre as bancadas os jogos Teste Einstein, onde de início foi apresentado o jogo e suas respectivas regras.

Os estudantes foram divididos em quatro equipes, onde cada equipe era composta de três ou quatro pessoas, vale lembrar que, a escolha das equipes foi livre, não havendo interferência. A ordem das jogadas foi definida através de sorteio estabelecido pelos próprios alunos.

Quando uma equipe era disposta a responder cada desafio, qualquer integrante da equipe poderia responder contanto que a pergunta tenha sido debatida previamente com a equipe. Nos casos de algum conceito errôneo ou dubiedade da resposta, o professor fez o papel de mediador, colocando questionamentos e observações sobre as respostas apresentadas e apontando as devidas correções.

Vale salientar que o papel do professor é apenas de um mediador, ele deve estimular os alunos a buscarem as respostas corretas para as questões apresentadas. Usando essa postura de questionar os alunos dar a eles a oportunidade de exercitar o poder de argumentação que é importante, porque essa dinâmica permite que eles desenvolvam habilidades que não são trabalhadas nas aulas tradicionais.

Nesta atividade pudemos observar o quanto é difícil atuar como mediador, comparado como professor expositor de uma educação tradicional, uma vez que mediar é saber perceber os momentos onde devemos nos calar, questionar, conceituar, enfim ser mais um coadjuvante, onde na verdade o protagonista devem ser os estudantes.

As questões deste jogo envolvem, muitas vezes, questões que contraria o senso comum, elas tendem a fazer com que os jogadores desenvolvam a capacidade de pensar abstratamente as situações problema apresentadas pelas perguntas, à medida que eles se sentem motivados e desafiados pelo jogo. Os jogadores que conseguirem se adaptar a essa característica, terão maiores chances perante os demais. Envolvendo conceitos formais de física nesse ambiente descontraído e livre de pressão, o amadurecimento das habilidades dos estudantes torna-se mais aproveitável, chegando até, muitas vezes, sendo transposta para o aprendizado em outras áreas do ensino.

Uma das grandes vantagens desse jogo é o dinamismo, pois todos os estudantes são participantes ativos para a resolução das perguntas propostas, assim apresentaremos a composição e as regras do jogo.

É importante lembrar que a interação entre os integrantes dos grupos era bem harmônica, onde existia um nível de cumplicidade com a finalidade de manter a estratégia para alcançar a vitória do jogo.

Por fim tivemos uma equipe vencedora, mas o pódio foi o que menos importou para aqueles que fizeram parte dessa atividade lúdica, uma vez que foi notório a satisfação da participação de todos em busca de um aprendizado de forma lúdica, onde todos saíram vencedores do conhecimento.



Figura 4.18 Aplicação do jogo (Elaborada pelo autor, 2020).

No próximo capítulo veremos os resultados obtidos a partir das proposições apresentadas até aqui.

Capítulo 5

Resultados

Na busca de analisar os efeitos propostos dessa atividade lúdica, utilizamos de um pré-teste, um pós-teste e uma análise descrita feita pelos alunos e por um professor, que participaram da realização do projeto na escola.

5.1 Dados coletados no pré-teste

Nessa abordagem inicial, foi realizado um pré-teste com o objetivo inicial de saber qual o grau de conhecimento esses estudantes teriam sobre os conteúdos da Teoria da Relatividade, foi realizado esse primeiro teste, em dois grupos de estudantes: o primeiro era composto por 30 alunos do 3º ano do ensino médio, ou seja, alunos que estavam concluindo o ensino médio que aqui chamaremos de Grupo Alfa (GA), o segundo grupo era formado por 32 alunos do 1º ano do ensino médio, que chamaremos de Grupo Beta (GB).

Além objetivo inicial, para o segundo grupo, GB, analisamos quais os conhecimentos prévios esses estudantes poderiam ter, para ser utilizado nas abordagens, para introdução dos conteúdos a serem estudados por esse projeto.

Os questionamentos desse pré-teste, eram todos subjetivos, onde os estudantes deveriam responder de forma discursiva, de acordo com os conhecimentos que soubessem. Para fim, dessa análise, classificamos as respostas em quatro grupos, que são os seguintes:

- Não Respondeu (NR); grupo de alunos que não respondeu a respectiva pergunta;
- Respondeu Errado (RE); grupo de alunos que deram resposta cientificamente erradas;
- Resposta Parcialmente Correta (RPC); grupo de alunos que responderam parte da questão de forma cientificamente correta;
- Resposta Cientificamente Correta (RCC); grupo de alunos que responderam à questão de forma cientificamente correta.

Assim vejamos, através das tabelas, como foram os percentuais obtidos nesse pré-teste:

Questão 1

“Com certeza você já ouviu algo sobre a Teoria da Relatividade. Em poucas palavras disserte sobre está teoria.”

Na tabela 5.1, verificamos um grande índice dos alunos que não responderam, ao questionar o porquê da ausência da resposta, foi praticamente unanime a resposta: “falta de confiança”

Tabela 5.1 Resultados percentuais da questão 1.

Alunos	NR	RE	RPC	RCC
GA	56,66%	13,33%	16,66%	13,35%
GB	50%	15,62%	28,13%	6,25%

O grupo de RPC, falaram que já ouviram algo sobre Albert Einstein e de sua famosa equação que relaciona massa e energia.

Verificamos também, que o percentual de questões erradas é baixo, porque foi considerado realmente as respostas que não tinha nenhuma coerência com a realidade científica. Por outro lado, os grupos de RPC e RCC, observamos que todas as respostas estavam dentro da realidade de um conhecimento científico.

Questão 2

“No cotidiano, onde podemos encontrar a aplicabilidade da Teoria da Relatividade?”

Podemos observar na tabela 5.2, que o grupo RCC tivemos 14 alunos, desses percebemos que a grande maioria, 10 alunos, afirmaram que o sistema de posicionamento global, mais conhecido pela sigla GPS (em inglês *Global Positioning System*) é um bom exemplo de um sistema que utiliza as ideias da Teoria da Relatividade.

Tabela 5.2 Resultados percentuais da questão 2.

Alunos	NR	RE	RPC	RCC
GA	23,33%	20%	30%	26,67%
GB	25%	37,5%	18,75%	18,75%

Os grupos NR e RE, chegaram a 53,23% do total de entrevistados, onde vemos que esses não conhecem nenhuma aplicabilidade da Teoria da Relatividade

O grupo RPC responderam em sua maioria “viagem no tempo”, consideramos essa resposta parcialmente correta, porque o conceito é uma possível aplicabilidade. Vale

lembrar que esses alunos tomaram essa resposta com base nos fatos expostos pelas indústrias cinematográfica, ou seja, pelos filmes e séries.

Assim podemos concluir que essa questão pode nos mostrar alguns caminhos para introduzir essa temática, tornando-a mais atraente e dinâmica.

Questão 3

“Você conhece os postulados da Teoria da Relatividade Restrita? Cite-os.”

Tivemos um alto percentual no grupo NR, como podemos ver na tabela 5.3, acreditamos que esses alunos de fato não os conhecem.

Tabela 5.3 Resultados percentuais da questão 3.

Grupo de Alunos	NR	RE	RPC	RCC
GA	60%	23,33%	13,34%	3,33%
GB	65,62%	28,13%	6,25%	0

O grupo que RE em sua maioria respondeu que o postulado dessa teoria era $E = mc^2$, vemos assim que, este grupo de estudantes reproduzem o que está acostumado a ver com mais frequência, uma vez que essa equação é a mais famosa que está presente nos trabalhos de Einstein.

No grupo RPC, tivemos como maioria o postulado da constância da velocidade da luz, percebemos assim, que alguns alunos reconhecem pelo menos um dos dois postulados. Foi percebido também, através da maioria das respostas desse grupo, que eles também sabiam que existem dois postulados.

Infelizmente, como se observa na tabela 5.3, tivemos um baixo percentual de resposta RCC, isso representa que apenas 01 aluno respondeu à pergunta de forma satisfatória.

Questão 4

“Suponha que dois astronautas recebessem seus salários de acordo com o tempo gasto em sua viagem pelo espaço. Após uma longa viagem com uma velocidade próxima à da luz, a tripulação de astronautas retorna à Terra e recebe o pagamento. Como vão reagir os astronautas e seu patrão? Levando em consideração você sendo o patrão, qual o melhor relógio para referência do pagamento?”

Nessa questão queríamos verificar como estaria a capacidade de interpretação, de um problema, dos estudantes, em relação a temática Teoria da Relatividade.

Assim de acordo com a tabela 5.4, observamos que tivemos um alto índice de questões em branco com também questões com respostas cientificamente erradas, logo podemos concluir que estamos diante de um grande grupo de estudantes que não consegue interpretar uma questão. Apenas um pequeno grupo respondeu de forma coerente essa questão.

Tabela 5.4 Resultados percentuais da questão 4.

Alunos	NR	RE	RPC	RCC
GA	50%	33,33%	6,67%	10%
GB	56,25%	37,5%	6,25%	0%

Questão 5

“Como você representa o conceito de espaço-tempo, proposto na Teoria da Relatividade Geral?”

Com o objetivo de verificar o que se esses estudantes saberiam algo sobre a Teoria da Relatividade Geral, mas infelizmente, a maioria dos avaliados não a respondeu, mais uma vez, ficou comprovando que esses estudantes conhecem pouco sobre essa temática, conforme a tabela 5.5.

Tabela 5.5 Resultados percentuais da questão 5.

Alunos	NR	RE	RPC	RCC
GA	80%	10%	10%	0
GB	81,25%	18,75%	0	0

Após esse primeiro levantamento de dados, verificamos que os alunos que estão concluindo o ensino médio, ou seja, o GA, estão no mesmo grau de conhecimento dos estudantes que estão iniciando o ensino médio, GB, uma vez que, os índices de todas as tabelas, apresentadas até esse ponto, são praticamente os mesmos, com pequenas variações nas respostas apresentadas.

5.1 Dados coletados no pós-teste

Esse segundo teste, teve como objetivo avaliar os 28 alunos do 1º ano do ensino médio que participaram do projeto presente nesse trabalho, esse grupo de estudantes chamaremos de Grupo Gama (GG).

Com a finalidade de mensurar o projeto supracitado aplicamos as mesmas perguntas do pré-teste aos alunos do GG, e comparamos suas respostas com os outros dois grupos.

Questão 1

“Com certeza você já ouviu algo sobre a Teoria da Relatividade. Em poucas palavras disserte sobre esta teoria.”

A primeira pergunta verificamos através da tabela 5.6, que os alunos do GG se sobressaem em relação aos outros dois grupos, visto que, as respostas foram bem coerentes e eles conseguiram entender que a Teoria da Relatividade não apenas se resume a relação massa energia, como proposta pelos alunos GA e GB.

Além disso, todos os alunos do GG responderam e desses apenas 7,15% responderam errado, o que representa apenas dois alunos desse grupo.

Tabela 5.6 Resultados percentuais da questão 1, levando em consideração o grupo GG.

Alunos	NR	RE	RPC	RCC
GA	56,66%	13,33%	16,66%	13,35%
GB	50%	15,62%	28,13%	6,25%
GG	0	7,15%	17,85%	75%

Questão 2

“No cotidiano, onde podemos encontrar a aplicabilidade da Teoria da Relatividade?”

Na segunda questão, os alunos do GG responderam praticamente da mesma maneira dos outros dos grupos, ou seja, responderam que o GPS era um equipamento onde tem a aplicabilidade da Teoria da Relatividade, vale lembrar que, esse grupo também teve um alto percentual, comparado com os outros, o item RCC e um baixo índice nos itens NR e RE, como vemos na tabela 5.7.

Tabela 5.7 Resultados percentuais da questão 2, levando em consideração o grupo GG.

Grupo de Alunos	NR	RE	RPC	RCC
GA	23,33%	20%	30%	26,67%
GB	25%	37,5%	18,75%	18,75%
GG	0	0	14,29%	85,71%

Questão 3

“Você conhece os postulados da Teoria da Relatividade Restrita? Cite-os.”

Foi notório, nessa terceira questão, que após essa atividade lúdica, os alunos do GG, responderam com uma maior segurança e elevando os índices nos itens RCC e RPC,

onde desse foi unanime a afirmativa que todos conheciam os dois postulados como também citando-os.

Tabela 5.8 Resultados percentuais da questão 3, levando em consideração o grupo GG.

Grupo de Alunos	NR	RE	RPC	RCC
GA	60%	23,33%	13,34%	3,33%
GB	65,62%	28,13%	6,25%	0
GG	14,29%	7,15%	32,14%	46,42%

Questão 4

“Suponha que dois astronautas recebessem seus salários de acordo com o tempo gasto em sua viagem pelo espaço. Após uma longa viagem com uma velocidade próxima à da luz, a tripulação de astronautas retorna à Terra e recebe o pagamento. Como vão reagir os astronautas e seu patrão? Levando em consideração você sendo o patrão, qual o melhor relógio para referência do pagamento?”

Na questão 4, verificamos que nossos alunos continuaram com uma baixa capacidade cognitiva de interpretação, onde precisam melhorar. Observamos que muitos estudantes do GG que responderam de forma parcialmente errada, entendiam a diferença temporal do problema mas não sabiam responder o problema, ou seja, eles entenderam que o tempo para quem viaja próximo da velocidade da luz, é menor comparado com uma pessoa que não está viajando, mas quando responderam qual a referência do relógio de pagamento pelo trabalho eles erram.

Mas, apesar das respostas dos alunos GG, estarem parcialmente erradas verificamos que ainda tiveram um maior o percentual do item RCC comparado com os GA e GB, conforme a tabela abaixo:

Tabela 5.9 Resultados percentuais da questão 4, levando em consideração o grupo GG.

