



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA - MNPEF**

NICOLAS APOSTOLOS MARINOS

**A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA DE EINSTEIN NO
PRIMEIRO ANO DO ENSINO MÉDIO: UTILIZANDO O LÚDICO
NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM**

**SANTARÉM - PA
2019**

NICOLAS APOSTOLOS MARINOS

**A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA DE EINSTEIN NO PRIMEIRO ANO DO
ENSINO MÉDIO: UTILIZANDO O LÚDICO NO PROCESSO DE
ENSINO-APRENDIZAGEM**

Orientador: Prof. Dr. Damião Pedro Meira Filho
Instituto Federal do Pará

**SANTARÉM - PA
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBI) da UFOPA
Catalogação de Publicação na
Fonte. UFOPA - Biblioteca Unidade Rondon

Marinos, Nicolas Apostolos.

A teoria da relatividade restrita de Einstein no primeiro ano do ensino médio: utilizando o lúdico no processo de ensino-aprendizagem / Nicolas Apostolos Marinos. - Santarém, 2020. 67f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciência da Educação, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2019.

Orientador: Damião Pedro Meira Filho.

1. Ensino de Física. 2. Relatividade Restrita. 3. Relatividade Geral. I. Filho, Prof. Dr. Damião Pedro Meira. II. Título.

UFOPA/Sistema Integrado de Bibliotecas

CDD 23 ed. 530.1

Elaborado por Bárbara Costa - CRB-15/806



Ao 01 dia do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte, às 10h, no Campus Rondon, instalou-se a banca examinadora de dissertação de mestrado do aluno Nicolas Apostolos Marinos. A banca examinadora foi composta pelos professores Dr. Damião Meira Filho, IFPA Campus Santarém, examinador externo, Lilian Cristiane Almeida dos Santos, UFOPA, examinador interno, Sérgio Antônio de Souza Farias, UFOPA, e Damião Pedro Meira Filho, UFOPA, orientador. Deu-se início a abertura dos trabalhos, por parte do professor Damião Pedro Meira Filho, orientador, que, após apresentar os membros da banca examinadora e esclarecer a tramitação da defesa, passou a presidência dos trabalhos ao Professor Damião Pedro Meira Filho, que de imediato solicitou ao candidato que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada A Teoria da Relatividade Restrita de Einstein no Primeiro Ano do Ensino Médio: Utilizando o Lúdico no Processo de Ensino Aprendizagem, marcando um tempo de quarente 40 minutos para a apresentação. Concluída a exposição, o Prof. Damião Meira Filho, presidente, passou a palavra ao examinador externo, Lilian Cristiane Almeida dos Santos, para arguir o candidato, e, em seguida, a examinador interno, Sérgio Antônio de Souza Farias e em seguida ao prof. Damião Meira Filho, para que fizessem o mesmo; após o que fez suas considerações sobre o trabalho em julgamento; tendo sido aprovado o candidato, conforme as normas vigentes na Universidade Federal do Oeste do Pará. A versão final da dissertação deverá ser entregue ao programa, no prazo de 30 dias; contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante na folha de correção anexa. Conforme o Artigo 43 da Resolução 072/2004 - CONSEPE, o (a) candidato (a) não terá o título se não cumprir as exigências acima.

Dra. LILIAN CRISTIANE ALMEIDA DOS SANTOS, UFOPA

Examinadora Externa ao Programa

Dr. SERGIO ANTONIO DE SOUZA FARIAS, UFOPA

Examinador Interno

DAMIAO PEDRO MEIRA FILHO, IFPA

Presidente

NICOLAS APOSTOLOS MARINOS

Mestrando

Dedico este trabalho primeiramente Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia; meu pai, Apóstolos Nicolas Marinos; à minha mãe, Luzia Marinos; s meus irmãos; à minha esposa, Débora Santos Miranda; às minhas filhas a toda a minha família.

AGRADECIMENTO

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

Diversos foram os professores do curso de Mestrado Profissional em Física que me inspiraram durante estes dois anos e meio de especialização. Primeiramente, agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Damião Pedro Meira Filho, pelo suporte e por acreditar em mim.

Gostaria também de agradecer, com muito carinho, aos professores Carlos Machado, Sérgio Farias, Glauco Cohen, Maduro, Edson Akira, Nilzilene, Licurgo, por terem me guiado tão bem durante todos esses anos para que eu me tornasse um profissional mais bem qualificado. Minha admiração por vocês apenas cresce!

Deixo aqui também meu agradecimento aos demais professores que contribuíram de alguma forma nos conhecimentos construídos durante esta formação, aos colegas da turma de 2017, e, principalmente, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), que me proporcionaram a bolsa de estudos para financiar o projeto do qual participo.

RESUMO

Este trabalho, intitulado “A Teoria da Relatividade Restrita de Einstein no primeiro ano do ensino médio: utilizando o lúdico no processo de ensino-aprendizagem”, apresenta uma proposta educacional para explicar a Teoria Restrita da Relatividade de Albert Einstein através de atividades lúdicas (jogo de tabuleiro, vídeo e história em quadrinho — HQ) para turmas do 1º ano do ensino médio. Esta proposta vem cumprir aquilo que o Programa Nacional de Mestrado no Ensino de Física (MNPEF) objetiva, que é a ênfase principal em aspectos de conteúdos na área de Física para sua aplicação em sala de aula. Traz como objetivo geral uma proposta de como trabalhar a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein, utilizando para isso um jogo de tabuleiro, incluído no programa de Mecânica no tópico de Física, no primeiro ano do ensino médio, sendo tratado em associação com o conhecimento prévio do aluno. Para concretizar o estudo, foi feita uma vasta pesquisa bibliográfica e foi notório o resultado, pois os alunos puderam utilizar o que foi aprendido fora da escola, bem como o que foi visto em sala de aula com vídeos e com a leitura de uma história em quadrinhos e nas atividades propostas.

Palavras-chaves: Teoria da Relatividade Restrita. Jogo de tabuleiro. Processo de ensino-aprendizagem. Aprendizagem significativa. Física.

ABSTRACT

This paper, "Einstein's Restricted Relativity Theory In The First Year Of High School: Using The Playfulness In The Learning Teaching Process", presents an educational proposal to explain Einstein's constrained theory of relativity through a playful activity (board game, video and comic book) for the first year of high school. This proposal fulfills what the National Master's Program in Physics Teaching (MNPEF) aims to be the main emphasis on content aspects in the area of physics, for its application in the classroom, which brings as its general objective a proposal of how to work on Albert Einstein's theory of constrained relativity using a board game, included in the mechanics program in the topic of Modern Physics, in the first year of high school, in which it will be placed in association with the student's prior knowledge. To carry out the study, a vast bibliographic research was done in order to better know the subject and, clearly, to pass on to the students using various resources such as slide and film. Then a practical class was played through the board game: two classes were chosen for the execution of the class, in the first one the traditional methodology was applied and in the second one was through the board game, to test if through the game aroused a bigger students' interest in the subject, and the result was noticeable, as students were able to use what was learned outside of school, as well as what was seen in the classroom with videos and reading of comic books and the proposed activities.

Key-words: Theory of constrained relativity. Board game. Teaching-learning process. Meaningful learning. Physics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Espaço-tempo bidimensional	25
FIGURA 2 – Trajeto da luz	26
FIGURA 3 – Evento no espaço-tempo	26
FIGURA 4 – Relação entre \mathbf{K} e \mathbf{v}	27
FIGURA 5 – Composição da velocidade	29
FIGURA 6 – Relatividade e simultaneidade	31
FIGURA 7 – Simultaneidade	32
FIGURA 8 – Referenciais \mathbf{S} e \mathbf{S}'	37
FIGURA 9 – Bonequinhos avatares	46
FIGURA 10 – Alunos realizando atividade de leitura da HQ (material impresso)	47
FIGURA 11 – Alunos realizando atividade de leitura da HQ (aplicativo de telefone celular)	48
FIGURA 12 – Aluno na posição de Expert da Relatividade, fazendo pergunta da carta sorteada	49
FIGURA 13 – Dinâmica do jogo com aluno empolgado	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNC	Base Nacional Comum Curricular
HQ	História Em Quadrinhos
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
PCCR	Plano de Cargos, Carreiras e Remuneração
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TRR	Teoria da Relatividade Restrita

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	TEORIA DA RELATIVIDADE	14
2.1	Breve histórico da Teoria da Relatividade	14
2.2	Aprendizagem significativa	16
2.3	Inserção de conteúdos de Física Moderna no ensino médio	17
2.4	Metodologias	19
3	JOGO DE TABULEIRO	21
3.1	O jogo de tabuleiro, uma aula prática e prazerosa	21
4	TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA	25
4.1	Relatividade de Galileu	25
4.2	Lei para composição para velocidade	28
4.3	Encontramos relatividade em regime clássico	30
4.4	Relatividade da simultaneidade	31
4.5	Transformação de Lorentz	36
5	ALGUMAS CONSEQUÊNCIAS DA TEORIA	37
5.1	Contração do espaço	37
5.2	Dilatação do tempo	38
5.3	Tempo próprio	38
5.4	Regime não relativístico	40
5.5	Transformações De Lorentz	41
5.6	Espaço-tempo de Minkowski	42
5.7	Relação entre energia e massa	43
5.7.1	Primeiro postulado	44
5.7.2	Segundo postulado	44
6	PRODUTO	45
6.1	Descrição do Produto	45
6.2	O jogo	45
7	APLICAÇÃO	47
7.1	Relato de aplicação do produto	47
7.1.1	Aulas sobre a Teoria da Relatividade	47

7.1.2	Espaços de leitura	47
7.1.3	Jogo de tabuleiro Expert da Relatividade	49
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	REFERÊNCIAS	53
	APÊNDICES	54
	APÊNDICE A PLANO DE AULA	55
	APÊNDICE B MODELO DE TABULEIRO DO JOGO	56
	APÊNDICE C MODELO DAS CARTAS DE PERGUNTAS	57
	APÊNDICE D MODELO DAS CARTAS ESPECIAIS	61
	APÊNDICE E MODELO DAS CARTAS BURACO NEGRO	63
	APÊNDICE F MODELO DOS AVATARES	64
	APÊNDICE G INSTRUÇÕES DO JOGO DE TABULEIRO	65
	APÊNDICE H CAIXA PARA GUARDAR O JOGO DE TABULEIRO	66
	APÊNDICE I QUESTIONÁRIO DO MNPEF	67

1 Introdução

É notório que a escola mudou, não vivemos mais aquele ensino metódico e puramente mensurável, em que o professor detinha todo o conhecimento. A sociedade, seus padrões e ritmos mudaram, estamos no século XXI, na pós-modernidade, e fica cada vez mais difícil para o professor trabalhar de forma tradicional e, desta forma, despertar o interesse e a atenção de seus alunos para um aprendizado mais eficaz. Faz-se então necessária a inserção de novas metodologias que despertem o interesse dos alunos para um aprendizado significativo.