Alunos	NR	RE	RPC	RCC
GA	50%	33,33%	6,67%	10%
GB	56,25%	37,5%	6,25%	0%
GG	3,57%	17,85%	46,43%	32,15%

Questão 5

“Como você representa o conceito de espaço-tempo, proposto na Teoria da Relatividade Geral?”

Para a questão 5, verificamos uma diferença significativa quando comparamos dos alunos GG com os GA e GB, conforme podemos ver na tabela 5.10.

Tabela 5.10 Resultados percentuais da questão 5, levando em consideração o grupo GG.

Alunos	NR	RE	RPC	RCC
GA	80%	10%	10%	0
GB	81,25%	18,75%	0	0
GG	0	17,15%	32,15%	60,7%

Assim, verificamos que, os resultados do pós-teste, aplicado após a atividade lúdica aqui proposta, mostra que o jogo foi um recurso válido para o ensino de física, em especial, para a Teoria da Relatividade.

Alguns depoimentos dos alunos, após a realização deste trabalho, evidenciam que a utilização de jogos educativos modificam a rotina das aulas, deixando-as mais interessantes, facilitando assim a construção do conhecimento, assim podemos citar alguns:

- “Os jogos sempre deixam, nós alunos, mais interessados.”
- “Com o jogo, Teste Einstein, consegui entender de maneira mais divertida a Teoria da Relatividade.”
- “Quando usamos o jogo, além de ajudar a entender os conteúdos, as aulas ficam mais divertidas e interessantes.”
- “O jogo é uma forma mais legal de fazer exercícios.”
- “O jogo é uma maneira mais divertida de aprender.”

O professor que acompanhou toda realização desse projeto relatou que o jogo despertou interesse e capacidade investigativa dos alunos na sala de aula. Em especial de alguns alunos que não apresentavam protagonismo nas aulas, durante os jogos eles se envolveram, e se destacaram de modo evidente, chegando até a explorar aspectos das regras do jogo que não foram inicialmente previstos, contribuindo ainda mais com o processo de aprendizagem.

Vejamos alguns trechos do depoimento do professor:

“...observei que durante o jogo os discentes respondiam as perguntas sem medo errar, uns aprendendo com os erros dos outros. Tal fato demonstra que essa abordagem permite, não somente a avaliação do processo de ensino e aprendizagem, como também que esse momento seja usado para continuação deste processo.

Observei também que nas conversas internas durante o jogo, alunos discutiam a pertinência de alguns fenômenos observados em séries de TV segundo a visão da Teoria da Relatividade, o que me leva a crer que

agora veem o conteúdo aprendido como significativo em suas relações com o mundo...

.... os resultados foram tão bons, que já pretendemos incluir para o ano letivo de 2020.”

Em seu depoimento podemos verificar que houve uma aceitação e reconhecimento do objetivo da proposta desse trabalho, inclusive a utilização do Teste Einstein na escola.

O jogo, Testes Einstein, mostrou ser um recurso educacional válido para aprendizagem dos conteúdos da Teoria da Relatividade, ele foi capaz de propiciar interesse pelo ensino de Física e foi considerado pela comunidade escolar uma atividade motivadora.

No próximo capítulo apresentaremos nossas considerações finais.

Capítulo 6

Considerações finais

Chegamos ao final observando que o ensino de Física, em sua concepção atual se apresenta como um sistema de natureza teórico-conceitual muito complexo desenvolvido pelo homem, onde alguns professores de física é considerado o único detentor do saber e onde, ainda se estuda excessivamente a Física Clássica esquecendo da Física Moderna e Contemporânea. Como forma de contribuir para a minimização desse problema defendemos um ensino de Física, em que a forma de aprendizagem seja prazerosa, onde o aluno seja autor e ator da construção do seu conhecimento e que os conteúdos moderno e contemporâneo esteja presente em seu mundo cognitivo.

Também observamos que em plena era tecnológica, onde quase tudo no mundo depende da tecnologia, alguns professores ainda ensinam demasiadamente a Física de 1600 esquecendo da FMC, onde está presente no cotidiano dos nossos alunos. Esse excesso de Física Clássica e matematização da física acaba por repercutir em um repúdio da disciplina, por parte dos alunos do ensino médio, onde esses jovens chegam do ensino fundamental cheios de expectativas, em busca de respostas sobre a tecnologia a qual estão inseridos.

Assim, a proposta metodológica aqui apresentada nesse trabalho, tem a preocupação de envolver os conteúdos didáticos do ensino de Física Moderna e Contemporânea na primeira série do ensino médio, de maneira lúdica através de um jogo de tabuleiro, baseado numa abordagem contemporânea de ensino associada ao letramento científico. Onde os conteúdos sejam abordados de maneira mais global e os alunos tenham condições de construir a partir do seu cotidiano os conceitos fundamentais e transversais de física, de maneira que torne prazeroso o processo ensino-aprendizagem.

Logo, o que se buscou nesse trabalho, é uma contribuição para aprendizagem dos estudantes mediante uma forma mais atrativa de abordagem da Física em sala de aula e conseqüentemente para a sua vida. Tendo a como essência ludicidade do ensino de Física, os resultados sinalizaram que o grupo que participou da vivência do jogo aqui proposto, conseguiu melhores resultados na realização do teste. As suas respostas também foram mais precisas, cientificamente falando, com também mais detalhadas, isso nos mostra que

a utilização de jogos didáticos contribui de maneira significativa para o processo de ensino e aprendizagem.

Observamos também, ao final da atividade proposta, que a maioria dos alunos que participaram da partida do tabuleiro, demonstraram interesse pelos fenômenos físicos apresentados nesse trabalho, como também houve uma maior interação entre todos envolvidos, mostrando que a utilização dos jogos didáticos tem excelentes resultados tanto de cunho cognitivo com também afetivo.

Essa proposta também traz em seu bojo, a essência dos PCN que propõem aos professores o uso de recursos, como um conjunto de competências que permita ao aluno perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no seu cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante. Trata-se então de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade social.

Em suma, entendemos que o ensino de Física seja algo prazeroso para os estudantes, onde essa disciplina tenha significado para vida, possibilitando aos alunos condições de participação ativa no mundo onde estão vivendo.

Assim, esperamos que esse trabalho, desperte um olhar mais atento por parte dos professores de Física, para um ensino lúdico de ciências, onde os conteúdos mais contemporâneos, presente nas tecnologias atuais, sejam inseridos na prática de sala de aula, pois estamos vivendo num mundo cada vez mais tecnológico. Tão logo fazendo isso estamos contribuindo para formação de cidadãos críticos capazes de prosseguir nos estudos futuros, prepará-los para o trabalho e para tomar decisões no seu dia-dia.

Por fim, com uma perspectiva futura, espera-se que esse jogo possa ser utilizado em outras temáticas do Ensino de Física, com por exemplo: Radiação do Corpo Negro, Efeito Fotoelétrico, Mecânica Quântica entre outros.

Referências Bibliográficas

- [Almeida, 1996] Almeida, A. M. Da psicologia à pedagogia do conhecimento. *Revista Formar* v.18. p. 4-13, 1996.
- [Almeida, 2001] Almeida, A. M. F. G. Educação em Ciências e Trabalho Experimental: Emergência de uma nova concepção. *Ensino Experimental das Ciências*, v. 3, p. 51-73, 2001.
- [Bassalo, 1997] Bassalo, J. M. A. Aspectos históricos das bases conceituais das relatividades. *Revista Brasileira do Ensino de Física*, v.19, n 2, p. 180-188, 1997.
- [Bonardiman e Nonenmacher, 2007] Bonardiman, H.; Nonenmacher, S. E.B. O gostar e o aprender no ensino de física: uma proposta metodológica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 24, n. 2, p. 194-223, 2007.
- [Borges,2002] Borges, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.19, n. 3: 291-313, 2002.
- [Brasil, 2002] Brasil, Parâmetros Curriculares Nacionais, Ensino Médio. *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, p.56-83, 2002.
- [Braz Júnior, 2002] Braz Júnior, D., Martins, R. A.. Física Moderna: Tópicos para o Ensino Médio. 1ª Edição. Campinas: Companhia da Escola, 2002.
- [Brenelli, 2001] Brenelli, R. P. Espaço lúdico e diagnóstico em dificuldades de aprendizagem: contribuição do jogo de regras. Rio de Janeiro: Vozes, p.167-189, 2001.
- [Brougere, 2003] Brougere, G. Jogo e Educação. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- [Campos, 2003] Campos, L. M. L. et al. A produção de jogos didáticos para o ensino de ciências e biologia: uma proposta para favorecer a aprendizagem. *Caderno dos núcleos de Ensino*, v. 47, p. 47-60, 2003.

[Carvalho e Zanetic, 2004] Carvalho, S.; Zanetic, J. Ciência e arte, razão e imaginação: complementos necessários à compreensão da física moderna. *Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*, v. 9, 2004.

[Catelli e Vicenzi, 2004] Catelli, Francisco e Scheila Vicenzi. Interferômetro de Michelson. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, p. 350-358, 2004.

[Cunha, 2012] Cunha, M. B. Jogos no ensino de química: considerações teóricas para sua utilização em sala de aula. *Química Nova na Escola*, v. 34, n. 2, p. 92-98, 2012.

[De Souza Massa, 2017] De Souza Massa, M. Ludicidade: da Etimologia da Palavra à Complexidade do Conceito. Aprender. *Caderno de Filosofia e Psicologia da Educação*. Disponível em: <<http://periodicos2.uesb.br/index.php/aprender/article/view/2460>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

[Einstein, 1905] Einstein, A. Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento. Lorentz, H. A, Einstein, A. E Minkowski, H. O princípio da relatividade. Lisboa: Calouste Gulbekian., 1905.

[Gil Pèrez, 1987] Gil Pèrez, D.; Senet, F.; Solbes, J. La introduccion a la física moderna: un ejemplo paradigmatico de cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelola, n. extra, p.189-195, 1987.

[Halliday, 2007] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.. Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna, v. 4. 7ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2007.

[Huizinga, 2008] HUIZINGA, Johan. Homo Ludens: o Jogo como Elemento na Cultura (1938). São Paulo: Perspectiva, 2008.

[Kishimoto, 1998] Kishimoto, Tizuko Morchida. Brincar e suas teorias. Cengage Learning Editores, 1998.

[Lopes, 2003] Lopes, M. C. Comunicação humana: contributos para a busca dos sentidos do humano. Aveiro, Universidade de Aveiro, 2003.

[Magalhães, 2002] Magalhães, Josiane. A formação da consciência crítica e o ensino de ciências. UNESP–Campinas, SP, 2002.

[Martins, 1986] Martins, R. A. Galileu e Princípio da Relatividade. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, v. 9, p 69-86, 1986.

[Ostermann e Moreira, 2000] 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*, v.5, n.1, p. 23-48, 2000.

[Ostermann e Cavalcanti, 1999] Ostermann, F., Cavalcanti, C. J. H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16 (3), p. 267-286, 1999.

[Tipler, 2006] Paul A Tipler, Ralph A. Llewellyn. Física Moderna; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

[Perreira, 2008] Perreira, R. F. Desenvolvendo jogos educativos para o ensino de Física: um material didático alternativo de apoio ao binômio ensino-aprendizagem. *Dissertação (Mestrado). Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática*, Universidade Estadual de Maringá, 2008.

[Pires, 2011] Pires, A. S. T. Evolução das ideias da Física. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

[Resnick, 1923] Resnick, R, Introdução à Relatividade Especial; tradução de Shigeo Watanabe. São Paulo: E. Univ. de São Paulo e Ed Polígono, 1923.

[Schaeffer,2006] Schaeffer, E. H. O jogo matemático como experiência de diálogo: análise fenomenológica da percepção de professores de matemática. *Dissertação (Mestrado)–Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática*, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

[Serway, 2004] Serway, R. A.; Jhon Jr., W. Princípios da Física -Mecânica Clássica. Cengage Learning Edições Ltda., 2008.

[Soares, 2004] Soares, Márlon Herbert Flora Barbosa. O lúdico em Química: jogos e atividades aplicados ao ensino de Química, 2004.

[Terrazzan, 1992] Terrazzan, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v 9, n 3, p. 209-214, 1992.

[Valadares e Moreira, 1998] Valadares, E. C.; Moreira, A. M. Ensinando Física Moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.15, n.2, p.121-135, 1998.

[Vygotsky, 1991] Vygotsky, Lev Semionovich. A formação social da mente. Trad. José Cipolla Neto. São Paulo, Martins 1991.

[Wolff e Mors, 2005] Wolff, J.F.S. Mors; P.M. Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein. *Textos de apoio ao professor*, v. 16, n. 5, 2005.

[Zanetic, 2005] Zanetic, J. Física e cultura. *Ciência e Cultura*, v.57, n. 3, p.21-24, 2005.

Apêndice 1

Imagens das cartas

Cartas Nível 1

<p>1- Sobre a teoria da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: O tempo é uma grandeza absoluta.</p>	<p>2- Sobre a teoria da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: Para objetos que possui velocidades de 99% da velocidade da luz, ocorre a contração dos comprimentos.</p>	<p>3- Sobre a teoria da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: Para objetos que possui velocidades de cerca de 99% da velocidade da luz, ocorre a contração do tempo.</p>	<p>4- Sobre a teoria da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: Para objetos que possui velocidades de 99% da velocidade da luz, ocorre a dilatação dos comprimentos.</p>
<p>5- Sobre os postulados da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais que mantêm velocidade constante ou que estão parados.</p>	<p>6- Sobre os postulados da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para qualquer referencial inercial e vale aproximadamente 3×10^8 m/s.</p>	<p>7- Com base na Teoria da Relatividade de Albert Einstein, publicada em 1905, analise a afirmação e responda se está Correta ou Errada: O comprimento contrai, isto é, um mesmo corpo pode ter comprimentos diferentes quando medido por dois observadores, um em repouso e o outro em movimento retilíneo uniforme em relação ao primeiro.</p>	<p>8- Com relação à Teoria da Relatividade Especial ou Restrita. Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada: A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c em todos os referenciais inerciais, independentemente da velocidade do observador ou da velocidade da fonte que a emite.</p>
<p>9- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada: A Física moderna é o estudo da Física desenvolvido no final do século XIX e início do século XX. Em particular, é o estudo da Mecânica Quântica e da Teoria da Relatividade Restrita.</p>	<p>10- Com relação à Teoria da Relatividade Especial ou Restrita. Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada: A relatividade da noção de simultaneidade deriva do fato de que a velocidade da luz no vácuo independe do sistema referencial inercial em relação ao qual ela é medida.</p>	<p>11- Com base na Teoria da Relatividade de Albert Einstein, publicada em 1905, analise a afirmação e responda se está Correta ou Errada: A velocidade da luz no vácuo tem seu valor aproximado de 300.000 km/s, independente do referencial.</p>	<p>12- Com relação à Teoria da Relatividade Especial ou Restrita. Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada: Um segundo postulado da teoria da relatividade especial é o de que a velocidade da luz no vácuo é uma constante universal que não depende do movimento da fonte de luz.</p>

Verso das Cartas Nível 1



cont. das Cartas Nível 1 e Cartas Desafios

<p>13- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>A relatividade trata de eventos com dimensões atômicas, enquanto a mecânica quântica trata de eventos com velocidades próximas à da luz.</p>	<p>14- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>O suposto meio material no qual se propagam as ondas eletromagnéticas foi chamado de ÉTER, mas o experimento de Michelson-Morley não conseguiu medidas satisfatórias da sua existência.</p>	<p>15- Segundo a Teoria da Relatividade Restrita. Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Na natureza, não podem ocorrer interações de velocidades superiores à velocidade da luz c.</p>	<p>16- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Um foguete com velocidade V muito grande em relação à Terra, cerca de 80% do valor de c, emite um pulso de luz para frente, na mesma direção do seu movimento. Uma pessoa dentro do foguete mede que a velocidade para a luz, será de $V+c$.</p>
<p>17- Com base na Teoria da Relatividade de Albert Einstein, publicada em 1905, analise a afirmação e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>O tempo dilata, isto é, um mesmo evento pode transcorrer em intervalos de tempo diferentes quando medido por dois observadores, um em repouso e o outro em movimento retilíneo uniforme em relação ao primeiro.</p>	 <p>(DESAFIO 1) Devido ao um erro de navegação do seu piloto, responda uma pergunta nível 1 do Teste Einstein, caso acerte vá para casa seguinte caso erre você volta uma casa.</p>	 <p>(DESAFIO 2) Sua nave está com problemas mecânico, você só poderá seguir se responder uma pergunta nível 2 do Teste Einstein, caso acerte vá para casa seguinte caso erre você volta uma casa.</p>	 <p>DESAFIO 3) Você esta numa nebulosa também conhecida como berçário de estrelas, logo você deve ficar uma roda sem jogar</p>
 <p>(DESAFIO 4) Você chegou numa estação espacial, parabéns avance 2 casas.</p>	 <p>(DESAFIO 5) Sua nave foi atingida por algum objeto não identificado, volte para estação espacial.</p>	 <p>(DESAFIO 6) Você chegou na segunda estação espacial, onde tem combustível especial que fará você ir para casa 34, mas para isso acontecer, responda uma carta nível 2, caso erre deverá ficar sem jogar por 02 rodadas.</p>	 <p>(DESAFIO 7) Você esta muito proximo de uma estrela de neutron, estrela com uma densidade muito alta e campo gravitacional elevado, isso ira desviar sua rota, logo fique 03 rodadas sem jogar.</p>

Verso das Cartas Nível 1 e das Cartas Desafio



Cartas Nível 2

<p>1- Se você estivesse se movendo numa espaçonave em alta velocidade em relação a Terra, você notaria alguma diferença em sua própria pulsação?</p>	<p>2- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Segundo a Teoria da Relatividade de Einstein, uma pessoa que viaja a uma velocidade próxima à da luz, vista por outra considerada em repouso. <u>Terá um tamanho menor.</u></p>	<p>3- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>A Mecânica Clássica não impõe limite para o valor da velocidade que uma partícula pode adquirir, pois enquanto durar a ação de uma força sobre ela haverá aceleração e sua velocidade poderá aumentar indefinidamente.</p>	<p>4- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Corpos em movimento, com velocidades próximas à da luz, sofrem contrações em suas três dimensões em relação às que possuem quando em repouso.</p>
<p>5- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Em uma nave espacial que está em movimento a alta velocidade, cerca de $0,9c$, através do espaço a tripulação assiste a um filme de 2h de duração. Um observador ligado à Terra medirá a duração do filme como <u>maior que 2h</u>. Pois qualquer observador em movimento com relação à nave espacial, que inclui o observador na Terra, medirá um intervalo de tempo <u>maior devido a dilatação do Tempo</u>.</p>	<p>6- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Em uma nave espacial que está em movimento a alta velocidade, cerca de $0,9c$, através do espaço a tripulação assiste a um filme de 2h de duração. Um observador ligado à Terra medirá a duração do filme como <u>menor que 2h</u>. Pois qualquer observador em movimento com relação à nave espacial, que inclui o observador na Terra, medirá um intervalo de tempo <u>menor devido a dilatação do Tempo</u>.</p>	<p>7- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Em uma nave espacial que está em movimento a alta velocidade, cerca de $0,9c$, através do espaço a tripulação assiste a um filme de 2h de duração. Um observador ligado à Terra medirá a duração do filme como <u>igual a 2h</u>. Pois qualquer observador em movimento com relação à nave espacial, que inclui o observador na Terra, medirá um intervalo de tempo <u>igual devido o Tempo ser absoluto</u>.</p>	<p>8- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Na teoria da Relatividade Restrita, proposta por Einstein, não há tempo absoluto, ou seja, cada indivíduo tem sua própria medida de tempo, sendo esta dependente de onde você está e como está se movendo.</p>
<p>9- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Na Relatividade, proposta por Galileu e Newton, o tempo é absoluto, ou seja, cada indivíduo tem a mesma medida de tempo.</p>	<p>10- Paulo Sérgio, viajando em sua nave, aproxima-se de uma plataforma espacial, com velocidade de $0,7c$, em que c é a velocidade da luz. Para se comunicar com Paulo Sérgio, Priscila, que está na plataforma, envia um pulso luminoso em direção à nave. Com base nessas informações, é correto afirmar que a velocidade do pulso medida por Paulo Sérgio é de:</p> <p>a) $0,7c$. b) $1,0c$. c) $0,3c$. d) $1,7c$. e) $2,0c$</p>	<p>11- A teoria da Relatividade Especial prediz que existem situações nas quais dois eventos que acontecem em instantes diferentes, para um observador em um dado referencial inercial, podem acontecer no mesmo instante, para outro observador que está em outro referencial inercial. Ou seja, a noção de simultaneidade é relativa e não absoluta.</p> <p>A relatividade da simultaneidade é consequência do fato de que:</p> <p>a) a teoria da Relatividade Especial só é válida para velocidades pequenas em comparação com a velocidade da luz. b) a velocidade de propagação da luz no vácuo depende do sistema de referência inercial em relação ao qual ela é medida. c) a teoria da Relatividade Especial não é válida para sistemas de referência inerciais. d) a velocidade de propagação da luz no vácuo não depende do sistema de referência inercial em relação ao qual ela é medida.</p>	<p>12- Segundo a Teoria da Relatividade de Einstein, uma pessoa que viaja a uma velocidade próxima à da luz, vista por outra considerada em repouso.</p> <p>I – Envelhecerá menos rapidamente. II – Terá um tamanho menor. III – Terá uma massa maior.</p> <p>Das afirmativas acima,</p> <p>a) apenas a I é correta b) apenas a II é correta c) apenas I e II são corretas d) apenas I e III são corretas e) I, II e III são corretas.</p>



Verso das Cartas Nível 2



cont. das Cartas Nível 2 e Carta Coringa

<p>13- Sobre a Teoria da Relatividade são feitas as afirmações abaixo.</p> <p>I. Corpos em movimento sofrem contração na direção desse movimento em relação ao tamanho que possuem quando medidos em repouso.</p> <p>II. Um relógio em movimento funciona mais lentamente que o relógio em repouso, para um observador em repouso.</p> <p>III. A velocidade de qualquer objeto em relação a qualquer referencial não pode ser maior que a velocidade da luz no vácuo.</p> <p>Está correto o que se afirma em</p> <p>a) III, somente. b) I e II, somente. c) I e III, somente. d) II e III, somente. e) I, II e III.</p>	<p>14- Qual das afirmações a seguir é correta para a teoria da relatividade de Einstein?</p> <p>a) No vácuo, a velocidade da luz depende do movimento da fonte de luz e tem igual valor em todas as direções. b) Elétrons são expulsos de uma superfície quando ocorre a incidência de uma radiação eletromagnética (luz). c) Em determinados fenômenos, a luz apresenta natureza de partícula e, em outros, natureza ondulatória. d) Na natureza, não podem ocorrer interações de velocidades superiores à velocidade da luz c.</p>	<p>15- Em relação às teorias da relatividade restrita e geral, qual a alternativa está correta:</p> <p>a) A teoria da relatividade restrita estuda fenômenos em relação a referenciais inerciais. b) A teoria da relatividade geral é uma segunda teoria feita por Einstein, na qual erros em relação à teoria da relatividade restrita foram corrigidos. c) A teoria da relatividade geral aborda fenômenos do ponto de vista inercial. d) Ambas as teorias foram desenvolvidas na segunda metade do século XIX.</p>	<p>16- A teoria da relatividade restrita prevê que a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores, independentemente do estado de movimento relativo entre eles. Com base nessa afirmação, imagine duas naves que viajam no espaço com velocidades altíssimas em uma mesma direção, mas com sentidos opostos. Se cada nave possui velocidade V e a velocidade da luz no vácuo é c, a luz percebida pelo piloto teria velocidade:</p> <p>a) $V + c$ b) $c - V$ c) $V - c$ d) c e) $2c$</p>
<p>17- Suponha que os astronautas recebessem seus salários de acordo com o tempo gasto viajando pelo espaço. Após uma longa viagem em uma velocidade próxima à da luz, uma tripulação de astronautas retorna à Terra e recebe o pagamento. Supondo que seu tempo de serviço tenha sido medido na Terra. Como irão reagir?</p> <p>a) Eles ficarão felizes pelo grande pagamento, porque o tempo para o patrão que ficou na Terra será maior que o deles que viajaram. b) Eles ficarão triste pelo pequeno pagamento, porque o tempo para o patrão que ficou na Terra será menor que o deles que viajaram. c) O pagamento será o mesmo, porque o tempo para o patrão que ficou na Terra será o mesmo que o deles que viajaram. d) Eles não receberão o pagamento, porque o tempo foi indeterminado.</p>	 <p>Você está em um buraco de minhoca, isso poderá lhe enviar para casa 24, para isso acontecer responda uma carta nível 3 e acerte, caso erre você voltará para casa 16.</p>		

Verso das Cartas Nível 2 e da Carta Coringa

 <p>NÍVEL 2</p>	 <p>NÍVEL 2</p>	 <p>NÍVEL 2</p>	 <p>NÍVEL 2</p>
 <p>NÍVEL 2</p>	 <p>BURACO DE MINHOCA</p>		

Cartas Nível 3

<p>1- A teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein em 1905, é revolucionária porque mudou as ideias sobre o espaço e o tempo, mas em perfeito acordo com os resultados experimentais. Ela é aplicada, entretanto, somente a referenciais inerciais. Sobre os referenciais inerciais, responda se Certo ou Errada a seguinte afirmativa:</p> <p>São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com <u>velocidade constante</u>.</p>	<p>2- A teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein em 1905, é revolucionária porque mudou as ideias sobre o espaço e o tempo, mas em perfeito acordo com os resultados experimentais. Ela é aplicada, entretanto, somente a referenciais inerciais. Sobre os referenciais inerciais, responda se Certo ou Errada a seguinte afirmativa:</p> <p>São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com <u>velocidade variável</u>.</p>	<p>3- A teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein em 1905, é revolucionária porque mudou as ideias sobre o espaço e o tempo, mas em perfeito acordo com os resultados experimentais. Ela é aplicada, entretanto, somente a referenciais inerciais. Sobre os referenciais inerciais, responda se Certo ou Errada a seguinte afirmativa:</p> <p>Observadores em referenciais inerciais diferentes medem a mesma aceleração para o movimento de uma partícula.</p>	<p>04- Se você fosse de alguma forma capaz de viajar à velocidade da luz, qual seria o tamanho do universo de acordo com suas medidas?</p>
<p>05- Qual deve ser a velocidade de uma régua de um metro em relação a um observador, se esse observador mede seu comprimento de como de 64 cm?</p>	<p>06- Se você caminha a 1km/h no corredor de um trem, no mesmo sentido em que este se move em linha reta com velocidade constante de 60km/h, qual a sua rapidez em relação ao solo?</p>	<p>07- Quantos eixos de coordenadas são normalmente empregados para descrever o espaço tridimensional? O que mede a quarta dimensão?</p>	<p>08- O que é constante no segundo postulado de Einstein?</p>
<p>09- Qual é a expressão algébrica para o fator de Lorentz,</p>	<p>10- Como consequência da Teoria da Relatividade Restrita, temos relação entre o <u>tempo</u> medido por um observador que viaja próximo a velocidade da luz</p>	<p>11- Como consequência da Teoria da Relatividade Restrita, temos relação entre o comprimento medido por um observador que viaja próximo a velocidade da luz</p>	<p>12- Se você estivesse viajando numa nave espacial em alta velocidade, as réguas existentes a bordo lhe pareceriam contraídas? Justifique sua resposta.</p>