A sala de aula já não deve ser aquele ambiente onde o professor deposita o conhecimento e o aluno tem apenas de escutar e assistir à explanação dos conteúdos; nos tempos atuais, deve-se entender que os docentes já não são mais protagonistas de suas salas, e para haver aprendizado e interesse dos discentes é necessária a inserção de novas metodologias que sejam capazes de chamar a atenção do alunado e, conseqüentemente, tornar as aulas mais atraentes e interessantes por meio do uso de metodologias inovadoras. Dentre estas, o ensino através da ludicidade, pois, de acordo com (RAU, 2011), o uso de atividades lúdicas como estratégia de ensino-aprendizagem tem muitas vantagens em relação ao ensino tradicional, porque, além de atender a uma necessidade do ser humano em formação, proporciona a apropriação de categorias e conceitos formais de uma determinada área de conhecimento de forma prazerosa e divertida. Já para (SEBER, 1997), o uso de práticas lúdicas é válido, pois além do lazer o lúdico é um método de desenvolvimento intelectual.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de como trabalhar a Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein, utilizando para isso um jogo de tabuleiro. Aproveitando o conhecimento que os alunos já trazem do seu cotidiano, trabalharemos também a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, segundo a qual a aprendizagem significativa é o mecanismo humano de aquisição e armazenamento das ideias e informações representadas em qualquer campo do conhecimento.

A proposta de trabalhar o conteúdo de forma lúdica vem no bojo, também, da inserção da Física moderna no ensino médio, pois a Física clássica já se apresenta de forma descompassada, uma vez que é evidente a revolução tecnológica que estamos vivenciando, e que tem recebido grande contribuição da Física, mas de uma Física mais atual, que também precisa ser trabalhada. Conteúdos como Termodinâmica, Mecânica e outros, apesar de serem muito importantes, já não satisfazem as explicações para tudo o que tem ocorrido no nosso dia a dia: o funcionamento do GPS, por exemplo, só

é possível graças à relatividade.

Para alcançar tal objetivo, buscamos utilizar a pesquisa bibliográfica para maior conhecimento sobre o tema. Fez-se um levantamento de como a Teoria da Relatividade é abordada no ensino médio, em especial nos livros didáticos, e foi feita uma pesquisa de como organizar o jogo de tabuleiro; também utilizamos um trecho do filme *Interestelar* (*Interstellar*, Christopher Nolan, EUA/Reino Unido, 2014) para discussão sobre a possibilidade de viagem no tempo.

Esta dissertação está organizada da seguinte forma, além desta seção 1 “Introdução”: na seção 2 faz-se um breve histórico da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein, aprendizagem significativa, inserção de conteúdos de Física moderna no Ensino médio e metodologias, como o jogo de tabuleiro para uma aula prática e prazerosa.

A seção 3 aborda como foram as aulas nas duas turmas, usando a metodologia do jogo de tabuleiro e traz também a análise do que ocorreu nas duas turmas, comportamento dos alunos, aprendizagem e satisfação.

Na seção 4 faz-se uma abordagem da Teoria da Relatividade Restrita, tratando-se em seguida, na seção 5, de suas consequências. A seção 6 traz a descrição do produto, enquanto na seção 7 se apresenta o relato de sua aplicação. E, finalmente, encerramos com as “Considerações Finais”.

2 TEORIA DA RELATIVIDADE

2.1 Breve histórico da Teoria da Relatividade

Nesta seção faremos um breve histórico da Teoria da Relatividade, pois, apesar de estarmos no século XXI, o ensino desse tema só ocorre, e quando ocorre, em turmas de terceiros anos do ensino médio. Como este trabalho traz a proposta de um produto educacional para Teoria da Relatividade, nas turmas do primeiro ano, vamos então abordar a Física Moderna já nestas turmas, como uma proposta engajadora para os discentes e docentes.

Pesquisas mostram que já havia levantamentos de hipótese acerca do movimento e do tempo, segundo Tipler e Llewellyn (2017):

As primeiras tentativas sistemáticas de que se tem notícia para reunir conhecimento a respeito do movimento como forma de compreender os fenômenos naturais foram realizadas na Grécia Antiga. A ideia pregada era a filosofia natural (física) onde Aristóteles por volta de 350 a.C. baseava-se em explicações deduzidas a partir de hipóteses, e não em experimentos. Segundo o autor uma dessas hipóteses fundamentais, era a de que toda substância estava tentando chegar ao seu lugar natural. Ao tempo também era atribuído um significado absoluto, na forma de um movimento a partir de certo instante do passado (a criação do universo) em direção a um objetivo final no futuro, seu lugar natural. Graças a uma notável concordância entre as deduções da física aristotélica e os movimentos observados no universo e a uma ausência quase total de instrumentos precisos que permitissem examinar criticamente essas deduções, a visão dos gregos continuou a ser aceita como verdadeira durante quase 2000 anos. Somente no final desse período, uns poucos estudiosos tinham começado a testar experimentalmente algumas das previsões teóricas, mas foi o cientista Galileu Galilei que com seus brilhantes experimentos envolvendo o movimento, estabeleceu definitivamente a necessidade da experimentação na física e, ao mesmo tempo iniciou a derrocada da física aristotélica. Menos de 100 anos depois, Isaac Newton havia generalizado os resultados dos experimentos de Galileu em suas espetacularmente bem sucedidas leis do movimento, e a filosofia natural de Aristóteles se tornou coisa do passado.

No final do século XIX, já se caminhando para o século XX, a Física dava conta de explicar praticamente todos os fenômenos conhecidos do cotidiano e existia até

uma dúvida sobre se era necessário formar novos físicos na época. Até que veio a famosa fala de Lorde Kelvin sobre duas nuvens que pairavam no horizonte da Física: uma delas era o experimento que tentava provar a existência do éter luminífero, e a outra, a radiação de um corpo negro. E essas duas nuvens acabaram por provocar, respectivamente, o surgimento da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein e o aparecimento da Física quântica.

Por outro lado, dois pilares sustentavam a Física no século XIX: as leis de Isaac Newton sobre a gravitação universal e as equações de James C. Maxwell (eletromagnetismo). Era um problema que permeava Mecânica, Eletricidade, Magnetismo, Ótica, Ondulatória etc., mas ocorre que elas não se davam muito bem, porque havia um problema quando se falava de eletrodinâmica de corpos em movimento, parecendo existir uma Física para uma coisa e outra Física para a outra. Esse problema foi gerado pela inconsistência na explicação de como as ondas eletromagnéticas se propagavam, pois, segundo a concepção galileana, tentava-se explicar os movimentos através da substância luminífera (éter), que estaria vibrando, e a luz seria uma perturbação nesta substância.

Ainda segundo esta concepção, se existisse um meio no espaço e a luz se movimentasse com uma velocidade c em relação a esse meio, numa perturbação nesse meio, se alguém se movimentasse, veríamos a luz em velocidades diferentes; porém, as equações matemáticas da época, de acordo com a teoria clássica, não condiziam com a ideia da existência do éter, ou seja, a luz, independentemente da direção que está percorrendo, percorre sempre na mesma velocidade, não obedecendo à adição de velocidade de Galileu Galilei. Então, o problema da ideia do éter era que os experimentos falhavam sempre, entrando em confronto com as equações de Maxwell.

Einstein foi combativo em relação a esta ideia. Para Einstein, a Teoria da Relatividade é baseada em dois princípios: primeiro, que a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores; e segundo, por mais que pareça estranho, é que é fisicamente impossível descobrir se estamos em movimento ou se estamos parados sem que tenhamos um referencial.

Einstein, em 1905, publicou a Teoria da Relatividade Restrita, que tem dois postulados importantíssimos. O primeiro é que as leis da Física são as mesmas para todos os referenciais inerciais. O segundo postulado diz que a velocidade da luz no vácuo é uma constante universal.

A Teoria da Relatividade de Einstein veio transformar o entendimento sobre espaço, tempo e gravidade. Ela foi desenvolvida no século XX e transformou-se em uma das teorias mais significativas da Física. A primeira parte da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein foi elaborada em 1905. Porém, somente em 1915 Einstein elaborou

a segunda parte de sua teoria, em que apresenta a Teoria da Relatividade Geral. Mas nesta dissertação o foco será a Teoria da Relatividade Restrita.

A teoria será apresentada aos alunos e será utilizado o conhecimento prévio do aluno, uma relação daquilo que o aluno traz do seu cotidiano, associada ao conteúdo que será apresentado.

2.2 Aprendizagem significativa

A teoria proposta por Ausubel baseia-se numa aprendizagem apoiada naquilo que o indivíduo já conhece sobre determinado assunto: é o chamado conhecimento prévio. Trabalhar a disciplina Física nos dias atuais tem sido um desafio para alguns professores, que, logo que adentram suas salas de aula, deparam-se com alunos que não demonstram interesse pela disciplina, e sentem o primeiro impacto da aversão de tais alunos. Neste contexto, torna-se fundamental que o professor busque formas de chamar a atenção dos discentes e conquistar seu interesse.

Para isso, a proposta utilizada aqui se dá através da aprendizagem significativa, pois podemos dizer que o ponto mais importante da teoria de Ausubel (1968, 1970, 1978) foi sua afirmação (1978, p. iv): "Se tivesse que reduzir toda psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Averigue isso e ensine-o de acordo". Partindo deste princípio, buscou-se trabalhar com o conhecimento prévio dos discentes, pois o aprendiz poderá associar seu conhecimento prévio não literal ao conteúdo apresentado em sala de aula, quando o conhecimento do aluno adquire um aprendizado significativo e ele consegue associá-lo ao que já sabe, conseguindo também explicá-lo com suas próprias palavras.

De acordo com Ausubel, Novak e Hanesian (1980), "a essência do processo de aprendizagem significativa é que as ideias expressas simbolicamente são relacionadas às informações previamente adquiridas pelo aluno através de uma relação não arbitrária e substantiva (não literal)". Mas, para haver de fato a aprendizagem significativa, é importante que o aluno tenha vontade de aprender, e os assuntos ensinados devem ser significativos, pois, à medida que o novo conteúdo é trabalhado e contribui para o conhecimento do aluno, este consegue associá-lo a um conhecimento preexistente. Assim, o conhecimento será muito mais duradouro. E, segundo Ausubel (1982), o conhecimento obtido de maneira significativa é retido e lembrado por mais tempo, aumentando a capacidade de aprender novos conteúdos de maneira mais fácil e facilitando a reaprendizagem, se a informação original for esquecida. Para Moreira, Sousa e Silveira (1982), a aprendizagem significativa só ocorre quando um novo assunto, que possui uma estrutura lógica, interage com conceitos relevantes e inclusivos,

claros e disponíveis na estrutura de conhecimento do indivíduo. Assim, o ensino de novos conceitos físicos torna-se mais fácil quando os discentes fazem uma relação da aprendizagem de um novo conceito a conceitos que eles já conhecem. De acordo com a teoria desse autor, a aprendizagem significativa ocorre quando novos conhecimentos se ancoram em conceitos, elementos e temas relevantes, que já existem na estrutura cognitiva do indivíduo (MOREIRA, 2005).

2.3 Inserção de conteúdos de Física Moderna no ensino médio

A inserção da Física Moderna e contemporânea no ensino médio tem sido debatida por professores e pesquisadores no âmbito do ensino de Física. Segundo MOREIRA (2006),

Não tem sentido que, em pleno século XXI, a física que se ensina nas escolas se restrinja à física (clássica) que vai apenas até o século XIX. É urgente que o currículo de física na educação básica seja atualizado de modo a incluir tópicos de física moderna e contemporânea, como a física dos quarks abordada neste trabalho. O argumento de que tais tópicos requerem habilidades e/ou capacidades que os estudantes de ensino fundamental e médio ainda não tem é insustentável, pois outros tópicos que são ensinados, como a cinemática, por exemplo, requerem tantas ou mais capacidades/habilidades cognitivas do que partículas elementares. (MOREIRA, 2006, p. 172).

Diversas justificativas para essa inclusão no currículo do ensino médio são apresentadas em pesquisas, bem como nos documentos curriculares nacionais; porém, infelizmente não foi dada a devida importância ao estudo da Física Moderna na Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Mas sabemos da importância da abordagem de tópicos da Física moderna e contemporânea no ensino médio para que o ensino de Física se torne mais atual, contextualizado, através de um enfoque nos aspectos evolutivos e históricos da construção destes conhecimentos pela humanidade. Tais conteúdos têm sido abordados apenas no final do 3º ano do ensino médio, e de forma muito rápida, ou às vezes nem são vistos.

E são vários os motivos que implicam a não abordagem de tais conteúdos, desde a falta de uma formação continuada de professores, ou professores que não tem formação em Física, e até mesmo a complexidade dos conteúdos em comparação aos da Física clássica. Tais situações contrariam aquilo que estabelece a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB – Lei nº 9.394/1996) em seu artigo 35: A Base Nacional Comum Curricular definirá direitos e objetivos de aprendizagem do ensino

médio, conforme diretrizes do Conselho Nacional de Educação, nas seguintes áreas do conhecimento (incluído pela Lei nº 13.415, de 2017):

- I – linguagens e suas tecnologias (incluído pela Lei nº 13.415, de 2017);
- II – matemática e suas tecnologias (incluído pela Lei nº 13.415, de 2017);
- III – ciências da natureza e suas tecnologias (incluído pela Lei nº 13.415, de 2017);
- IV – ciências humanas e sociais aplicadas (incluído pela Lei nº 13.415, de 2017).

Como podemos observar, o inciso III do artigo 35 é bem claro quando fala sobre o ensino de ciências da natureza e suas tecnologias. Como falar de tecnologias sem abordar Física moderna e contemporânea?

Para Terrazzan (1994), a Física ensinada na escola de ensino médio deve oferecer condições, através de ferramentas conceituais de natureza prática, para a vida cotidiana. Além disso, o autor defende que a Física também deve oportunizar aos estudantes o conhecimento de fundamentos gerais que alicerçam as causas dos fenômenos da natureza e do avanço das tecnologias.

Ostermann e Moreira (2000) indicam algumas alegações para essa inserção, destacando entre elas:

- (I) despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;
- (II) os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;
- (III) é do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física;
- (IV) é mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino;
- (V) Física Moderna é considerada conceitualmente difícil e abstrata; mas, resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além da Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la. (OSTERMANN; MOREIRA, 2016, p. 24).

Esta proposta, então, traz a inserção de Física moderna já no primeiro ano do ensino médio, pois é necessário que haja mudanças no modo de ensinar e também no currículo escolar, de forma que possamos acompanhar as evoluções.

2.4 Metodologias

Primeiramente, foi feita uma pesquisa bibliográfica cujo objetivo era fazer um levantamento de informações e conhecimentos sobre a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein em diferentes materiais bibliográficos já publicados, pois, segundo Fonseca (2002, p. 32), a pesquisa é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos e páginas da Web. Também foi pensada a coleta de dados, em que foram utilizados questionários para uma melhor descrição e observação das turmas para avaliar o antes e o depois da execução do produto, que é um jogo de tabuleiro. Este jogo vem como método de ensino, pois, conforme as ideias de (KISHIMOTO, 2017) e (HUIZINGA, 1990), os jogos são uma importante ferramenta de aprendizado, além de estimularem o aluno e o fazerem agir e pensar, bem como estreitar laços de amizade e afetividades com seus colegas de classe.

Para a coleta de dados, recorreu-se a instrumentos que permitem apresentar e discutir os dados de maneira qualitativa na perspectiva de uma interpretação à luz do referencial teórico construído. Os instrumentos utilizados para coleta de dados foram questionários de pré-apresentação do assunto. Os questionários de sondagem do conhecimento foram aplicados em dois momentos distintos: antes da aplicação do produto (pré) e depois da aplicação do produto (pós). Também foram realizados dois procedimentos de aulas, em que uma foi expositiva e dialogada, com projeção de imagens por data show, vídeos (partes do filme *Interestelar*), quadro branco e pincel, enquanto a outra foi ministrada através da execução do produto.

Os principais objetivos do questionário sobre interesse foram: saber o nível de conhecimento dos discentes sobre a Teoria da Relatividade de Einstein; se os alunos consideram importante estudar tal conteúdo e qual a importância para a sua vida; e se julgam importantes o estudo desses temas no ensino médio, uma vez que não se trabalha com este conteúdo em turmas de primeiro ano do ensino médio – mas se deveria. Após a aplicação do produto, os alunos foram convidados a responder novamente ao questionário sobre conhecimentos físicos relacionados à Teoria da Relatividade. O objetivo dessa fase foi averiguar se houve mudança nas respostas dos estudantes em relação ao pré-teste e avaliar se houve melhor aprendizado com a aplicação do produto, pois o Mestrado Profissional em Física objetiva formar indivíduos que desenvolvam novos procedimentos e técnicas atuais para aplicar a Física em sala de aula.

Costa e Costa (2016) afirmam que, para se ter um material didático eficaz, não basta apenas que ele seja bom ou de elevada base tecnológica, mas é necessário ainda que ele permita atingir: os objetivos educativos que se pretendem alcançar; os conteúdos que serão utilizados; as características dos alunos (interesses, conhecimentos prévios, experiências e habilidades requeridas para o uso do material); as estratégias didáticas que podem ser utilizadas.

3 JOGO DE TABULEIRO

3.1 O jogo de tabuleiro, uma aula prática e prazerosa

O presente trabalho de dissertação resultou de pesquisa realizada num colégio da rede pública estadual de ensino médio da cidade de Alenquer, estado do Pará, com duas turmas de primeiro ano do ensino médio regular, sendo uma turma do período da manhã, e a outra turma do período da tarde, tendo a pesquisa sido aplicada a um universo de cerca de 60 alunos no total.

A escolha deste tema se deu após uma longa pesquisa e análise de conteúdo, de modo que o primeiro tema escolhido para trabalhar na dissertação não despertou o interesse dos futuros orientadores, além de ter havido certa dificuldade devido a estarmos em fase inicial de implantação do curso, sendo o segundo ano de criação do mesmo.

Porém, embora houvesse uma boa quantidade de trabalhos relacionados ao tema como sequência didática para ensinar relatividade restrita no ensino médio com uso das tecnologias da informação e comunicação (TICs), ou o lúdico no ensino de Física através de minicongresso com tema de Física moderna, ainda não havia nenhum trabalho que relacionasse o ensino da Relatividade Restrita no primeiro ano do ensino médio na área de Mecânica.

Em conversa com uma professora que não faz parte do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), foi apresentado um livro de história em quadrinhos de origem japonesa, o famoso Guia Mangá, com o assunto “Relatividade”. Pareceu-me um tema muito bom, mas precisava de um produto para trabalhar nesta dissertação, e, ao pesquisar diversas dissertações que trataram de jogos de aplicativos para telefone celular, ensino por experimentação etc., finalmente encontrei um produto excelente, o jogo de tabuleiro com cartas, por meio do qual se poderia trabalhar o lúdico com os alunos, conciliando história em quadrinhos (HQ) e cinema (ficção científica).

Escolhido como tema a Teoria da Relatividade Restrita (TRR), foi feito um levantamento do assunto nos livros do ensino médio das escolas públicas, em que somente na grade curricular do último ano, no último semestre do ensino médio, é que o professor poderia abordar tal assunto — e isso se o professor conseguisse cumprir por completo a grade do terceiro ano. Assim, foi conveniente abordar tal assunto no primeiro ano do ensino médio na grade de Mecânica, pois já estava sendo abordada a relatividade de Galileu, bem como as três leis de Newton, portanto serviria como uma complementação do assunto “Relatividade”, tendo o cuidado de não causar embaraço

ou confusão entre os alunos.

A princípio, o jogo de tabuleiro seria o produto principal dessa dissertação, porém os livros didáticos quase não abordam o tema de maneira que esclareça por completo o assunto; desse modo, foi necessária a complementação de uma leitura de apoio, que no caso foi o uso do Guia Mangá, que possui um excelente material e aborda de forma lúdica um assunto tão complexo, em que a faixa etária dos alunos gira em torno de 15 a 16 anos, uma fase muito complicada para cativar e manter a atenção.

Uma dificuldade encontrada foi o de reproduzir tal material para cerca de 60 alunos, o que tornou inviável tal projeto; porém, com o advento do telefone celular e, principalmente, dos aplicativos de conversas, foi possível implementar o referido projeto, de modo que foi criado um grupo de aplicativo com alunos das turmas da manhã e outro com alunos da turma da tarde. Todos eles se comprometeram com a leitura do material em suas residências, da forma mais conveniente possível. Outro material de apoio foi a apresentação, de forma abreviada, do filme *Interestelar*, em que é abordado o tema de dilatação temporal e contração de espaço.

Como foi mencionado na introdução desta dissertação, foram também utilizados materiais tradicionais, com recursos como projeção de imagens (data show) e materiais didáticos.

Em um primeiro momento foi apresentada uma pesquisa de sondagem para compreender se os alunos já possuíam algum conhecimento prévio da Teoria da Relatividade Restrita vindo do ensino fundamental. Tal pesquisa baseou-se nas ideias de (FREIRE, 2001), e as perguntas foram as seguintes:

- (a) Qual o nome do último livro que você leu?
- (b) Você costuma assistir a programa de TV com conteúdo científico? Qual?
- (c) De qual das disciplinas das Ciências da Natureza (Química, Biologia e Física) você mais gosta? Por quê?
- (d) Você conhece alguma contribuição científica relacionada a Albert Einstein? Se a resposta for sim, qual?
- (e) Você já ouviu alguém usar o termo “o tempo é relativo”? O que você entendeu dessa frase?
- (g) Será que existe algum limite para a velocidade que um objeto pode alcançar? Se existe, qual é?
- (h) Você gosta de ler? Que tipo de material você lê? Livros na Internet, história em quadrinhos, romances, etc.

Após a aplicação dos questionários, foi realizado um tratamento dos resultados pesquisados, e não foi nada bom, pois se constatou que, em sua primeira pergunta (Qual o nome do último livro que você leu?), os alunos que responderam positivamente à pergunta ficaram em torno de 88,2%, o que poderia ser considerado uma quantidade muito boa; já em relação aos alunos do turno da tarde, o percentual dos que responderam positivamente ficou em torno de 92%.

Para a pergunta seguinte, em que foi questionado: “Você costuma assistir a programa de TV com conteúdo científico? Qual?”, a maioria dos alunos mostrou que não tem o costume de assistir a programas de TV com conteúdo científico, pois 92% do turno da tarde e a metade do turno da manhã não têm contato com esse tipo de programação.

A pergunta seguinte foi: “De qual das disciplinas das Ciências da Natureza (Química, Biologia e Física), você mais gosta? Por quê?”, e os resultados apresentados foram os seguintes: a disciplina de Biologia, com 55,7%; em seguida Química, com 18,0%; e em último lugar Física, com 14,5%. Houve ainda aluno que respondeu que gosta de outra disciplina, enquanto outro respondeu que gosta das três, e um outro respondeu que não gosta de nenhuma, o que totalizou 11,5% dos entrevistados.

Uma observação nesta questão é que os alunos não tinham professor da disciplina de Física desde o início do ano letivo, sendo que só foi disponibilizado professor no mês de agosto, através de uma seleção de processo seletivo simplificado.

Na segunda parte da pergunta, os alunos responderam porque gostam da disciplina. No caso da Biologia, porque é disciplina que estuda o corpo humano e também estuda os seres vivos, e também alguns se identificam com a disciplina. Os que responderam gostar de Química disseram que gostam da disciplina porque gostam de fazer cálculos. Já os que responderam que gostam de Física disseram que pretendem cursar Engenharia.