Verso das Cartas Nível 3



cont. das Cartas Nível 3 e Cartas Desafios Final

<p>13- Suponha que uma nave se afasta de um planeta com velocidade $v = 0,2c$, onde $c = 3 \cdot 10^8$ m/s é a velocidade da luz no vácuo. Em um determinado momento, a nave envia um sinal luminoso para comunicar-se com o planeta. Determine a velocidade do sinal medida por um observador na nave e a medida por um observador no planeta.</p>	<p>14 - Com relação à Teoria da Relatividade Especial ou Restrita. Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada A velocidade da luz no vácuo tem valores diferentes em todos os referenciais inerciais, independentemente da velocidade do observador ou da velocidade da fonte que a emite.</p>	<p>15- Como consequência da Teoria da Relatividade Restrita, temos relação entre o tempo medido por um observador que viaja próximo a velocidade da luz (ΔT_0) e um observador num referencial fixo (ΔT), como é escrita essa relação:</p>	<p>16- Como consequência da Teoria da Relatividade Restrita, temos relação entre o comprimento medido por um observador que viaja próximo a velocidade da luz (L) e um observador num referencial fixo (L_0), como é escrita essa relação:</p>
<p>17- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada: Segundo a Teoria da Relatividade de Einstein, uma pessoa que viaja a uma velocidade próxima à da luz, vista por outra considerada em repouso. Envelhecerá rapidamente.</p>	<p>DESAFIO FINAL 1- Um astronauta é colocado a bordo de uma espaçonave e enviado para uma estação espacial a uma velocidade constante $v = 0,8 c$, onde c é a velocidade da luz no vácuo. No referencial da espaçonave, o tempo transcorrido entre o lançamento e a chegada na estação espacial foi de 12 meses. Qual o tempo transcorrido no referencial da Terra, em meses?</p>	<p>DESAFIO FINAL 2- Um trem de comprimento igual a 100 m viaja a uma velocidade de $0,8 c$, onde c é a velocidade da luz, quando atravessa um túnel de comprimento igual a 70 m. Quando visto por um observador parado ao lado dos trilhos, é CORRETO afirmar que o trem</p>	<p>DESAFIO FINAL 3- Em relação a um sistema de referência em repouso, dois elétrons movem-se em sentidos opostos, ao longo da mesma reta, com velocidades de módulos iguais a $c/2$. Determine a velocidade relativa de aproximação entre os elétrons.</p>
<p>DESAFIO FINAL 04- Calcule a velocidade relativa de um relógio necessária para que um observador estacionário verifique que a taxa do seu relógio se reduz à metade da taxa do relógio idêntico que se move em relação a ele.</p>	<p>DESAFIO FINAL 05- Um passageiro de uma nave espacial que se desloca com velocidade de módulo $v = 0,8c$ em relação à Terra mede o comprimento de uma mesa a bordo como sendo 1 m. Qual será o comprimento desta mesa medida em um referencial na Terra? Suponha que a maior dimensão da mesa esteja orientada ao longo da linha que conecta a nave a Terra.</p>	<p>DESAFIO FINAL 06- Uma nave espacial viaja com uma velocidade de módulo $v = 0,7c$ em missão a um planeta que orbita a estrela Próxima Centauri . Após um intervalo de 10 horas a partir do lançamento (medido em um relógio na nave), um dos tripulantes comunica-se via rádio (onda eletromagnética) com a base na Terra pela primeira vez. Quanto tempo leva para os cientistas da base receber este sinal de rádio?</p>	

Verso das Cartas Nível 3 e das Cartas Desafio Final



Apêndice 2

Cartão resposta

Cartas Nível 1	Cartas Nível 2	Cartas Nível 3
1- R. Errado	1- R. Não porque a velocidade relativa entre você e o seu pulso é nula, porque os dois estão no mesmo sistema de referência.	1- R. Correta
2- R. Correta		2- R. Errado
3- R. Errado		3- R. Correta
4- R. Errado	2- R. CORRETA	4- R. De acordo com a equação $L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, o comprimento do universo seria contraído a um tamanho nulo, pois $v = c$. Ele manteria o tamanho original nas direções perpendiculares à sua velocidade.
5- R. CORRETA	3- R. CORRETA	
6- R. CORRETA	4- R. ERRADA	
7- R. CORRETA	5- R. CORRETA	
8- R. CORRETA	6- R. ERRADA	
9- R. CORRETA	7- R. ERRADA	5- R. 0,4c
10- R. CORRETA	8- R. CORRETA	6- R. 61km/h
11- R. CORRETA	9- R. CORRETA	7- R. São empregados três eixos X,Y e Z. A quarta dimensão mede o tempo.
12- R. CORRETA	10- B	8- R. A velocidade da Luz.
13- R. ERRADA	11- D	9- R. $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}$
14- R. CORRETA	12- E	10- R. $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
15- R. CORRETA	13- E	11- R. $L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$
16- R. ERRADA	14- D	12- R. Não, porque as réguas estão no mesmo referencial do observador.
17- R. CORRETA	15- A	
	16- D	
	17- A	
CARTAS DESAFIO FINAL		
1- R-20 meses		13- R. A velocidade do sinal é igual a c, qualquer que seja o referencial adotado
2- R- fica totalmente dentro do túnel e sobra um espaço de 10 m, pois o tamanho medido pelo observador no trilho é de 60m.		14- R. ERRADA
3- R- 4c/5		15- R. ERRADA
4- R- $v = \sqrt{\frac{3}{4}}c \approx 0,866c$, ou seja, aproximadamente 87% a velocidade da luz.		16- R. CORRETA
5- R- L=0,6m		17- R. ERRADA
6- R-23,8 horas após o lançamento.		

Apêndice 3

PRÉ TESTE/PÓS TESTE

Questão 1

Com certeza você já ouviu algo sobre a Teoria da Relatividade. Em poucas palavras disserte sobre esta teoria.

Questão 2

No cotidiano, onde podemos encontrar a aplicabilidade da Teoria da Relatividade?

Questão 3

Você conhece os postulados da Teoria da Relatividade Restrita? Cite-os.

Questão 4

Suponha que dois astronautas recebessem seus salários de acordo com o tempo gasto em sua viagem pelo espaço. Após uma longa viagem com uma velocidade próxima à da luz, a tripulação de astronautas retorna à Terra e recebe o pagamento. Como vão reagir os astronautas e seu patrão? Levando em consideração você sendo o patrão, qual o melhor relógio para referência do pagamento?

Questão 5

Como você representa o conceito de espaço-tempo, proposto na Teoria da Relatividade Geral?

Apêndice 4



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE

Eu, **Leandro Carlos de Freitas Celestino**, mestrando do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, estou desenvolvendo a pesquisa intitulada **“O JOGO DE TABULEIRO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO”**, sob a orientação da Professora Dr^a Sara Cristina Pinto Rodrigues.

Por este motivo venho, pelo presente, solicitar a autorização para participação dos alunos matriculados nos ensino médio do Colégio da Polícia Militar de Pernambuco. A participação não é obrigatória e constará de aplicação de questionários, entrevistas e aplicação de um Produto Educacional voltado para o Ensino de Física.

O objetivo deste estudo é analisar uma proposta metodológica no Ensino de Física em especial o ensino da Teoria da Relatividade, utilizando o jogo de tabuleiro como recurso didático.

Informo que a participação na pesquisa é livre. As respostas dadas aos questionários e entrevistas serão analisadas e publicadas, sem fazer referência ao nome do participante. Ressalto que o sigilo das informações será mantido bem como o das imagens dos participantes. O Colégio da Polícia Militar de Pernambuco receberá uma cópia deste termo onde consta o contato do pesquisador, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e a participação dos alunos, agora ou a qualquer momento. Solicito devolução deste documento assinado e datado.

Contato do Pesquisador Leandro Carlos de Freitas Celestino - (freitas.leandro68@gmail.com).

Eu, Marcos Felipe Mendonça de Neri, Assessor Técnico Pedagógico da área de Física e Química do Colégio da Polícia Militar de Pernambuco, declaro que entendi o objetivo da pesquisa e aceito participar, bem como autorizo a utilização e divulgação dos resultados. Entendo que meus dados pessoais serão mantidos em sigilo e que os resultados obtidos através da pesquisa serão utilizados para alcançar os objetivos do trabalho exposto acima, incluindo sua publicação na literatura científica especializada.

Recife, 04 de novembro de 2018

Marcos Felipe de Neri

- Assinatura -

RG nº 2798197-5 Órgão Expedidor CBMPE

E-mail e telefone mendonca.bombete@gmail.com (81) 9.9786-6757

Leandro Carlos de F. Celestino

Assinatura do pesquisador

Apêndice 5

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



PRODUTO EDUCACIONAL

O JOGO DE TABULEIRO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

Leandro Carlos de Freitas Celestino

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:
Prof^ª. Dr^ª. Sara Cristina Pinto Rodrigues

Recife
Janeiro 2020

Lista de Figuras

Figura 3.1 – Teste Einstein aplicado em sala de aula	02
Figura 3.2 – Arte usada no produto.....	03
Figura 3.3 – Imagem do tabuleiro pronto.....	04
Figura 3.4 – Arte usadas nos dados.....	05
Figura 3.5 – Imagem dos dados prontos.....	05
Figura 3.6 – Imagem dos pinos usados no jogo.....	06
Figura 3.7 – Imagem da busca “Spacecraft Chess”	06
Figura 3.8 – Imagem da busca “Toy Spacecraft”	07
Figura 3.9 – Imagem da pasta que devemos clicar.....	07
Figura 3.10 – Imagem do arquivo aberto no programa Repiter.....	07
Figura 3.11 – Imagem do redimensionamento no programa Repiter.....	08
Figura 3.12 – Imagem do fatiamento e geração do arquivo gcode.....	08
Figura 3.13 – Imagem dos pinos na impressora 3D.....	09
Figura 3.14 – Imagens das cartas, utilizadas no jogo.....	09
Figura 5.1 – Aplicação do pré-teste em sala.....	13
Figura 5.2 – Aplicação do jogo.....	15
Figura 5.3 – Alunos resolvendo os problemas das Cartas.....	15

Sumário

1 Apresentação	01
2 Objetivo	02
3 Descrição da construção do produto	02
3.1 O tabuleiro	03
3.2 Os dados	04
3.3 Os pinos	06
3.4 As cartas	09
4 Regras do jogo	10
5 Descrição da aplicação do produto	11
5.1 Preparação da turma e cronograma	11
5.2 Aplicação do jogo.....	13
6 Considerações finais	16
7 Referências Bibliográficas	17
Apêndice 1 Imagens das Cartas	18
Apêndice 2 Imagem do Cartão Resposta	30
Apêndice 3 Pré-teste	31

1 Apresentação

Este produto educacional pretende apenas dar uma visão geral, e certamente incompleta, da Teoria da Relatividade proposta por Albert Einstein. É importante que o professor tenha sempre em mente o escopo dessa pretensão. Os trabalhos referentes a essa temática são vastíssimos e em um produto educacional como esse não é possível fazer mais do que focar alguns aspectos dessa teoria, levando aos alunos do ensino médio um pouco da Física Moderna e Contemporânea.

A luz dos os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), onde afirma que é importante a utilização de diferentes materiais e recursos didáticos em sala de aula, assim como, a mudança no processo ensino aprendizagem, no viés dessas mudanças os PCNs sugerem diferentes estratégias que os professores poderiam adotar, como por exemplo: experimentação, jogos, debates, simulações entre outros (Brasil, 2002). Esse produto educacional, utilizamos a metodologia do ensino lúdico da ciência, onde ela pode ser utilizada como promotora da aprendizagem nas práticas escolares, possibilitando a aproximação dos alunos ao conhecimento científico. Nesse sentido, este trabalho traz a proposta de um jogo de tabuleiro com a função de promover a construção do conhecimento de forma efetiva e contextualizada.

Nessa ótica, esse jogo de tabuleiro deve ser aplicado a alunos do 1º ano do ensino médio, pois acreditamos na possibilidade do estudo dessa temática para esse público alvo.

A seguir apresentaremos o objetivo, a descrição da construção do produto, as regras do jogo, a aplicação do produto e por fim as considerações finais desse trabalho.

2 Objetivo

O jogo apresentado nesse trabalho foi construído com o objetivo de possibilitar de maneira motivadora, reflexiva e problematizadora, a aprendizagem significativa de vários conceitos estudados em física moderna, especificamente, no tópicos relativos Teoria da Relatividade.

3 Descrição da construção do produto

O jogo chamado Teste Einstein é um basicamente um jogo de tabuleiro com perguntas e respostas, onde cada jogador deve percorrer as casas do circuito devido a cada jogada, cumprindo também, determinações que algumas casas espalhadas pelo tabuleiro exigem, ao passo que são respondidas algumas perguntas propostas quando as jogadas forem realizadas.

O jogo, Teste Einstein, é formado por um tabuleiro, dois dados um chamado de marcador e outro de indicador, três pinos (naves), 17 cartas nível 1, 17 cartas nível 2, 17 cartas nível 3, 07 cartas desafios, 01 carta coringa e 06 cartas finais. Além das cartas temos o caderno resposta.



Figura 3.1 Teste Einstein aplicado em sala de aula (Elaborada pelo autor, 2020).

3.1 O tabuleiro

A arte do tabuleiro foi construída com o auxílio do programa Corel Draw 2018 com ilustração temática de uma viagem espacial, ela é composta por 39 casas que devem ser percorridas através das jogadas, dessas temos sete casas desafio, uma casa coringa e uma casa desafio final. Ela possui um tamanho de 30cm X 40cm, foi salva em formato pdf e impressa em material adesivo vinil semi-brilho em alta qualidade. A arte do tabuleiro encontra-se no anexo deste trabalho. A figura 3.2 mostra a arte do tabuleiro.