A questão seguinte perguntou se os alunos conheciam o físico mais famoso do século XX: “Você conhece alguma contribuição científica relacionada a Albert Einstein? Se a resposta for sim, qual?”. De um total de 61 alunos, apenas 11,5% disseram que conheciam o físico e que conheciam a contribuição que ele fez, citando a Teoria da Relatividade.

Quanto à pergunta “Você já ouviu alguém usar o termo ‘o tempo é relativo’? O que você entendeu dessa frase?”, dos alunos do turno da manhã, cerca de 23,5% responderam que já haviam ouvido a expressão, e as justificativas que mais chamaram a atenção foram as seguintes: “O tempo nunca está parado, ele sempre está em movimento” e “O tempo sempre está em movimento”. Já dos alunos do turno da tarde, quase 30% responderam que ouviram a expressão, e as respostas que mais

chamaram a atenção foram: “O tempo relata fatos históricos que ao passar do tempo foram deixando marcas” e “O tempo pode curar uma ferida, pode mudar a vida de uma pessoa e sofrimento também. Eu tenho a forma de pensar que o tempo é o melhor amigo de uma pessoa também”.

Para “Você acha que é possível viajar no tempo?”, a maioria dos alunos, cerca de 63%, respondeu que não é possível viajar no tempo; e dos alunos que responderam positivamente, as repostas mais interessantes foram: “Não sei, apenas eu acho provável e ao mesmo tempo impossível, porque eu nunca consegui, mas eu espero que alguém consiga” e “Só se for mentalmente, não acho que dá de outra forma”.

Para “Será que existe algum limite para a velocidade que um objeto pode alcançar? Se existe, qual é?”, como era esperado de alunos vindos do ensino fundamental, a maioria não respondeu adequadamente ao questionamento, dizendo que não existe limite, que um móvel pode ser tão rápido (eles citaram um foguete, um cometa ou uma bala, se prendendo a coisas materiais); ninguém conseguiu relatar que na natureza a velocidade limite, para qualquer móvel, é a velocidade da luz, e que a velocidade alcançada é de aproximadamente 300.000 km/s.

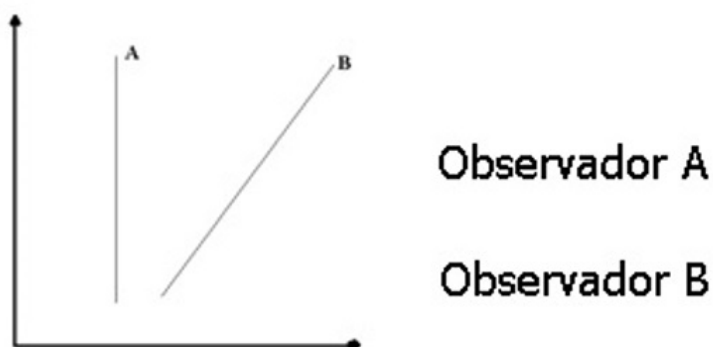
4 TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

4.1 Relatividade de Galileu

Sabemos que o assim chamado princípio da inércia, uma lei da mecânica galileana e newtoniana, afirma que um corpo afastado o bastante de outros corpos permanece em repouso ou em movimento linear uniforme (LEVY, 2015), ou seja, o princípio da relatividade de Galileu diz que “as leis da Física são as mesmas, independentemente do sistema de coordenadas do qual a observação é feita estar em repouso ou se movendo com velocidade constante” (NITTA; YAMAMOTO, 2011).

Para darmos início ao princípio da relatividade de Galileu e transformações de Galileu, vamos considerar o fator K . Para efeito de simplicidade, consideraremos um espaço-tempo bidimensional, uma dimensão espacial e uma dimensão temporal. Vamos assumir dois observadores, o observador A em repouso e observador B movendo-se em relação ao observador A com velocidade constante em direção, sentido e módulo. A figura 1 ilustra o diagrama espaço-temporal:

Figura 1 – Espaço-tempo bidimensional



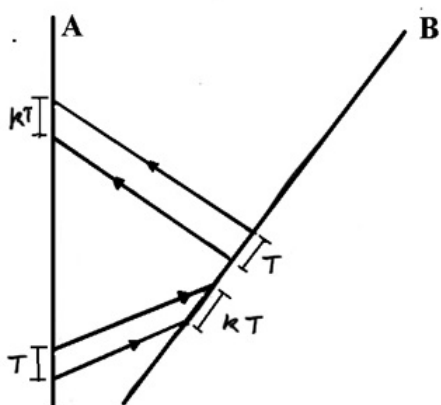
Fonte: do próprio autor

Ao longo de todo texto assumiremos que c (velocidade da luz), de tal modo que o raio de luz se propaga a 45° em relação à linha, de modo que qualquer referencial é inercial.

O fator K está associado às características de movimento entre os referenciais inerciais.

Para o observador em B, o tempo medido é o tempo inicial da contagem (KT) mais a metade do tempo que a luz leva para alcançar e retornar. O sinal parte de B no ponto KT e alcança o ponto $\frac{T}{K}$, figura 2.

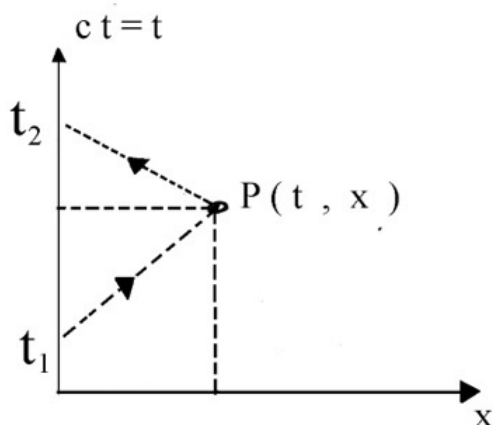
Figura 2 – Trajeto da luz



Fonte: do próprio autor

Construindo as coordenadas de um evento no espaço-tempo, figura 3 temos:

Figura 3 – Evento no espaço-tempo



Fonte: do próprio autor

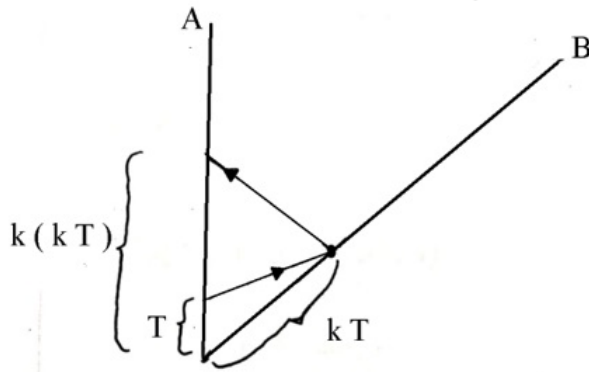
Podemos encontrar a relação entre fator K e a velocidade, considerando um caso semelhante aos discutidos anteriormente. Suponha-se novamente que B esteja se afastando de A, e assim que B recebe um sinal, ele envia outro de volta para A. Figura 4.

$$ct = \frac{1}{2} (ct_1 + ct_2) = \frac{1}{2} (ct_1 + ct_2)$$

$$x = \frac{1}{2} (ct_2 - ct_1) = \frac{c}{2} (t_2 - t_1)$$

$$(ct; x) = \left(\frac{c}{2} (t_1 + t_2); \frac{c}{2} (t_2 - t_1) \right) \quad (4.1)$$

Figura 4 – Relação entre **K** e **v**



Fonte: do próprio autor

Como já vimos antes, o tempo em que B recebe um sinal é igual ao tempo medido em A multiplicado pelo fator K. Quando B emite o sinal em resposta para A, partimos para o ponto de vista de B, onde A está se afastando de B (com a mesma velocidade que A via B se afastar). Assim, o tempo que A irá medir, do ponto de vista de B, é igual ao tempo em B multiplicando o mesmo fator K. Contudo, no instante em que B emite sua resposta, nós já sabemos o seu tempo, que é igual a Kt . Multiplicando este tempo mais uma vez por K, chegamos no resultado mostrado no diagrama: A recebendo a resposta no tempo K^2t . O tempo medido por A entre a emissão do sinal e o recebimento da resposta de B é:

$$t_1 = T$$

$$t_1 = k(kT) = k^2T$$

$$t = \frac{1}{2} (t_1 + t_2)$$

$$t = \frac{1}{2} T (k^2 + 1)$$

$$x = \frac{1}{2} (t_2 - t_1)$$

$$x = \frac{1}{2}T(k^2 - 1)$$

$$v = \frac{x}{t} = \frac{\frac{c}{2}(k^2 - 1)}{\frac{1}{2}(k^2 + 1)} = \frac{c(k^2 - 1)}{(k^2 + 1)} \quad (4.2)$$

$$v = \frac{c(k^2T - T)}{(T + Tk^2)} = \frac{c(k^2 - 1)}{(k^2 + 1)}$$

$$\frac{v}{c} = \frac{c(k^2 - 1)}{(k^2 + 1)}$$

é conveniente reescrever k em função de V :

$$(k^2 + 1) \frac{v}{c} = (k^2 - 1)$$

$$k^2 \left(\frac{v}{c} \right) + \left(\frac{v}{c} \right) = (k^2 - 1)$$

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

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

$$k^2 = \frac{\left(1 + \frac{v}{c} \right)}{\left(1 - \frac{v}{c} \right)}$$

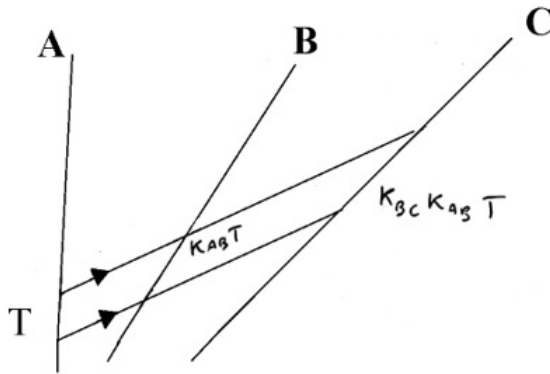
$$k = \left\{ \frac{\left(1 + \frac{v}{c} \right)}{\left(1 - \frac{v}{c} \right)} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4.3)$$

4.2 Lei para composição para velocidade

Assumindo, a partir da figura 5, que

$$k_{AC} = k_{AB} \cdot K_{BC} \quad (4.4)$$

Figura 5 – Composição da velocidade



Fonte: do próprio autor

e usando a expressão (4.3), temos:

$$k_{AB} = \left(\frac{1 + \frac{v_{AB}}{c}}{1 - \frac{v_{AB}}{c}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$k_{BC} = \left(\frac{1 + \frac{v_{BC}}{c}}{1 - \frac{v_{BC}}{c}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$k_{AC} = \left(\frac{1 + \frac{v_{AC}}{c}}{1 - \frac{v_{AC}}{c}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\left(\frac{1 + \frac{v_{AC}}{c}}{1 - \frac{v_{AC}}{c}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{1 + \frac{v_{AB}}{c}}{1 - \frac{v_{AB}}{c}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{1 + \frac{v_{BC}}{c}}{1 - \frac{v_{BC}}{c}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\left(\frac{1 + \frac{v_{AC}}{c}}{1 - \frac{v_{AC}}{c}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left\{ \left(\frac{1 + \frac{v_{AB}}{c}}{1 - \frac{v_{AB}}{c}} \right) \cdot \left(\frac{1 + \frac{v_{BC}}{c}}{1 - \frac{v_{BC}}{c}} \right) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{\left(1 + \frac{v_{AC}}{c} \right)}{\left(1 - \frac{v_{AC}}{c} \right)} = \left(\frac{1 + \frac{v_{AB}}{c}}{1 - \frac{v_{AB}}{c}} \right) \cdot \left(\frac{1 + \frac{v_{BC}}{c}}{1 - \frac{v_{BC}}{c}} \right)$$

$$\frac{\left(1 + \frac{v_{AC}}{c} \right)}{\left(1 - \frac{v_{AC}}{c} \right)} = \frac{\left(1 + \frac{v_{BC}}{c} + \frac{v_{AB}}{c} + \frac{v_{AB} \cdot v_{BC}}{c^2} \right)}{\left(1 - \frac{v_{BC}}{c} - \frac{v_{AB}}{c} + \frac{v_{AB} \cdot v_{BC}}{c^2} \right)}$$

$$\begin{aligned}
 & \left(1 + \frac{v_{AC}}{c} - \frac{v_{BC}}{c} - \frac{v_{AB} \cdot v_{BC}}{c^2} - \frac{v_{BC}}{c} - \frac{v_{AC} \cdot v_{BC}}{c^2} + \frac{v_{AB} \cdot v_{AC} \cdot v_{BC}}{c^3} \right) = \\
 & = \left(1 - \frac{v_{AC}}{c} + \frac{v_{BC}}{c} - \frac{v_{BC} \cdot v_{AC}}{c^2} + \frac{v_{AB}}{c} - \frac{v_{AB} \cdot v_{AC}}{c^2} + \frac{v_{AB} \cdot v_{BC}}{c^2} - \frac{v_{AB} \cdot v_{AC} \cdot v_{BC}}{c^3} \right) \\
 & \left(2v_{AC} + \frac{2v_{AB} \cdot v_{AC} \cdot v_{BC}}{c^2} \right) = 2v_{AB} + 2v_{BC} \\
 & v_{AC} \left\{ 1 + \frac{v_{AB} v_{BC}}{c^2} \right\} = v_{AB} + v_{BC} \\
 & v_{AC} = \frac{v_{AB} + v_{BC}}{\left\{ 1 + \frac{v_{AB} \cdot v_{BC}}{c^2} \right\}} \tag{4.5}
 \end{aligned}$$

Assumindo que $\frac{v_{AB}}{c} \ll 1$ e $v_{AB} \ll c$

$$\frac{v_{BC}}{c} \ll 1 \text{ e } v_{BC} \ll c$$

$$\frac{v_{BC}}{c} \cdot \frac{v_{BC}}{c} \ll 1$$

e ainda implica que

$$1 + \frac{v_{AB} \cdot v_{BC}}{c^2} \cong 1$$

assim,

$$v_{AC} \cong v_{AB} + v_{BC} \tag{4.6}$$

4.3 Encontramos relatividade em regime clássico

Assumindo que $v_{BC} = c$ temos

$$v_{AC} = \frac{v_{AB} + c}{1 + \frac{v_{AB} c}{c^2}}$$

$$v_{AC} = \frac{v_{AB} + c}{1 + \frac{v_{AB}}{c}} = \frac{v_{AB} + c}{c + \frac{v_{AB}}{c}} = c$$

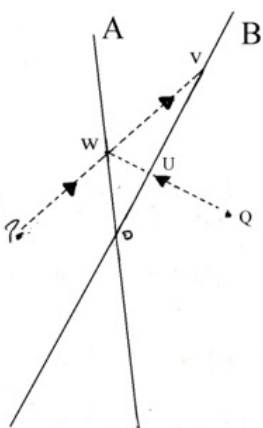
$$v_{AC} = c \tag{4.7}$$

O resultado de (4.7) está em plena concordância com o segundo postulado. O segundo postulado refere-se diretamente à constância da velocidade da luz no vácuo, sendo assim uma conclusão direta das equações de Maxwell.

4.4 Relatividade da simultaneidade

Considerando o disposto na figura 6 e na figura 7

Figura 6 – Relatividade e simultaneidade



Fonte: do próprio autor

$$ct' - x' = k(ct - x) \tag{4.8}$$

$$ct + x = k(ct' + x') \tag{4.9}$$

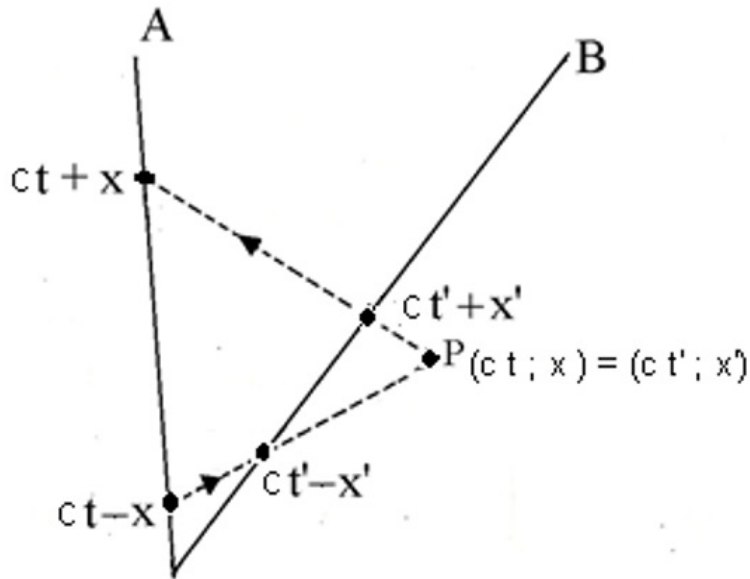
$$ct' = x' + k(ct - x) \tag{4.10}$$

Substituindo (4.10) em (4.9), temos

$$ct + x = k(ct' - x')$$

$$ct + x = k(x' + k(ct - x)) + x'$$

Figura 7 – Simultaneidade



Fonte: do próprio autor

$$ct + x = k \{2x' + k(ct - x)\}$$

$$ct + x = 2x'k + k^2(ct - x)$$

$$ct + x = \left(\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}} \right)^{\frac{1}{2}} 2x' + \left(\frac{1 + \frac{v_{AB}}{c}}{1 - \frac{v_{AB}}{c}} \right) (ct - x)$$

$$ct - \left(\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}} \right) ct + x + x \left(\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}} \right) = 2x' \cdot \left(\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$ct \left[\frac{\left(1 - \frac{v}{c}\right) - \left(1 + \frac{v}{c}\right)}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} \right] + x \left[\frac{\left(1 - \frac{v}{c}\right) - \left(1 + \frac{v}{c}\right)}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} \right] = 2x' \left\{ \frac{\left(1 - \frac{v}{c}\right)}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$ct \left[\frac{-2\frac{v}{c}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} \right] + x \left[\frac{2}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} \right] = 2x' \left(\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\begin{aligned}
ct \left(\frac{-\frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}} \right) + \left(\frac{x}{1 - \frac{v}{c}} \right) &= x' \left(\frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right)}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} \right)^{\frac{1}{2}} \\
\left(\frac{1}{1 - \frac{v}{c}} \right) \cdot [x - vt] &= x' \left(\frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right)}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} \right)^{\frac{1}{2}} \\
x - vt &= x' \frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}} \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right) \\
x - vt &= x' \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \\
x - vt &= x' \left\{ \left(1 + \frac{v}{c}\right) \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right) \right\}^{\frac{1}{2}} \\
x - vt &= x' \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}} \\
x' &= \frac{(x - vt)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \tag{4.11}
\end{aligned}$$

Considerando

$$ct' = x' + k(ct - x)$$

Substituindo (4.11) em (4.10), temos

$$c.t' = x' + k(c.t - x)$$

$$c.t' = \frac{(x - vt)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + k(c.t - x)$$

$$ct' = \frac{(x - vt)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + \frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} (c.t - x)$$

$$c.t' = \frac{x}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} x - \frac{v.t}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} \cdot c.t$$

$$c.t' = \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right\} + t \left\{ c \cdot \frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} - \frac{v}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} \right\}$$

$$c.t' = x \left\{ \frac{1}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}} - \frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}} \right\} + c.t \left\{ \frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}} - \frac{\frac{v}{c}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}} \right\}$$

$$c.t' = x \left\{ \frac{1 - \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}} \right\} + c.t \left\{ \frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} - \frac{v}{c}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}} \right\}$$

$$c.t' = x \cdot \frac{1 - \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}} + c.t \frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right) - \left(\frac{v}{c}\right)}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$t' = \frac{-x \cdot \left(\frac{v}{c}\right)}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}} + \frac{c.t}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$t' = \frac{\left(t - x \frac{v}{c^2}\right)}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$t' = \frac{\left(t - x \frac{v}{c^2}\right)}{\sqrt{\left(1 - \frac{v}{c}\right) \left(1 + \frac{v}{c}\right)}}$$

$$t' = \frac{\left(t - \frac{v}{c^2} \cdot x\right)}{\left(1^2 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$t' = \frac{\left(t - \frac{v}{c^2} \cdot x\right)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4.12)$$

Um tratamento algébrico simples revela que:

$$t'^2 = (t - v \cdot x)^2 \cdot (1 - v^2)^{-1}$$

$$x'^2 = (t - v \cdot x)^2 \cdot (1 - v^2)^{-1}$$

$$\begin{aligned} c^2 \cdot t'^2 - x'^2 &= c^2 \left\{ \frac{\left(t - \frac{v}{c^2} \cdot x\right)^2}{\left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right)^2} \right\} - \frac{(x - vt)^2}{\left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right)^2} = \\ c^2 \cdot t'^2 - x'^2 &= c^2 \left\{ \frac{\left(t^2 + \frac{v^2}{c^4} \cdot x^2 - 2 \frac{v}{c^2} \cdot t \cdot x\right)^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \right\} - \left\{ \frac{(x^2 + v^2 t^2 - 2v \cdot x \cdot t)}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \right\} \\ c^2 t'^2 - x'^2 &= \left\{ \frac{\left(c^2 t^2 + \frac{v^2 x^2}{c^2} - 2 \cdot v \cdot t \cdot x\right)^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \right\} - \left\{ \frac{(x^2 + v^2 t^2 - 2 \cdot v \cdot x \cdot t)}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \right\} \\ c^2 t'^2 - x'^2 &= \frac{(c^2 t^2) - x^2 + \left(\frac{v^2 x^2}{c^2}\right) - (v^2 t^2)}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \\ c^2 t'^2 - x'^2 &= \frac{(c^2 t^2) - x^2 + \frac{v^2}{c^2} (x^2 - c^2 t^2)}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \\ c^2 t'^2 - x'^2 &= \frac{(c^2 t^2 - x^2) \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \\ c^2 t'^2 - x'^2 &= c^2 t^2 - x^2 \end{aligned} \quad (4.13)$$

4.5 Transformação de Lorentz

Mostrando que a quantidade $t^2 - x^2$ é invariante sob transformação de Lorentz: Considerando dois eventos separados infinitesimalmente, bem como a extensão para quatro dimensões, temos:

$$(d\delta)^2 = c^2(dt)^2 - (dx)^2 - (dy)^2 - (dz)^2 \quad (4.14)$$

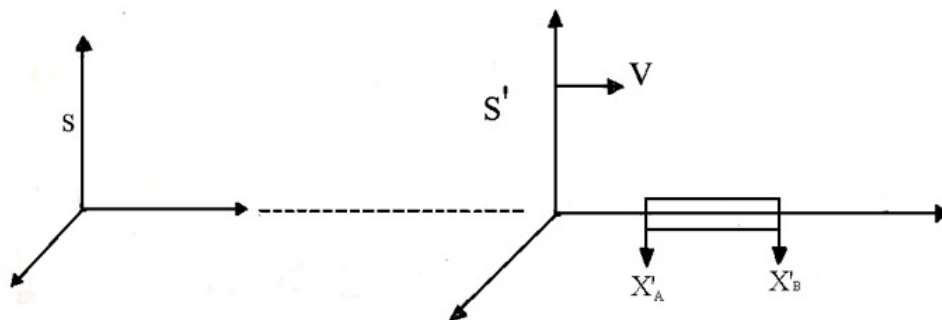
Onde $(d\delta)^2$ é invariante sob transformações de Lorentz. Um espaço-tempo contínuo de quatro dimensões, onde a expressão (4.14) é invariante, é chamado de **espaço-tempo de Minkowski**, e este determina a geometria associada à relatividade restrita.