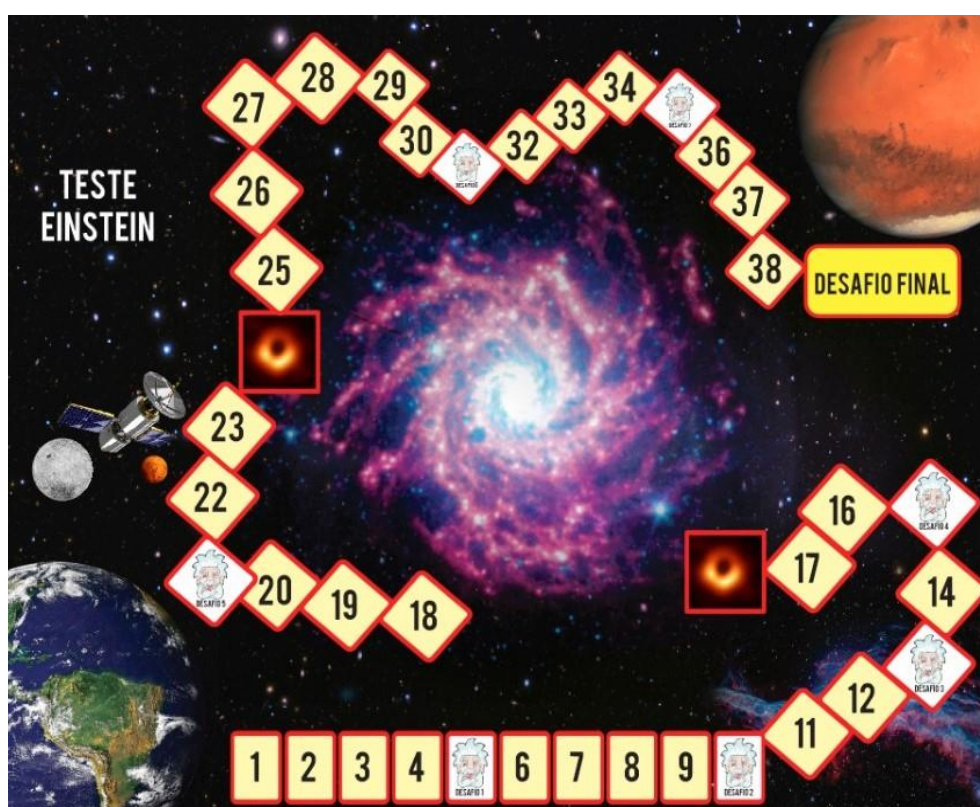


Figura 3.2 Arte usada no produto (Elaborada pelo autor, 2020).

Além do adesivo gráfico foi fabricado um suporte de madeira, nas mesmas dimensões, dividido ao meio e posto duas dobradiças, para diminuir o tamanho e facilitar o acondicionamento, e uma cava no meio para jogar os dados por fim foi colado o adesivo, conforme é apresentado na figura 3.3.



Figura 3.3 Imagem do tabuleiro pronto (Elaborada pelo autor, 2020).

3.2 Os dados

Foi comprado dois dados convencionais onde foi adesivado em um deles três círculos verdes e três interrogações vermelhas e no outro dado foi adesivado em cada face dois números 1, dois números 2 e dois números 3, conforme as imagens abaixo da figura 3.4, logo cada um dos dados foram chamados respectivamente de dado marcado e dado indicador, ver imagem da a figura 3.5. Após a adesivação foi posto uma película de fita adesiva com o objetivo de preservar a imagem nos dados.

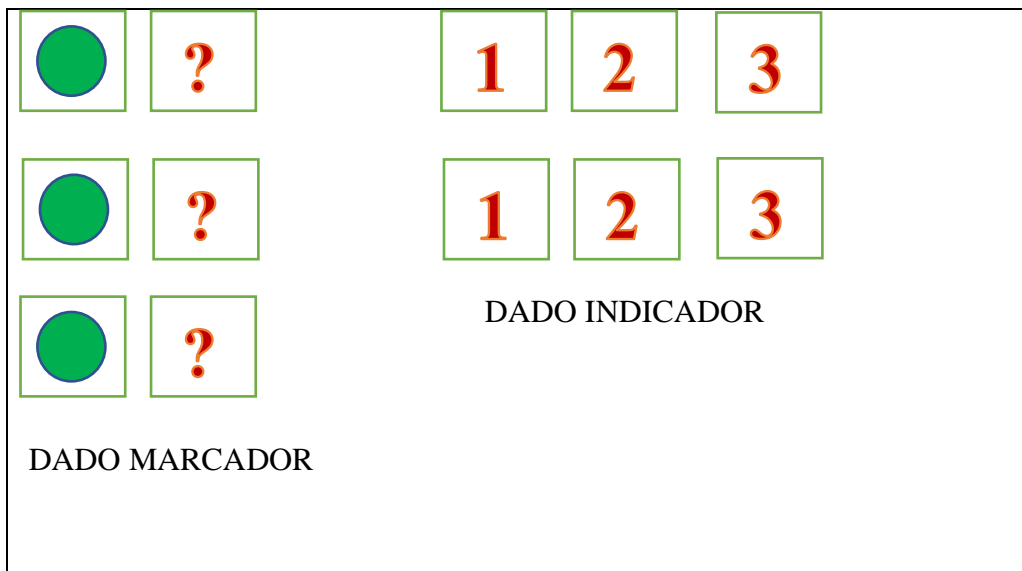


Figura 3.4 Arte usadas nos dados (Elaborada pelo autor, 2020).

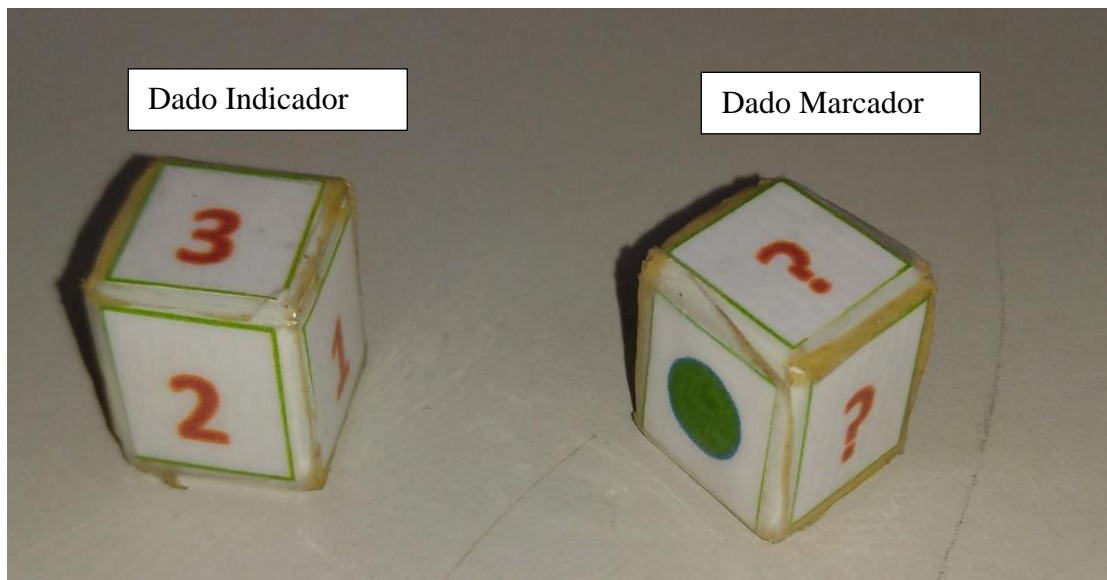


Figura 3.5 Imagem dos dados prontos (Elaborada pelo autor, 2020).

3.3 Os pinos

Os pinos tem a arte gráfica de três naves espaciais como mostra a figura 3.6, foram feitos através da impressora 3D, da própria escola, mas poderia ser feito por qualquer outro material, como por exemplo de cartolina, isopor ou até mesmo madeira.



Figura 3.6 Imagem dos pinos usados no jogo (Elaborada pelo autor, 2020).

Como esse trabalho foi utilizado a impressora 3D, abaixo temos o passo a passo da construção dos pinos (figuras 2.7 a 2.13):

- 3- Acessar o site: www.thingiverse.com, que é uma comunidade de design para criar e compartilhar programação de para impressão 3D, tudo de forma gratuita;
- 4- Na aba de localizar objetos digitamos: Spacecraft Chess e Toy Spacecraft, e aparece as imagens das figuras 3.7 e .3.8;

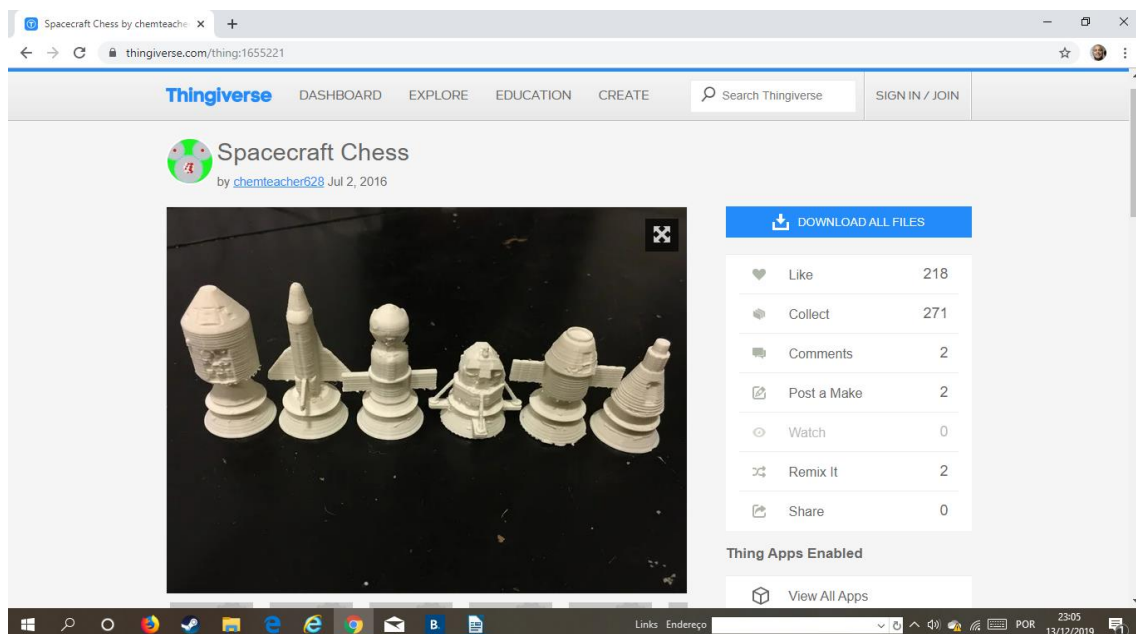


Figura. 3.7 Imagem da busca “Spacecraft Chess” (Elaborada pelo autor, 2020).

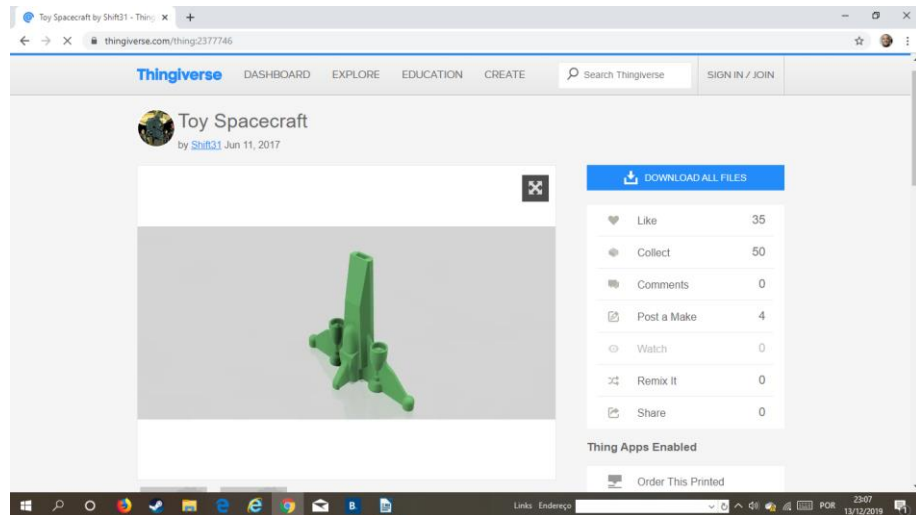


Figura 3.8 Imagem da busca “Toy Spacecraft” (Elaborada pelo autor, 2020) .

- 3- Realizamos o download dos arquivos escolhidos;
- 4- Descompactamos os arquivos baixados e clicamos na pasta files (Figura 3.9);

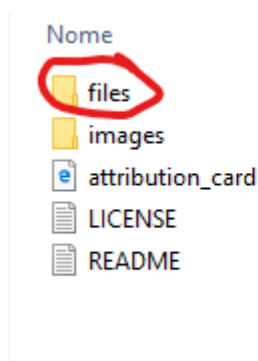


Figura 3.9 Imagem da pasta que devemos clicar (Elaborada pelo autor, 2020).