5 ALGUMAS CONSEQUÊNCIAS DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

5.1 Contração do espaço

A partir da observação dos referenciais S e S' , figura 8 temos:

Figura 8 – Referenciais S e S'



Fonte: do próprio autor

$$L_0 = x'_B - x'_A \quad (S')$$

Então $t = t_A = t_B$

$$L = x_B - x_A \quad (S)$$

Onde

$$x'_A = \frac{x_A - v \cdot t_A}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}; \quad x'_B = \frac{x_B - v \cdot t_B}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$L_0 = x'_B - x'_A = \frac{x_B - x_A}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{L}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$L = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot L_0 \quad (5.1)$$

Uma vez que $\frac{v}{c} < 1 \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} < 1 \Rightarrow 1 - \frac{v^2}{c^2} < 1$

Assim,

$$L < L_0$$

5.2 Dilatação do tempo

Se supomos um relógio fixado em $x' = x'_A$ registrando dois sucessivos eventos separados por intervalo de tempo T_0 , segue, portanto, o devido tratamento matemático:

$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{v}{c^2} \cdot x'_A}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$t_2 = \frac{t'_1 + T_0 + \frac{v}{c^2} \cdot x'_A}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$T = t_2 - t_1 = \frac{T_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (5.2)$$

$$T > T_0$$

5.3 Tempo próprio

Define-se por tempo próprio o tempo ou intervalos de tempo inferidos por um relógio posicionado de forma estática na origem do referencial adotado. Grosso modo, o tempo próprio é o tempo inferido por um observador mediante observação de um relógio que sempre esteja em seu braço. O infinitésimo de tempo próprio é igual a

$$d\delta^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

$$d\delta^2 = \left[1 - \frac{1}{c^2} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 - \frac{1}{c^2} \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 - \frac{1}{c^2} \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 \right] \cdot c^2 \cdot dt^2$$

Como

$$\frac{\vec{v} \cdot \vec{v}}{c^2} = \frac{|\vec{v}|^2}{c^2} = \frac{1}{c^2} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 - \frac{1}{c^2} \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 - \frac{1}{c^2} \left(\frac{dz}{dt}\right)^2$$

Temos então

$$d\delta^2 = \left[1 - \frac{|\vec{v}|^2}{c^2} \right] dt^2$$

$$d\delta = d\tau$$

Tempo próprio registra a separação temporal medida pelo observador entre dois eventos no espaço-tempo. As coordenadas espacial e temporal do observador no referencial externo dependerão estritamente do referencial adotado para a análise do movimento da partícula; mas qualquer que seja o referencial adotado para a análise do problema, feitos os cálculos, deve-se sempre concluir pelo mesmo tempo próprio e pela mesma distância espacial a serem mensuradas pelo observador.

Considerando-se a previsão de que, ao observar qualquer relógio que se mova no referencial adotado, um observador atrelado ao citado referencial verá o relógio móvel atrasar-se em relação aos relógios estáticos coordenados que definem sua medida de tempo, pode-se afirmar que os intervalos de tempo próprio daquele referencial correspondem ao menor dos intervalos de tempo, separando dois eventos a ele atrelados, passível de ser mensurado, qualquer que seja o referencial inercial em questão.

O intervalo de tempo próprio τ , inferido entre dois eventos que ocorram em uma mesma posição espacial no referencial adotado de forma a haver entre eles apenas uma separação temporal no citado referencial, relaciona-se com o intervalo de tempo Δt medido para os mesmos eventos em outro referencial distinto do primeiro (o referencial externo) mediante a expressão:

$$c\Delta\tau = \sqrt{(c\Delta t)^2 - (\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2}$$

Onde a expressão entre colchetes sob a raiz corresponde à separação espacial entre os eventos, conforme mensurado no referencial para o qual se determina o intervalo de tempo Δt entre eles (conforme mensurado no referencial externo), e c corresponde à velocidade da luz.

O intervalo de tempo próprio τ inferido entre dois eventos que ocorram em uma mesma posição espacial no referencial adotado (o referencial do observador) — de forma a haver entre eles apenas uma separação temporal no citado referencial — relaciona-se com o intervalo de tempo Δt medido para os mesmos eventos em outro referencial distinto do primeiro (o referencial externo) mediante a expressão:

$$c\Delta\tau = \sqrt{(c\Delta t)^2 - (\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2}$$

Onde a expressão entre colchetes sob a raiz corresponde à separação espacial entre os eventos, conforme mensurado no referencial para o qual se determina o intervalo de tempo Δt entre eles (conforme mensurado no referencial externo), e c corresponde à velocidade da luz.

$$d\tau = \left(1 - \frac{|v|^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}} dt$$

$$\tau = \int_{t_0}^{t_1} \left(1 - \frac{|v|^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}} dt \quad (5.3)$$

5.4 Regime não relativístico

Em regime não relativístico $\left(\frac{v}{c} \ll 1\right)$, podemos expandir em série de Taylor o termo $\left(1 - \frac{|v|^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$; segue-se o tratamento matemático.

Define-se a série de Taylor como:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(x - x_0)^n}{n!} \cdot \frac{d^n f(x = x_0)}{dx^n}$$

Para a função $f(x) = (1 + x)^n$; $x < 1$ e $x_0 = 0$, temos $(1 + x)^n = 1 + n \cdot x + n(n - 1) + n(n - 1) \cdot (n - 2) \cdot \frac{x^3}{3!} + \dots + (1 + x)^n \cong 1 + n \cdot x$

Aplicando o tratamento análogo ao termo $\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{-\frac{1}{2}}$, obtemos

$$\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{-\frac{1}{2}} \cong 1 - \frac{1}{2} \left(-\frac{v^2}{c^2}\right) \cong 1 + \frac{v^2}{2c^2}$$

$$\frac{v}{c} \ll 1 \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} \ll 1$$

Assim, temos

$$\left(1 - \frac{v}{c}\right)^{-\frac{1}{2}} \cong 1$$

Deste modo, as transformações de Lorentz

$$x' = (x - v \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$t' = \left(t - \frac{v}{c^2} \cdot x\right) \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

Como as leis da Física são as mesmas em qualquer referencial, Galileu descobriu uma maneira simples de descrever como as observações diferem, dependendo do referencial em que você esteja. Reduzem-se as transformações de Galileu em

$$x' = x - v.t$$

$$t' = t$$

Com isso, usamos as transformações de Galileu para ajudar a entender a noção de “adicionar” velocidades relativas. Obs.: Em sistema de unidades diferente do utilizado para fazer $c=1$, temos

$$t' = \left(t - \frac{v.x}{c^2} \right) \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\frac{v}{c^2} \rightarrow 0$$

Para regime não relativístico, temos

$$t' = t$$

Discussões adicionais sobre as transformações de Lorentz: Com isso a mecânica Newtoniana se aplica ao longo de referenciais quando conectada à transformação de Galileu. Por outro lado, a suposição de que a velocidade da luz é constante em qualquer referencial forçou os cientistas a reformularem a transformação de Galileu para que ficasse consistente com a Teoria da Relatividade.

5.5 Transformações De Lorentz

Sejam as transformações de Lorentz:

$$x' = (x - v.t) \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$t' = \left(t - \frac{v}{c^2} \cdot x \right) \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

Para variações infinitesimais, temos:

$$dx' = (dx - v \cdot dt) \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$dt' = \left(dt - \frac{v}{c^2} \cdot dx\right) \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$dy' = dy$$

$$dz' = dz$$

O intervalo entre dois eventos infinitesimalmente próximos é definido por

$$dS^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

É possível mostrar que

$$dS' = dS^2$$

$$c^2 dt'^2 - dx'^2 - dy'^2 - dz'^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

5.6 Espaço-tempo de Minkowski

O intervalo entre dois eventos é invariante sob transformações de Lorentz. Assumindo o espaço-tempo de Minkowski, faremos uso da notação:

$$x^0 = ct; \quad c = 1 \quad \Rightarrow \quad x^0 = t$$

$$x^1 = x$$

$$x^2 = y$$

$$x^3 = z$$

A transformação de Lorentz é uma transformação linear que pode ser escrita na forma de

$$x'^{\mu} = \bigwedge_0^{\mu} x^0 + \bigwedge_0^{\mu} x^1 + \bigwedge_0^{\mu} x^2 + \bigwedge_0^{\mu} x^4 + \equiv \bigwedge_v^{\mu} x^v$$

5.7 Relação entre energia e massa

A segunda lei de Newton sobre movimento é representada da seguinte maneira:

$$f = m \cdot a = m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}$$

Onde f está representando a força, m está representando a massa, a está representando a aceleração, e onde a aceleração pode ser considerada a segunda derivada do deslocamento em relação ao tempo:

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

De acordo como princípio da relatividade de Galileu, as leis da Física operam exatamente da mesma maneira, independentemente de serem medidas no repouso ou em movimento. Em outras palavras, independentemente de você arremessar um móvel no ar dentro de um recinto fechado que esteja em repouso ou em velocidade constante, o móvel irá deslocar-se para cima e para baixo dentro do recinto fechado e retornará à sua mão da mesma forma. Se tivermos dois referenciais diferentes para analisar as leis do movimento para verificar que as leis da Física não mudam quando não levamos em conta a relatividade, em um referencial em repouso, no qual a posição do móvel é medida com x , e no referencial em movimento, no caso do recinto fechado, em que a posição do móvel é medida com x' :

$$\frac{dx'}{dt'}$$

Se substituirmos a transformação de Galileu $x' = x - v \cdot t$ aqui, teremos o seguinte:

$$\frac{dx'}{dt} = \frac{d}{dt}(x - vt) = \frac{dx}{dt} - v \frac{dt}{dt} = \frac{dx}{dt} - v$$

Nós usamos a relação $\frac{dx'}{dt} = 1$ aqui, porque $dt' = dt$; se derivarmos novamente, teremos o seguinte:

$$\frac{d^2 x'}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} - v \right) = \frac{dx}{dt}$$

Como a única força atuante sobre o móvel, nesse caso, é a gravidade, se fizermos g denotar a gravidade, teremos a seguinte fórmula:

$$g = f = m \cdot a = m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}$$

Percebemos que, nessa equação, g é uma força, e não uma aceleração ocasionada pela gravidade. Agora, se fizermos a' e denotarmos a aceleração dentro do recinto fechado, que está movendo-se a uma velocidade constante, e fizermos f' e denotarmos a força, teremos a seguinte fórmula:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = m \cdot \frac{d^2 x'}{dt'^2} = ma' = f' = g$$

Desta forma, a equação do movimento não é alterada, bem como a forma da equação do movimento não muda, de modo que as leis da Física permanecem as mesmas.