- 5- Com o auxílio do programa Repiter, abrimos os arquivos;

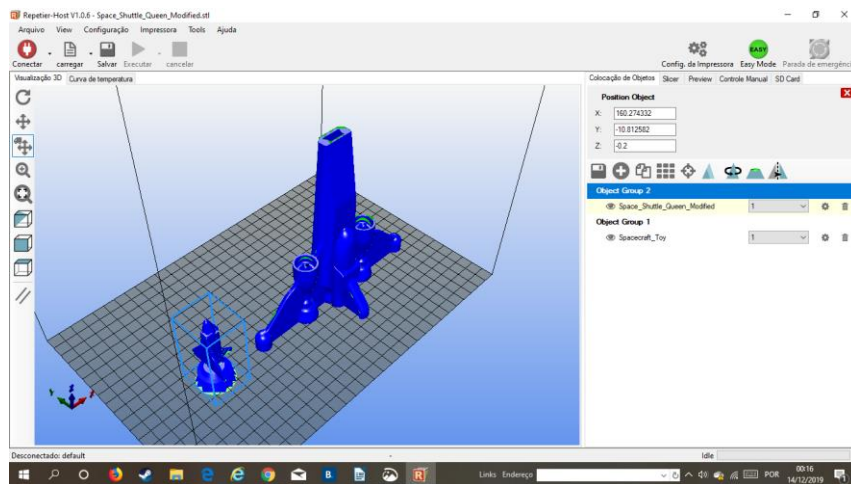


Figura 2.10 Imagem do arquivo aberto no programa Repiter (Elaborada pelo autor, 2020).

6- Redimensionamos as peças, que precisam de ajuste no tamanho;

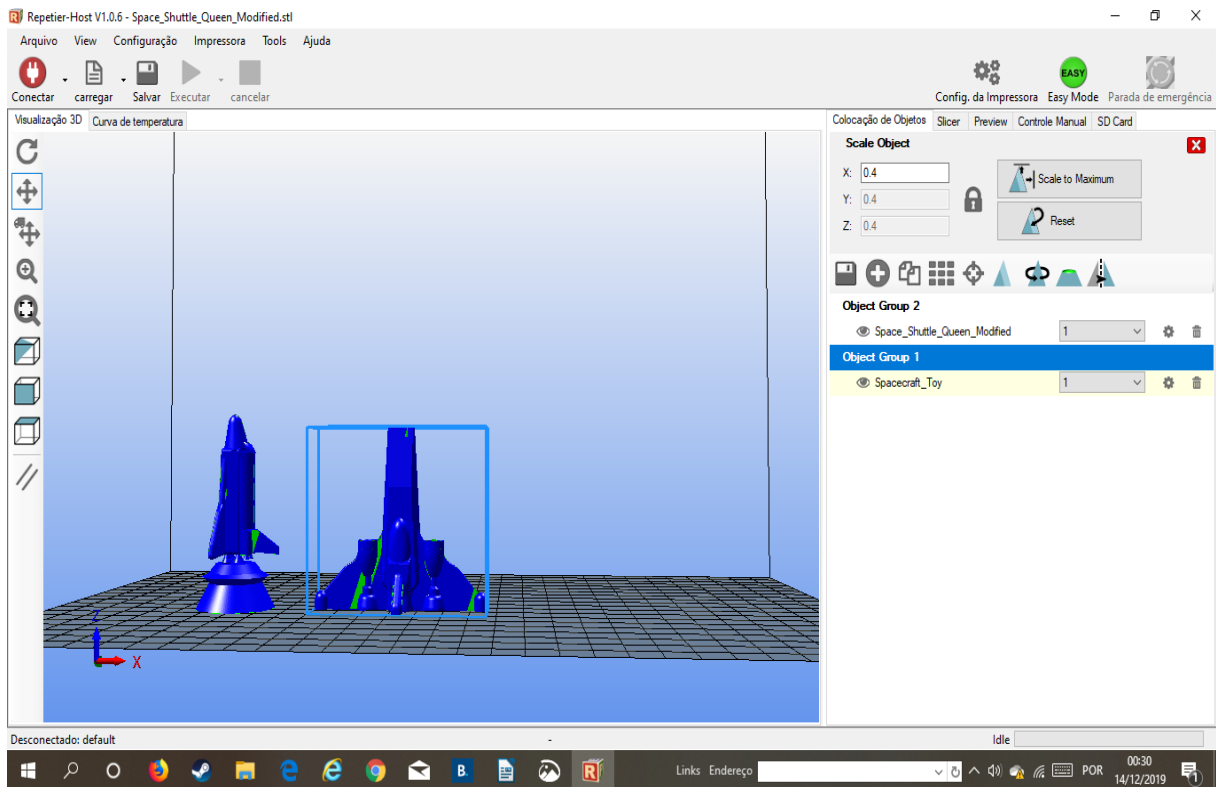


Figura 3.11 Imagem do redimensionamento no programa Repiter (Elaborada pelo autor, 2020).

7- Fatiamos os objetos para gerar o arquivo gcode;

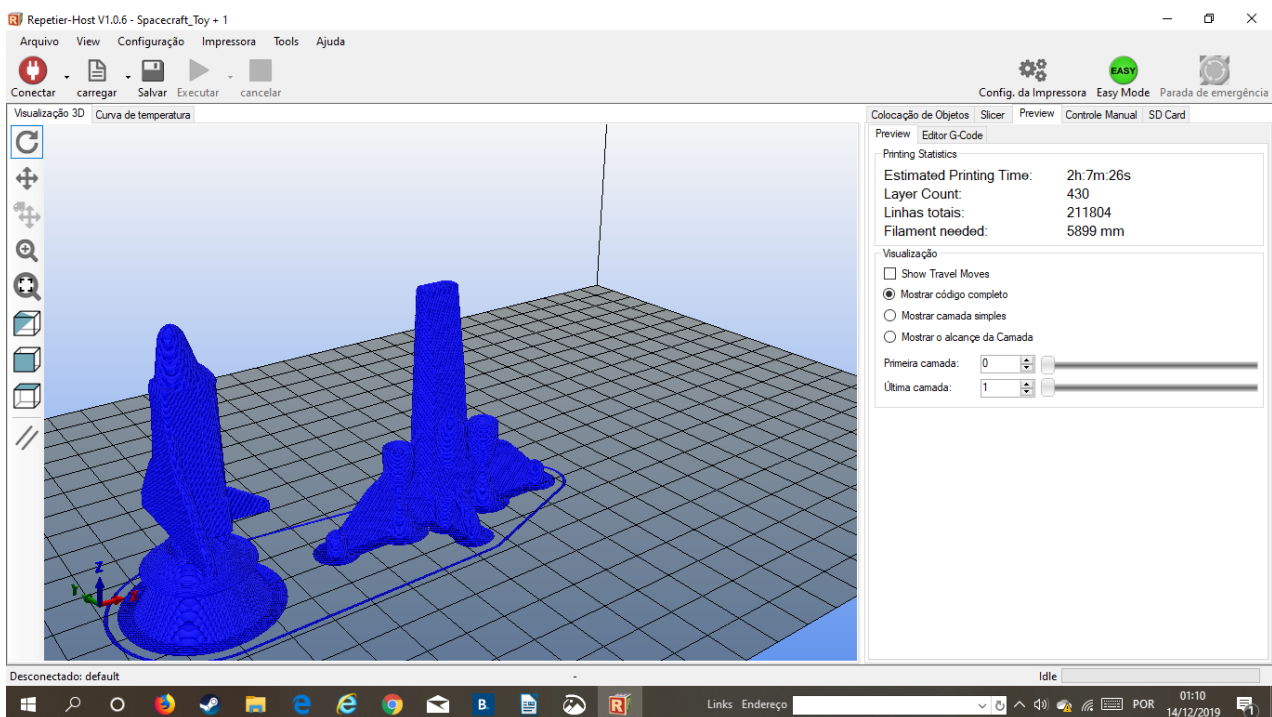


Figura 3.12 Imagem do fatiamento e geração do arquivo gcode (Elaborada pelo autor, 2020).

8- Carregamos o arquivo na impressora (Gtmax 3D – modelo A1V2);

9- Executamos a impressão.

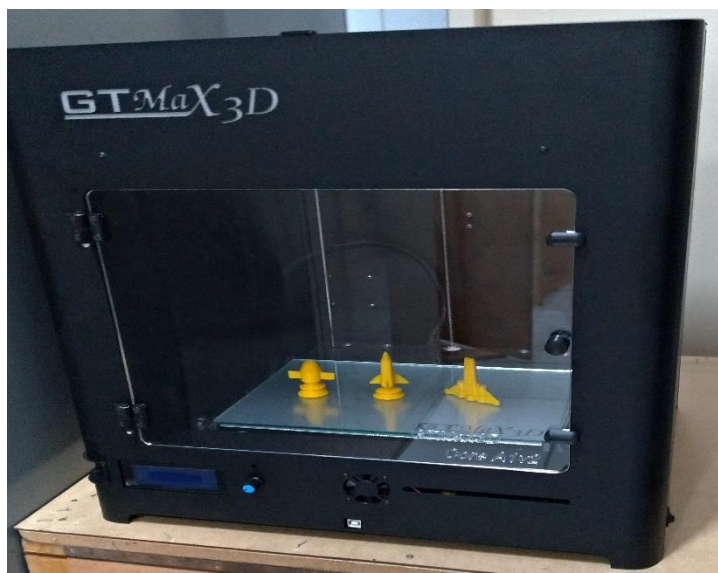


Figura 3.13 Imagem dos pinos na impressora 3D (Elaborada pelo autor, 2020).

3.4 As cartas

Assim como o tabuleiro, as cartas tiveram sua arte criadas com o auxílio do programa Corel Draw 2018, elas foram salvas em pdf, em seguida foram recortadas conforme seu respectivo tamanho.

As cartas tem as dimensões 50mm X 90mm, foram impressas em papel couché 180g/m², conforme mostra a figura 3.14.



Figura 3.14 Imagens das cartas, utilizadas no jogo (Elaborada pelo autor, 2020).

Foram criadas seis tipos distintos de cartas, sendo:

- ✓ 17 cartas nível 1, contendo perguntas de fáceis respostas;
- ✓ 17 cartas nível 2, contendo perguntas de nível intermediário;
- ✓ 17 cartas nível 3, contendo perguntas de nível maior comparada com as de nível 1 e 2;
- ✓ 01 carta coringa, que tem por objetivo dá uma maior dinâmica no jogo;
- ✓ 07 cartas desafios onde também possui várias missões a serem cumpridas;
- ✓ 06 cartas desafio final, contendo perguntas mais específicas e de um grau maior de complexibilidade de respostas comparadas as de nível 1, 2 e 3.

Todas as cartas prontas para impressão, apêndice 1, como também o caderno respostas que se encontra no apêndice 2.

4 Regras do jogo

A regra principal desse jogo é o seguinte: joga-se os dois dados, Marcador e Indicador, onde o primeiro tem em suas faces círculos verdes e interrogações vermelha, ver figura 4.7, caso o Dado Marcador der círculo verde o jogador avança a quantidade de casas correspondente ao número do Dado Indicador, caso o Dado Marcador der interrogação vermelha o jogador deve pegar uma carta correspondente ao nível do número do Dado Indicador. Quando o jogador responder corretamente à pergunta da carta determinada pelo Dado Indicador ele avançará o número de casas correspondente ao número indicado do Dado Indicador, ou seja, o número do nível da carta. Caso erre a pergunta da respectiva carta, o jogador voltará uma quantidade de casas correspondente a fórmula: $V = 4 - nD_i$, onde nD_i corresponde ao valor o valor mostrado do Dado Indicador e V é a quantidade de casas que ele voltará, assim por exemplo, se em uma jogada o Dado Marcador for uma interrogação vermelha e o Dado Indicador for o número 3, o jogador deverá pegar uma carta nível 3 e responder sua respectiva pergunta, se ele acertar sua nave avançará três casas, caso contrário, ele voltará um casa. Assim, se o jogador errar uma carta nível 3 ele voltará uma casa, se errar uma carta nível 2 ele voltará duas casas e por fim se errar uma carta nível 1 ele voltará 3 casas.

Para iniciar o jogo, a regra é a mesma, como um detalhe, que se a equipe não obtiver o acerto da sua respectiva carta pergunta sua nave não poderá dar partida, ou seja, a equipe continua na posição inicial.

Quem iniciou a partida da sua nave, na sua respectiva vez, deve continuar jogando sempre junto os dados conforme o início, e levando sempre em consideração a regra principal.

No decorrer do jogo, os jogadores, pode se deparar em algumas casas desafio, onde os mesmos devem realizar os desafios propostos e receber as recompensas e punições que tal casa oferece.

É obrigatório que todos os jogadores chegue na última casa, chamada de desafio final, para poder concluir o jogo, assim independentemente no número tirado, para o avanço das casas, eles devem ficar na casa desafio e pegar uma carta desafio final para ser respondida, caso responda corretamente a equipe vencerá a partida, caso contrário ficará nessa casa dando a vez a outra equipe, esse processo se repetira até conseguir responder corretamente.

5 Descrição da aplicação do produto

Para a realização do produto é necessário efetuar um momento, que aqui chamamos de preparação da turma, pois são alunos do 1º ano do ensino médio, e a Teoria da Relatividade geralmente é estudada no 3º ano do ensino médio. Em seguida é aplicado o produto construído para essa finalidade.

5.1 Preparação da turma e cronograma

Para alcançar os objetivos propostos nessa atividade lúdica, é necessário dedicar cinco encontros de 01 hora e 40 min cada, totalizado 10 horas-aulas, a fim de que os alunos tomassem conhecimento dos conceitos que jugamos importante, para o ensino médio, no entendimento da Teoria da Relatividade.

O primeiro encontro é aplicado um pré-teste que encontra-se no apêndice 03, individualmente, e, na sequência iniciamos uma aula com o objetivo de apresentar a evolução histórica das ideias filosóficas e científicas do conhecimento de movimento

relativo, como por exemplos, o paradoxo de Zenão, as ideias de Giordano Bruno, Galileu Galilei e Isaac Newton, inclusive foi também estudado as transformações de Galileu.

No segundo encontro é estudado o problema da mecânica newtoniana com o eletromagnetismo, discutido a incompatibilidade entre a mecânica e a natureza das ondas eletromagnética, como também a variância das transformações de Galileu para o eletromagnetismo. Nesse encontro, também, é apresentado a tentativa de localizar um sistema absoluto, através da ideia filosófica do éter luminífero, como solução para a incompatibilidade da mecânica clássica e o eletromagnetismo, bem como a tentativa de comprovar a existência do éter através do experimento de Michelson-Morley.