5.7.1 Primeiro postulado

Todos os observadores inerciais são equivalentes. O primeiro postulado está associado diretamente às leis da Mecânica, da Termodinâmica, da Óptica e do Eletromagnetismo, ou seja, é uma generalização do princípio da Relatividade Galileana e de Newton que se aplicava apenas à Mecânica. Esta generalização de várias leis somente foi possível graças à modificação dos conceitos de espaço e tempo. O segundo postulado trouxe, entre algumas consequências, a de que nenhuma partícula pode deslocar-se com velocidade superior à da luz.

5.7.2 Segundo postulado

A velocidade da luz é a mesma em todos os referenciais inerciais.

6 PRODUTO

6.1 Descrição do Produto

Foram elaborados quatro folhetos sobre a Teoria da Relatividade para serem utilizados como suporte aos alunos, e um jogo de tabuleiro com cartas para que os alunos pudessem, de forma divertida, testar seu aprendizado. Devemos observar que os folhetos, o jogo de tabuleiro e as cartas do jogo se encontram em documento à parte deste trabalho, estando nos apêndices apenas como imagens ilustrativas.

6.2 O jogo

É composto de:

- (a) 1 tabuleiro de tamanho 80 cm x 70 cm, impresso em papel cartão, para três jogadores e um Expert da Relatividade;
- (b) 45 cartas de perguntas sobre os temas dos folhetos e da HQ e do filme apresentados. As cartas foram editadas em tamanho de 7 cm x 9,5 cm, sendo 9 cartas em cada folha de papel A4, impressa em frente e verso do papel cartão;
- (b) 12 Cartas Bônus Espacial, editadas também em tamanho 7 cm x 9,5 cm, sendo também nove cartas em cada folha de papel A4, impressa em frente e verso. Elas se dividem em:
 - i. Cartas Bônus: Avançar um ponteiro; [ii.] Cartas Bônus: Eu respondo;
 - iii. Cartas Bônus: S.O.S;
 - iv. Cartas Buraco Negro;
 - v. Bloqueio de Carta Buraco Negro;
 - vi. Neutralizar.
- (d) Cartas Buraco Negro: editadas em tamanho 7 cm x 9,5 cm, sendo nove cartas em cada folha de papel A4. Elas se dividem em:
 - i. Passou a vez;
 - ii. Carta Aprisionada;
 - iii. Volte um ponteiro.

- (e) Instruções do jogo Expert da Relatividade, editadas em folha A4, num total de três páginas, que estão nos Apêndices deste trabalho. Observe-se que os jogadores contaram com bonequinhos confeccionados em papel chamados avatares, figura 9.

Figura 9 – Bonequinhos avatares



Fonte: do próprio autor

Conforme aparece na figura 9 os bonequinhos avatares identificarão cada jogador em sua trajetória nos ponteiros da máquina do tempo. Para futuros trabalhos, estes poderão ser impressos em preto e branco, sem que haja perda de qualidade gráfica, caso o professor não disponha de condições para fazer uma impressão colorida.

7 APLICAÇÃO

7.1 Relato de aplicação do produto

7.1.1 Aulas sobre a Teoria da Relatividade

Para introdução do conteúdo da Teoria da Relatividade nas turmas de primeiro ano do ensino médio, fez-se necessário ministrar uma aula expositiva sobre o tema (o plano de aula está no Apêndice A), com a finalidade de direcionar o aluno no grande e parcialmente conhecido mundo da Teoria da Relatividade, com uma abordagem breve dos tópicos a serem trabalhados nos folhetos de apoio ao jogo de tabuleiro e nas perguntas das cartas do jogo de tabuleiro Expert da Relatividade.

Nesta oportunidade também foram esclarecidas as etapas das atividades e seus objetivos.

Verificou-se que nos alunos foi despertado um maior interesse e especial curiosidade pelo assunto da Teoria da Relatividade, no tocante às aplicações desse assunto em seu dia a dia, em que se registram alguns casos, poucos fundamentos e nenhum argumento sólido, mas em sua maioria superficiais (ideias cinematográficas, fantasiosas).

Podemos observar que durante a aula o aluno manifestou interesse pelo assunto, tendo em vista que houve alguns questionamentos como, por exemplo, sobre a viagem no tempo.

7.1.2 Espaços de leitura

Figura 10 – Alunos realizando atividade de leitura da HQ (material impresso)



Fonte: do próprio autor

Como havia constatado em pesquisa preliminar com os alunos, poucos possuíam o hábito da leitura; por isso, buscou-se um material de apoio que despertasse o

interesse e fosse o mais agradável possível, e optou-se pela HQ Guia Mangá com o tema “Relatividade”. Conforme aparece na figura 10 tal material foi retirado e impresso de um TCC do acadêmico Lucas Diovani Lopes Narciso com o tema 432 Horas de Relatividade: Uma investigação acerca da Utilização de Mangá no Ensino de Física. Este material foi de grande ajuda e foi publicado pela PUC do Rio Grande do Sul (NARCISO, 2014).

Figura 11 – Alunos realizando atividade de leitura da HQ (aplicativo de telefone celular)



Fonte: do próprio autor

Em um primeiro momento, pretendia-se distribuir uma cópia para cada aluno; mas isso se mostrou inviável, devido ao universo de 60 alunos. Além disso, gastaríamos muito tempo confeccionando tanto material em tão pouco prazo. Então a solução foi criar dois grupos de aplicativos de WhatsApp para as duas turmas, conforme pode ser visto na figura 11, onde os alunos realizaram a leitura do material 432 Horas de Relatividade: Uma investigação acerca da Utilização de Mangá no Ensino de Física no seu próprio celular, pois, precisava entregar o material o mais breve possível, então a solução foi digitalizar o material. Dois dias antes do evento do jogo de tabuleiro, foi postada no grupo a HQ.

Outro problema constatado foi que o grupo da tarde contava com poucos alunos, visto que alguns não possuíam telefones celulares; outros possuíam e não estavam no grupo, preferindo um jogo chamado Free Fire, que é uma febre entre os alunos do sexo masculino.

Este trabalho não teve como objetivo principal uma pesquisa qualitativa e quantitativa, porém foi realizada uma pesquisa de sondagem com o objetivo de conhecer o perfil do aluno.

Observou-se que a maioria dos alunos realizou a leitura recomendada, sendo diferenciada em cada grupo. Alguns conseguiram ler todo o material e outros não conseguiram chegar ao final da HQ. Mas isso já foi de grande ajuda, visto que uma parcela dos alunos poucas vezes teve contato com a leitura, pois são provenientes do ensino

fundamental, e o município possui uma política de desvalorização dos professores, com perda de direitos e revogação do Plano de Cargos, Carreiras e Remuneração (PCCR), atraso de salários e conseqüentemente algumas greves, refletindo num fraco desempenho no Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB).

Durante a aula expositiva com data show, os alunos tiveram a oportunidade e a necessidade de tirar suas dúvidas, uma vez que estavam entrando em um campo de conhecimento, em tese, novo, totalmente desconhecido para alguns, valendo neste momento o papel do professor como orientador da aprendizagem. Os alunos receberam informações adicionais na hora da aula, sendo aconselhados a buscar esclarecimento sempre que surgissem dúvidas.

7.1.3 Jogo de tabuleiro Expert da Relatividade

O material do jogo de tabuleiro foi produzido em três kits, para atender a três grupos de jogadores, num total de 12 alunos participando diretamente, e os demais como auxiliares, para que não houvesse alunos dispersos.

Figura 12 – Aluno na posição de Expert da Relatividade, fazendo pergunta da carta sorteada



Fonte: do próprio autor

Os alunos foram organizados de forma que todos pudessem participar da atividade, na qual alguns fariam revezamento com os que não possuíam os kits; em seguida foi escolhido entre as equipes um aluno para ser o Expert da Relatividade, a pessoa que iria gerenciar o jogo para que não houvesse confusão e seria responsável por fazer as perguntas e coordenar o andamento do jogo, conforme aparece na figura 12, ficando os demais alunos, em torno de três, como jogadores posicionados à frente dos três relógios da máquina do tempo (tabuleiro) para trilhar os ponteiros dos relógios. Os alunos que não estivessem participando ativamente ficariam como auxiliares (“pergunte aos universitários”) dos que estavam à frente do duelo, mediante retirada de

uma carta específica, Bônus Espacial, na categoria S.O.S. Caso contrário, ficariam em silêncio, observando cada jogada e aguardando a oportunidade de apresentar seus conhecimentos.

Num primeiro momento foi feita uma rodada para treinar o mecanismo das regras do jogo para que os alunos se inteirassem das regras, como bônus e penalidades; o aluno escolhido para ser o Expert da Relatividade fez a leitura das regras impressas do jogo para que todos tomassem conhecimento. Notou-se que os alunos que começaram a jogar um pouco timidamente foram soltando-se aos poucos, e, à medida que o jogo avançava, começavam a participar mais ativamente dele e logo estavam empolgados. Percebemos a satisfação de cada um deles ao acertar uma pergunta e avançar no ponteiro da máquina do tempo, figura 13.

Figura 13 – Dinâmica do jogo com aluno empolgado



Fonte: do próprio autor

Na figura 13, outra equipe com um tabuleiro confeccionado em cartolina demonstram a dinâmica do jogo, sendo quatro alunos sentados onde um comanda o jogo (Expert da Relatividade) e os três respondem as perguntas das cartas. O tempo disponibilizado para a atividade do jogo foi de duas aulas de 45 minutos, totalizando 1h30min para a efetiva atividade. Após os primeiros 45 minutos de aula, notamos que os alunos que estavam gerenciando o jogo no papel de Expert da Relatividade queriam participar ativamente como jogadores. Eles pareciam desejar o direito de ser testados também; portanto, os alunos entraram em acordo e fizeram um revezamento da posição de Expert da Relatividade, e em todos os grupos ele foi trocado. Desta forma houve um incentivo aos jogadores que estavam de fora do jogo para que fossem desafiados.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto foi aplicado a duas turmas de primeiro ano, sendo uma turma do período vespertino e uma turma do período matutino. Foi destacada a participação ativa da maioria dos alunos, considerando a concentração e o empenho durante a aula de relatividade restrita, nas atividades de leitura e na exibição do filme, bem como o momento esperado por todos, que foi o jogo de tabuleiro. Assim, pode-se concluir que os objetivos foram atingidos com êxito e satisfação.

Percebeu-se que durante a aula expositiva os olhares estavam voltados ao conteúdo do novo, do diferente e, ainda, de um assunto pouco conhecido ou até mesmo desconhecido. Durante o transcorrer do jogo foram necessárias intervenções para que alguns alunos segurassem um pouco o entusiasmo, enquanto o restante da turma estava atento ao mecanismo de disputa do jogo.

O que mais chamou a atenção na tarefa de convencer os alunos a ler sobre o assunto foi o fato de que alguns alunos formaram grupos de WhatsApp para fazerem a leitura da HQ Guia Mangá da Relatividade, em que eles iam lendo de forma lúdica um material que é considerado muito pesado; mas aquele material se tornou mais agradável para eles, que assimilaram desta forma um conhecimento prévio para que pudessem praticar o jogo de perguntas e respostas, no intuito de certa preparação para o jogo de aventura espaço-tempo no Expert da Relatividade. Ainda que tivesse planejado confeccionar cinco kits de jogos de tabuleiro, foi possível fazer apenas três kits; apesar desse imprevisto, os alunos ficaram empolgados, e como a atividade foi executada em sala de aula, um ambiente fechado, ficou um pouco barulhenta em virtude de os alunos jogarem ao mesmo tempo nas três mesas que tinham o kit do jogo.