No terceiro, é apresentado as ideias e parte do artigo publicado em 1905 pelo jovem Albert Einstein, que são os seus postulados, também é iniciado o estudo da simultaneidade e as transformações de Lorentz a título de consequências dos dois postulados.

No quarto encontro é importante continuamos a ver as outras consequências dos postulados, como dilatação temporal, contração espacial e a adição de velocidades relativas, como também suas respectivas aplicabilidades em exemplos.

No quinto encontro é visto e discutido o paradoxo dos gêmeos através da aplicabilidade dos exemplos anteriormente estudados. É visto também, a dinâmica relativística e por fim de maneira sucinta é estudado a relatividade geral, dando uma ênfase na participação do Brasil na comprovação dessa teoria geral.



Figura 5.1 Aplicação do pré-teste em sala (Elaborada pelo autor, 2020).

5.2 Aplicação do jogo

Após os encontros onde foram discutidos os conteúdos sobre a Teoria da Relatividade, é disposto sobre as bancadas os jogos Teste Einstein, onde de início é apresentado o jogo e suas respectivas regras.

Os estudantes são divididos em quatro equipes, onde cada equipe é composta de três ou quatro pessoas, vale lembrar que, a escolha das equipes deve ser livre, não havendo interferência. A divisão, no entanto, cabe a cada professor decidir de acordo com o número de alunos em sala de aula. A ordem das jogadas é definida através de sorteio estabelecido pelos próprios alunos.

Quando uma equipe é disposta a responder cada desafio, qualquer integrante da equipe pode responder contanto que a pergunta seja debatida previamente com a equipe. Nos casos de algum conceito errôneo ou dubiedade da resposta, o professor faz o papel de mediador, colocando questionamentos e observações sobre as respostas apresentadas e apontando as devidas correções.

Vale salientar que o papel do professor é apenas de um mediador, ele deve estimular os alunos a buscarem as respostas corretas para as questões apresentadas. Usando essa postura de questionar os alunos dar a eles a oportunidade de exercitar o poder de argumentação que é importante, porque essa dinâmica permite que eles desenvolvam habilidades que não são trabalhadas nas aulas tradicionais.

Nesta atividade será possível observar o quanto é difícil atuar como mediador, comparado como professor expositor de uma educação tradicional, uma vez que mediar é saber perceber os momentos onde devemos nos calar, questionar, conceituar, enfim ser mais um coadjuvante, onde na verdade o protagonista devem ser os estudantes.

As questões deste jogo envolvem, muitas vezes, questões que contraria o senso comum, elas tendem a fazer com que os jogadores desenvolvam a capacidade de pensar abstratamente as situações problema apresentadas pelas perguntas, à medida que eles se sentem motivados e desafiados pelo jogo. Os jogadores que conseguirem se adaptar a essa característica, terão maiores chances perante os demais. Envolvendo conceitos formais de física nesse ambiente descontraído e livre de pressão, o amadurecimento das habilidades dos estudantes torna-se mais aproveitável, chegando até, muitas vezes, sendo transposta para o aprendizado em outras áreas do ensino.

Uma das grandes vantagens desse jogo é o dinamismo, pois todos os estudantes são participantes ativos para a resolução das perguntas propostas, assim apresentaremos a composição e as regras do jogo.

É importante lembrar que a interação entre os integrantes dos grupos deve na medida do possível ser harmônica, afim de existir um nível de cumplicidade com a finalidade de manter a estratégia para alcançar a vitória do jogo.

Por fim haverá uma equipe vencedora, mas o pódio é o que menos importa para aqueles que fazem parte dessa atividade lúdica, uma vez que é notório a satisfação da participação de todos em busca de um aprendizado de forma lúdica, onde todos saiam vencedores do conhecimento.



Figura 5.2 Aplicação do jogo(Elaborada pelo autor, 2020).



Figura 5.3 Alunos resolvendo os problemas das Cartas(Elaborada pelo autor, 2020)..

6 Considerações finais

Após aplicarmos o jogo, Teste Einstein, em uma turma do 1º ano do ensino médio de uma escola pública, é esperado que os alunos que participaram desse trabalho apresentem um rendimento melhor do que os outros que não participaram. Além disso, também é esperado que os alunos que participaram desse trabalho, consigam através do jogo compreender e interpretar situações que antes não conheciam. Demonstrado assim, interesse pelos fenômenos físicos apresentados, como também haver uma maior interação entre todos envolvidos, mostrando que a utilização dos jogos didáticos tem excelentes resultados tanto de cunho cognitivo com também afetivo.

Em suma, acreditamos que o ensino de Física deva ser algo prazeroso para os estudantes, onde essa disciplina tenha significado para vida, possibilitando a eles condições de participar ativamente do mundo onde estão vivendo, contribuindo assim, para formação de cidadãos críticos capazes de prosseguir nos estudos futuros, preparando-os para o trabalho e para tomar decisões no seu cotidiano.

7 Referências Bibliográficas

[Bassalo, 1997] Bassalo, J. M. A. Aspectos históricos das bases conceituais das relatividades. *Revista Brasileira do Ensino de Física*, v.19, n 2, p. 180-188, 1997.

[Brasil, 2002] Brasil, Parâmetros Curriculares Nacionais, Ensino Médio. *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, p.56-83, 2002.

[Braz Júnior, 2002] Braz Júnior, Dulcideo, Roberto de Andrade Martins. Física Moderna: Tópicos para o Ensino Médio. 1ª Edição. Campinas: Companhia da Escola, 2002.

[Halliday, 2007] Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J.. Fundamentos de Física, vol. 4: óptica e física moderna. 7ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2007.

[Huizinga, 2008] HUIZINGA, Johan. Homo Ludens: o Jogo como Elemento na Cultura (1938). São Paulo: Perspectiva, 2008.

[Kishimoto, 1998] Kishimoto, Tizuko Morchida. Brincar e suas teorias. Cengage Learning Editores, 1998.

[Martins, 1986] Martins, R. A. Galileo e Princípio da Relatividade. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* v. 9, p 69-86,1986.

[Tipler, 2006] Paul A Tipler, Ralph A. Llewellyn ; . Física Moderna; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

[Pires, 2011] Pires, A. S. T. Evolução das ideias da Física. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

[Resnick, 1923] Resnick, Robert, Introdução à Relatividade Especial; tradução de Shigeo Watanabe. S. Paulo, E. Univ. de S. Paulo e Ed Polígono, 1923.

[Serway, 2004] Serway, Raymond A.; Jhon Jr., W. Princípios da Física -Mecânica Clássica. Cengage Learning Edições Ltda., 2008.

[Wolff e Mors, 2005] Wolff, J.F.S. Mors; P.M. Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein. Textos de apoio ao professor–IF–UFRGS 16.5 (2005).

Apêndice 1

Cartas Nível 1

<p>1- Sobre a teoria da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: O tempo é uma grandeza absoluta.</p>	<p>2- Sobre a teoria da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: Para objetos que possui velocidades de 99% da velocidade da luz, ocorre a contração dos comprimentos.</p>	<p>3- Sobre a teoria da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: Para objetos que possui velocidades de cerca de 99% da velocidade da luz, ocorre a contração do tempo.</p>	<p>4- Sobre a teoria da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: Para objetos que possui velocidades de 99% da velocidade da luz, ocorre a dilatação dos comprimentos.</p>
<p>5- Sobre os postulados da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais que mantêm velocidade constante ou que estão parados.</p>	<p>6- Sobre os postulados da relatividade restrita, responda se a afirmativa está Correta ou Errada: A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para qualquer referencial inercial e vale aproximadamente 3×10^8 m/s.</p>	<p>7- Com base na Teoria da Relatividade de Albert Einstein, publicada em 1905, analise a afirmação e responda se está Correta ou Errada: O comprimento contrai, isto é, um mesmo corpo pode ter comprimentos diferentes quando medido por dois observadores, um em repouso e o outro em movimento retilíneo uniforme em relação ao primeiro.</p>	<p>8- Com relação à Teoria da Relatividade Especial ou Restrita. Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada: A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c em todos os referenciais inerciais, independentemente da velocidade do observador ou da velocidade da fonte que a emite.</p>
<p>9- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada: A Física moderna é o estudo da Física desenvolvido no final do século XIX e início do século XX. Em particular, é o estudo da Mecânica Quântica e da Teoria da Relatividade Restrita.</p>	<p>10- Com relação à Teoria da Relatividade Especial ou Restrita. Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada: A relatividade da noção de simultaneidade deriva do fato de que a velocidade da luz no vácuo independe do sistema referencial inercial em relação ao qual ela é medida.</p>	<p>11- Com base na Teoria da Relatividade de Albert Einstein, publicada em 1905, analise a afirmação e responda se está Correta ou Errada: A velocidade da luz no vácuo tem seu valor aproximado de 300.000 km/s, independente do referencial.</p>	<p>12- Com relação à Teoria da Relatividade Especial ou Restrita. Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada: Um segundo postulado da teoria da relatividade especial é o de que a velocidade da luz no vácuo é uma constante universal que não depende do movimento da fonte de luz.</p>

Verso das Cartas Nível 1



cont. das Cartas Nível 1 e Cartas Desafios

<p>13- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>A relatividade trata de eventos com dimensões atômicas, enquanto a mecânica quântica trata de eventos com velocidades próximas à da luz.</p>	<p>14- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>O suposto meio material no qual se propagam as ondas eletromagnéticas foi chamado de ÉTER, mas o experimento de Michelson-Morley não conseguiu medidas satisfatórias da sua existência.</p>	<p>15- Segundo a Teoria da Relatividade Restrita. Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Na natureza, não podem ocorrer interações de velocidades superiores à velocidade da luz c.</p>	<p>16- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Um foguete com velocidade V muito grande em relação à Terra, cerca de 80% do valor de c, emite um pulso de luz para frente, na mesma direção do seu movimento. Uma pessoa dentro do foguete mede que a velocidade para a luz, será de $V+c$.</p>
<p>17- Com base na Teoria da Relatividade de Albert Einstein, publicada em 1905, analise a afirmação e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>O tempo dilata, isto é, um mesmo evento pode transcorrer em intervalos de tempo diferentes quando medido por dois observadores, um em repouso e o outro em movimento retilíneo uniforme em relação ao primeiro.</p>	 <p>(DESAFIO 1)</p> <p>Devido ao um erro de navegação do seu piloto, responda uma pergunta nível 1 do Teste Einstein, caso acerte vá para casa seguinte caso erre você volta uma casa.</p>	 <p>(DESAFIO 2)</p> <p>Sua nave está com problemas mecânico, você só poderá seguir se responder uma pergunta nível 2 do Teste Einstein, caso acerte vá para casa seguinte caso erre você volta uma casa.</p>	 <p>DESAFIO 3)</p> <p>Você esta numa nebulosa também conhecida como berçário de estrelas, logo você deve ficar uma roda sem jogar</p>
 <p>(DESAFIO 4)</p> <p>Você chegou numa estação espacial, parabéns avance 2 casas.</p>	 <p>(DESAFIO 5)</p> <p>Sua nave foi atingida por algum objeto não identificado, volte para estação espacial.</p>	 <p>(DESAFIO 6)</p> <p>Você chegou na segunda estação espacial, onde tem combustível especial que fará você ir para casa 34, mas para isso acontecer, responda uma carta nível 2, caso erre deverá ficar sem jogar por 02 rodadas.</p>	 <p>(DESAFIO 7)</p> <p>Você esta muito proximo de uma estrela de neutron, estrela com uma densidade muito alta e campo gravitacional elevado, isso ira desviar sua rota, logo fique 03 rodadas sem jogar.</p>

Verso das Cartas Nível 1 e das Cartas Desafio



Cartas Nível 2

<p>1- Se você estivesse se movendo numa espaçonave em alta velocidade em relação a Terra, você notaria alguma diferença em sua própria pulsação?</p>	<p>2- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Segundo a Teoria da Relatividade de Einstein, uma pessoa que viaja a uma velocidade próxima à da luz, vista por outra considerada em repouso. Terá um tamanho menor.</p>	<p>3- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>A Mecânica Clássica não impõe limite para o valor da velocidade que uma partícula pode adquirir, pois enquanto durar a ação de uma força sobre ela haverá aceleração e sua velocidade poderá aumentar indefinidamente.</p>	<p>4- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Corpos em movimento, com velocidades próximas à da luz, sofrem contrações em suas três dimensões em relação às que possuem quando em repouso.</p>
<p>5- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Em uma nave espacial que está em movimento a alta velocidade, cerca de 0,9c, através do espaço a tripulação assiste a um filme de 2h de duração. Um observador ligado à Terra medirá a duração do filme como maior que 2h. Pois qualquer observador em movimento com relação à nave espacial, que inclui o observador na Terra, medirá um intervalo de tempo maior devido a dilatação do Tempo.</p>	<p>6- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Em uma nave espacial que está em movimento a alta velocidade, cerca de 0,9c, através do espaço a tripulação assiste a um filme de 2h de duração. Um observador ligado à Terra medirá a duração do filme como menor que 2h. Pois qualquer observador em movimento com relação à nave espacial, que inclui o observador na Terra, medirá um intervalo de tempo menor devido a dilatação do Tempo.</p>	<p>7- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Em uma nave espacial que está em movimento a alta velocidade, cerca de 0,9c, através do espaço a tripulação assiste a um filme de 2h de duração. Um observador ligado à Terra medirá a duração do filme como igual a 2h. Pois qualquer observador em movimento com relação à nave espacial, que inclui o observador na Terra, medirá um intervalo de tempo igual devido o Tempo ser absoluto.</p>	<p>8- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Na teoria da Relatividade Restrita, proposta por Einstein, não há tempo absoluto, ou seja, cada indivíduo tem sua própria medida de tempo, sendo esta dependente de onde você está e como está se movendo.</p>
<p>9- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada:</p> <p>Na Relatividade, proposta por Galileu e Newton, o tempo é absoluto, ou seja, cada indivíduo tem a mesma medida de tempo.</p>	<p>10- Paulo Sérgio, viajando em sua nave, aproxima-se de uma plataforma espacial, com velocidade de $0,7c$, em que c é a velocidade da luz. Para se comunicar com Paulo Sérgio, Priscila, que está na plataforma, envia um pulso luminoso em direção à nave. Com base nessas informações, é correto afirmar que a velocidade do pulso medida por Paulo Sérgio é de:</p> <p>a) $0,7c$. b) $1,0c$. c) $0,3c$. d) $1,7c$. e) $2,0c$</p>	<p>11- A teoria da Relatividade Especial prediz que existem situações nas quais dois eventos que acontecem em instantes diferentes, para um observador em um dado referencial inercial, podem acontecer no mesmo instante, para outro observador que está em outro referencial inercial. Ou seja, a noção de simultaneidade é relativa e não absoluta.</p> <p>A relatividade da simultaneidade é consequência do fato de que:</p> <p>a) a teoria da Relatividade Especial só é válida para velocidades pequenas em comparação com a velocidade da luz. b) a velocidade de propagação da luz no vácuo depende do sistema de referência inercial em relação ao qual ela é medida. c) a teoria da Relatividade Especial não é válida para sistemas de referência inerciais. d) a velocidade de propagação da luz no vácuo não depende do sistema de referência inercial em relação ao qual ela é medida.</p>	<p>12- Segundo a Teoria da Relatividade de Einstein, uma pessoa que viaja a uma velocidade próxima à da luz, vista por outra considerada em repouso.</p> <p>I – Envelhecerá menos rapidamente. II – Terá um tamanho menor. III – Terá uma massa maior.</p> <p>Das afirmativas acima,</p> <p>a) apenas a I é correta b) apenas a II é correta c) apenas I e II são corretas d) apenas I e III são corretas e) I, II e III são corretas.</p>

Verso das Cartas Nível 2



cont. das Cartas Nível 2 e Carta Coringa

<p>13- Sobre a Teoria da Relatividade são feitas as afirmações abaixo.</p> <p>I. Corpos em movimento sofrem contração na direção desse movimento em relação ao tamanho que possuem quando medidos em repouso.</p> <p>II. Um relógio em movimento funciona mais lentamente que o relógio em repouso, para um observador em repouso.</p> <p>III. A velocidade de qualquer objeto em relação a qualquer referencial não pode ser maior que a velocidade da luz no vácuo.</p> <p>Está correto o que se afirma em</p> <p>a) III, somente. b) I e II, somente. c) I e III, somente. d) II e III, somente. e) I, II e III.</p>	<p>14- Qual das afirmações a seguir é correta para a teoria da relatividade de Einstein?</p> <p>a) No vácuo, a velocidade da luz depende do movimento da fonte de luz e tem igual valor em todas as direções. b) Elétrons são expulsos de uma superfície quando ocorre a incidência de uma radiação eletromagnética (luz). c) Em determinados fenômenos, a luz apresenta natureza de partícula e, em outros, natureza ondulatória. d) Na natureza, não podem ocorrer interações de velocidades superiores à velocidade da luz c.</p>	<p>15- Em relação às teorias da relatividade restrita e geral, qual a alternativa está correta:</p> <p>a) A teoria da relatividade restrita estuda fenômenos em relação a referenciais inerciais. b) A teoria da relatividade geral é uma segunda teoria feita por Einstein, na qual erros em relação à teoria da relatividade restrita foram corrigidos. c) A teoria da relatividade geral aborda fenômenos do ponto de vista inercial. d) Ambas as teorias foram desenvolvidas na segunda metade do século XIX.</p>	<p>16- A teoria da relatividade restrita prevê que a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores, independentemente do estado de movimento relativo entre eles. Com base nessa afirmação, imagine duas naves que viajam no espaço com velocidades altíssimas em uma mesma direção, mas com sentidos opostos. Se cada nave possui velocidade V e a velocidade da luz no vácuo é c, a luz percebida pelo piloto teria velocidade:</p> <p>a) $V + c$ b) $c - V$ c) $V - c$ d) c e) $2c$</p>
<p>17- Suponha que os astronautas recebessem seus salários de acordo com o tempo gasto viajando pelo espaço. Após uma longa viagem em uma velocidade próxima à da luz, uma tripulação de astronautas retorna à Terra e recebe o pagamento. Supondo que seu tempo de serviço tenha sido medido na Terra. Como irão reagir?</p> <p>a) Eles ficarão felizes pelo grande pagamento, porque o tempo para o patrão que ficou na Terra será maior que o deles que viajaram. b) Eles ficarão triste pelo pequeno pagamento, porque o tempo para o patrão que ficou na Terra será menor que o deles que viajaram. c) O pagamento será o mesmo, porque o tempo para o patrão que ficou na Terra será o mesmo que o deles que viajaram. d) Eles não receberão o pagamento, porque o tempo foi indeterminado.</p>	 <p>Você está em um buraco de minhoca, isso poderá lhe enviar para casa 24, para isso acontecer responda uma carta nível 3 e acerte, caso erre você voltará para casa 16.</p>		

Verso das Cartas Nível 2 e da Carta Coringa

 <p>NÍVEL 2</p>	 <p>NÍVEL 2</p>	 <p>NÍVEL 2</p>	 <p>NÍVEL 2</p>
 <p>NÍVEL 2</p>	 <p>BURACO DE MINHOCA</p>		

Cartas Nível 3

<p>1- A teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein em 1905, é revolucionária porque mudou as ideias sobre o espaço e o tempo, mas em perfeito acordo com os resultados experimentais. Ela é aplicada, entretanto, somente a referenciais inerciais. Sobre os referenciais inerciais, responda se Certo ou Errada a seguinte afirmativa:</p> <p>São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com <u>velocidade constante</u>.</p>	<p>2- A teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein em 1905, é revolucionária porque mudou as ideias sobre o espaço e o tempo, mas em perfeito acordo com os resultados experimentais. Ela é aplicada, entretanto, somente a referenciais inerciais. Sobre os referenciais inerciais, responda se Certo ou Errada a seguinte afirmativa:</p> <p>São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com <u>velocidade variável</u>.</p>	<p>3- A teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein em 1905, é revolucionária porque mudou as ideias sobre o espaço e o tempo, mas em perfeito acordo com os resultados experimentais. Ela é aplicada, entretanto, somente a referenciais inerciais. Sobre os referenciais inerciais, responda se Certo ou Errada a seguinte afirmativa:</p> <p>Observadores em referenciais inerciais diferentes medem a mesma aceleração para o movimento de uma partícula.</p>	<p>04- Se você fosse de alguma forma capaz de viajar à velocidade da luz, qual seria o tamanho do universo de acordo com suas medidas?</p>
<p>05- Qual deve ser a velocidade de uma régua de um metro em relação a um observador, se esse observador mede seu comprimento de como de 64 cm?</p>	<p>06- Se você caminha a 1km/h no corredor de um trem, no mesmo sentido em que este se move em linha reta com velocidade constante de 60km/h, qual a sua rapidez em relação ao solo?</p>	<p>07- Quantos eixos de coordenadas são normalmente empregados para descrever o espaço tridimensional? O que mede a quarta dimensão?</p>	<p>08- O que é constante no segundo postulado de Einstein?</p>
<p>09- Qual é a expressão algébrica para o fator de Lorentz,</p>	<p>10- Como consequência da Teoria da Relatividade Restrita, temos relação entre o <u>tempo</u> medido por um observador que viaja próximo a velocidade da luz</p>	<p>11- Como consequência da Teoria da Relatividade Restrita, temos relação entre o comprimento medido por um observador que viaja próximo a velocidade da luz</p>	<p>12- Se você estivesse viajando numa nave espacial em alta velocidade, as réguas existentes a bordo lhe pareceriam contraídas? Justifique sua resposta.</p>

Verso das Cartas Nível 3



cont. das Cartas Nível 3 e Cartas Desafios Final

<p>13- Suponha que uma nave se afasta de um planeta com velocidade $v = 0,2c$, onde $c = 3 \cdot 10^8$ m/s é a velocidade da luz no vácuo. Em um determinado momento, a nave envia um sinal luminoso para comunicar-se com o planeta. Determine a velocidade do sinal medida por um observador na nave e a medida por um observador no planeta.</p>	<p>14 - Com relação à Teoria da Relatividade Especial ou Restrita. Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada A velocidade da luz no vácuo tem valores diferentes em todos os referenciais inerciais, independentemente da velocidade do observador ou da velocidade da fonte que a emite.</p>	<p>15- Como consequência da Teoria da Relatividade Restrita, temos relação entre o tempo medido por um observador que viaja próximo a velocidade da luz (ΔT_0) e um observador num referencial fixo (ΔT), como é escrita essa relação:</p>	<p>16- Como consequência da Teoria da Relatividade Restrita, temos relação entre o comprimento medido por um observador que viaja próximo a velocidade da luz (L) e um observador num referencial fixo (L_0), como é escrita essa relação:</p>
<p>17- Analise a afirmação abaixo e responda se está Correta ou Errada: Segundo a Teoria da Relatividade de Einstein, uma pessoa que viaja a uma velocidade próxima à da luz, vista por outra considerada em repouso. Envelhecerá rapidamente.</p>	<p>DESAFIO FINAL 1- Um astronauta é colocado a bordo de uma espaçonave e enviado para uma estação espacial a uma velocidade constante $v = 0,8 c$, onde c é a velocidade da luz no vácuo. No referencial da espaçonave, o tempo transcorrido entre o lançamento e a chegada na estação espacial foi de 12 meses. Qual o tempo transcorrido no referencial da Terra, em meses?</p>	<p>DESAFIO FINAL 2- Um trem de comprimento igual a 100 m viaja a uma velocidade de $0,8 c$, onde c é a velocidade da luz, quando atravessa um túnel de comprimento igual a 70 m. Quando visto por um observador parado ao lado dos trilhos, é CORRETO afirmar que o trem</p>	<p>DESAFIO FINAL 3- Em relação a um sistema de referência em repouso, dois elétrons movem-se em sentidos opostos, ao longo da mesma reta, com velocidades de módulos iguais a $c/2$. Determine a velocidade relativa de aproximação entre os elétrons.</p>
<p>DESAFIO FINAL 04- Calcule a velocidade relativa de um relógio necessária para que um observador estacionário verifique que a taxa do seu relógio se reduz à metade da taxa do relógio idêntico que se move em relação a ele.</p>	<p>DESAFIO FINAL 05- Um passageiro de uma nave espacial que se desloca com velocidade de módulo $v = 0,8c$ em relação à Terra mede o comprimento de uma mesa a bordo como sendo 1 m. Qual será o comprimento desta mesa medida em um referencial na Terra? Suponha que a maior dimensão da mesa esteja orientada ao longo da linha que conecta a nave a Terra.</p>	<p>DESAFIO FINAL 06- Uma nave espacial viaja com uma velocidade de módulo $v = 0,7c$ em missão a um planeta que orbita a estrela Próxima Centauri . Após um intervalo de 10 horas a partir do lançamento (medido em um relógio na nave), um dos tripulantes comunica-se via rádio (onda eletromagnética) com a base na Terra pela primeira vez. Quanto tempo leva para os cientistas da base receber este sinal de rádio?</p>	

Verso das Cartas Nível 3 e das Cartas Desafio Final



Apêndice 2

Cartão resposta

Cartas Nível 1	Cartas Nível 2	Cartas Nível 3
1- R. Errado	1- R. Não porque a velocidade relativa entre você e o seu pulso é nula, porque os dois estão no mesmo sistema de referência.	1- R. Correta
2- R. Correta		2- R. Errado
3- R. Errado		3- R. Correta
4- R. Errado	2- R. CORRETA	4- R. De acordo com a equação $L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, o comprimento do universo seria contraído a um tamanho nulo, pois $v = c$. Ele manteria o tamanho original nas direções perpendiculares à sua velocidade.
5- R. CORRETA	3- R. CORRETA	
6- R. CORRETA	4- R. ERRADA	
7- R. CORRETA	5- R. CORRETA	
8- R. CORRETA	6- R. ERRADA	
9- R. CORRETA	7- R. ERRADA	5- R. 0,4c
10- R. CORRETA	8- R. CORRETA	6- R. 61km/h
11- R. CORRETA	9- R. CORRETA	7- R. São empregados três eixos X,Y e Z. A quarta dimensão mede o tempo.
12- R. CORRETA	10- B	8- R. A velocidade da Luz.
13- R. ERRADA	11- D	9- R. $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}$
14- R. CORRETA	12- E	10- R. $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
15- R. CORRETA	13- E	11- R. $L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$
16- R. ERRADA	14- D	12- R. Não, porque as réguas estão no mesmo referencial do observador.
17- R. CORRETA	15- A	
	16- D	
	17- A	
CARTAS DESAFIO FINAL		
1- R-20 meses		13- R. A velocidade do sinal é igual a c, qualquer que seja o referencial adotado
2- R- fica totalmente dentro do túnel e sobra um espaço de 10 m, pois o tamanho medido pelo observador no trilho é de 60m.		14- R. ERRADA
3- R- $4c/5$		15- R. ERRADA
4- R- $v = \sqrt{\frac{3}{4}}c \approx 0,866c$, ou seja, aproximadamente 87% a velocidade da luz.		16- R. CORRETA
5- R- L=0,6m		17- R. ERRADA
6- R-23,8 horas após o lançamento.		