Observou-se que a elaboração e aplicação de um jogo de tabuleiro revelou-se bastante satisfatória, possibilitando o desenvolvimento de um jogo atrativo, divertido e educativo. Foram identificados aspectos como a euforia dos alunos, por exemplo, que não contribuíam para o fluxo do jogo, permitindo melhorias que podem ser aos poucos ajustadas para torna-lo mais divertido e instigante.

Foi possível testar, nesse processo a aprendizagem dos alunos, e tais testes demonstraram que o jogo foi bem acatado por eles e que houve, de fato, um acréscimo de conhecimentos na turma que o utilizou, mais significativo que na turma cujas aulas foram apenas expositivas e dialogadas.

Ficou demonstrado também que existe uma relação entre diversão e aprendizado, pois os alunos que mais aprenderam também se divertiram durante o jogo, ao

passo que a maior parte dos alunos que declararam que não se divertiram tiveram um desempenho inferior nos testes que mensuravam o aprendizado. A interação entre os alunos é um aspecto importante para a diversão. Essa capacidade de aprender as regras e saber como utilizá-las (operar com as regras) revelou-se fundamental para o fluxo do jogo, um ponto importante para o divertimento e também para o aprendizado.

Por outro lado, faz-se necessário repassar os conteúdos de uma forma menos tensa e mais prazerosa, fazendo com que o jogo seja um instrumento de teste do aprendizado dos alunos. O jogo de tabuleiro aqui apresentado como produto educacional, resultante de uma proposta metodológica de mestrado sobre a Teoria Restrita da Relatividade de Einstein, passou por várias versões até chegar ao modelo final destacado. As aplicações do jogo enfatizam a importância da utilização de atividades lúdicas no processo de ensino-aprendizagem, incentivando os estudantes para o trabalho em equipe e oferecendo a construção de novos conhecimentos relacionados às questões de Física, de forma colaborativa e participativa.

Por fim, o jogo de tabuleiro apresentado como produto educacional é uma proposta de material didático a ser utilizado para promover discussões e reflexões sobre a inserção de conteúdos de Física moderna nas turmas de primeiro ano do ensino médio. Mas também pode ser utilizado como método para impelir discussões sobre outras questões de Física, bem como para o ensino de Ciências. Considera-se importante o desenvolvimento de outros materiais educativos para a abordagem de Física na escola e de forma geral no cotidiano.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. A aprendizagem significativa. **São Paulo: Moraes**, 1982.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. [S.l.]: Interamericana, 1980.
- FREIRE, P. pedagogias de. 2001.
- HUIZINGA, J. **Homo ludens: o jogo como elemento da cultura**. Trad. **João Paulo Monteiro**. [S.l.]: São Paulo: Perspectiva, 1990.
- KISHIMOTO, T. M. **Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação**. [S.l.]: Cortez editora, 2017.
- MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. 1997. 2005.
- _____. **Aprendizagem significativa subversiva**: n: Série-estudos:periódico do mestrado em educação da ucdb. Campo Grande, 2006.
- MOREIRA, M. A.; SOUSA, C. M. de; SILVEIRA, F. L. da. Organizadores prévios como estratégia para facilitar a aprendizagem significativa. **Cadernos de pesquisa**, n. 40, p. 41–53, 1982.
- NARCISO, L. D. L. 432 horas de relatividade: uma investigação acerca da utilização de mangá no ensino de física. **Revista da Graduação**, v. 7, n. 2, 2014.
- NITTA, H.; YAMAMOTO, M. **Guia mangá relatividade**. Tradução de **Edgard B. Damiani**. **Ilustrações de Keita Takatsu**. **São Paulo**. [S.l.]: Novatec, 2011.
- 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, 2016.
- RAU, M. A ludicidade na educação: uma atitude pedagógica. **Curitiba: ibpex**, v. 20, 2011.
- SEBER, M. d. G. Piaget: O diálogo com a criança e o desenvolvimento do raciocínio. **São Paulo: Scipione**, 1997.
- TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **terceira edição-traduzido para o português pela editora LTC**. [S.l.]: LTC, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A - PLANO DE AULA

Teoria da Relatividade Restrita

Albert Einstein

Plano de Aula

Tema: Teoria da Relatividade, uma abordagem introdutória.

Duração: 02(duas) aulas de 45 minutos.

Objetivo:

Geral

- ✓ Apresentar aos alunos os fatos e conceitos históricos relacionados a Teoria da Relatividade Restrita, no tocante às descobertas que mudaram os alicerces da física clássica e colocaram a Física Moderna e Contemporânea em um outro nível.
- ✓ Conhecer os dois postulados de Einstein para a Relatividade Restrita
- ✓ Aplicar os postulados de Einstein para discutir eventos simultâneos e a medida do intervalo de tempo por dois observadores em referenciais inerciais em movimento relativo.

Metodologia

Para que os alunos se envolvam com o conteúdo da aula, começa-se relembrando o conteúdo da aula anterior que trata da física clássica parte de Mecânica, referencial inercial relatividade de Galileu e Newton, bem como experimento de Michelson-Morley. Em seguida apresenta-se o objetivo principal da aula que é aplicar os postulados de Einstein para discutir eventos simultâneos e a medida do intervalo de tempo por dois observadores em referenciais inerciais em movimento relativo. E por fim apresenta-se os dois postulados e suas consequência imediata com apresentação de eventos simultâneos e da dilatação do tempo.

Materiais utilizados

- ✓ Computador
- ✓ Data show
- ✓ Pincel
- ✓ Quadro branco

Obs: A ministração desta aula juntamente com a leitura do HQ bem como a exibição do filme interestelar, contribuirá como valorosa preparação do aluno no processo de ensino aprendido.

APÊNDICE B - MODELO DE TABULEIRO DO JOGO “EXPERT DA RELATIVIDADE”



APÊNDICE C - MODELO DAS CARTAS DE PERGUNTAS

FÍSICA ESPACIAL	<p>DE ACORDO COM EINSTEIN A INSENSIBILIDADE AO MOVIMENTO SE ESTENDE PARA OUTROS RAMOS DA FÍSICA. NENHUM EXPERIMENTO, SEJA ELE MECÂNICO, ELETROMAGNÉTICO OU ÓPTICO, JAMÁS PODE REVELAR O MOVIMENTO ABSOLUTO E O REPOUSO ABSOLUTO. É ISSO QUE SIGNIFICA O ??? POSTULADO DA RELATIVIDADE ESPECIAL.</p> <p>a) Segundo postulado b) Terceiro postulado c) Primeira postulado ★</p>
FÍSICA ESPACIAL	<p>ELA POSSUI VALOR E EM QUALQUER REFERENCIAL INERCIAL, INDEPENDENTEMENTE DA VELOCIDADE DE SUA FONTE..</p> <p>★ a) A velocidade da luz b) Velocidade do Eter c) Velocidade atômica</p>
FÍSICA ESPACIAL	<p>DETERMINADOS ASPECTOS DA RELATIVIDADE NÃO SÃO NOVOS. A NOÇÃO DE QUE OS FENÔMENOS FÍSICOS SÃO RELATIVOS AOS SISTEMAS DE REFERENCIA FUI PROPOSTA POR DOIS FÍSICOS DO SÉCULO XVII NESTA ÉPOCA. SEUS NOMES ERAM:</p> <p>★ a) Galileu e Newton b) Copérnico e Newton c) Kepler e Copérnico</p>
FÍSICA ESPACIAL	<p>A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA FOI CONSTRUÍDA POR EINSTEIN A PARTIR DE ALGUNS IMPORTANTES POSTULADOS: "AS LEIS DA FÍSICA SÃO AS MESMAS EM QUALQUER REFERENCIAL INERCIAL." É CONSIDERADO Q:</p> <p>★ a) Segundo postulado b) Terceiro postulado c) Primeiro postulado</p>



<p>FÍSICA ESPACIAL</p>	<p>QUEM DIZIA NA MECÂNICA CLÁSSICA QUE O TEMPO É IMUTÁVEL E OS FENÔMENOS FÍSICOS SÃO IGUAIS PARA QUALQUER OBSERVADORES.</p> <ul style="list-style-type: none"> ★ a) Newton. b) Galileu c) Aristóteles
<p>FÍSICA ESPACIAL</p>	<p>SEU PRINCIPAL OBJETIVO É MOSTRAR ATRAVÉS DE UM EXPERIMENTO MENTAL AS CONTRADIÇÕES LÓGICAS DA TEORIA DA REATIVIDADE ESPECIAL.</p> <ul style="list-style-type: none"> ★ a) Paradoxo dos Gêmeos b) Paradoxo do Espaço c) Teoria da Eletricidade
<p>FÍSICA ESPACIAL</p>	<p>EM 2005, ANO MUNDIAL DA FÍSICA, COMEMORA-SE O CENTENÁRIO DA TEORIA DA REATIVIDADE DE ALBERT EINSTEIN. ENTRE OUTRAS CONSEQUÊNCIAS ESTA TEORIA PODRIA FIM À IDÉIA DO ÉTER LUMINÍFERO, MEIO MATERIAL NECESSÁRIO, SEMELHANTEMENTE AO SOM, ATRAVÉS DO QUAL A LUZ SE PROPAGAVA. ESSA AFIRMATIVA É:</p> <p>VERDADEIRA FALSA</p> <p>★</p>
<p>FÍSICA ESPACIAL</p>	<p>ASSIM AS EQUAÇÕES DE MAXWELL SÃO CORRETAS E NESSE CASO A MECÂNICA NEWTONIANA E AS TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU NÃO PODEM ESTAR CORRETAS. POIS DESTE EXPERIMENTO CONCLUÍMOS QUE A VELOCIDADE DA LUZ É CONSTANTE E QUE A HIPÓTESE DE UM ÉTER ESTACIONÁRIO ESTAVA INCORRETA. ESSE EXPERIMENTO FICOU CONHECIDO COMO:</p> <ul style="list-style-type: none"> ★ a) Experimento de Michelson-Morley b) Experimento de Einstein-Morley c) Experimento de Morley-Galileu



NÃO EXISTE SISTEMA DE REFERÊNCIA ABSOLUTO PELO QUAL TODOS OS OUTROS MOVIMENTOS POSSAM SER MEDIDOS. À ÉPOCA DO SÉCULO XVII, EXPERIÊNCIAS FEITAS SOB CONVES DE UM NAVIO COM AS ESCOTILHAS FECHADAS, MOSTRARAM QUE ELAS ERAM INCAPAZES DE SEREM DISTINGUIDAS SE O NAVIO ESTIVESSE ANCORADO OU EM (MOV). ASSIM, EM UM REFERENCIAL INERCIAL É IMPOSSÍVEL DETERMINAR SE UM CORPO ESTÁ EM REPOUSO OU EM MOVIMENTO E ESTE CORPO CONTINUA EM MOVIMENTO UNIFORME A MENOS QUE SOFRA AÇÃO DE ALGUMA FORÇA. ESSE PRINCÍPIO É:

- ★ a) Princípio de Relatividade da Mecânica de Galileu.
- b) Princípio de Relatividade Geral
- c) Princípio da Relatividade Especial



ELA ESTAVA BEM ESTABELECIDAS NAS SUAS TRÊS LEIS E, JUNTAMENTE COM A ELETRODINÂMICA E A TERMODINÂMICA, A FÍSICA PARECIA COMPLETA, ENTRETANTO, EXISTIAM PROBLEMAS QUE TAL MECÂNICA NÃO CONSEGUIA EXPLICAR. ESSA

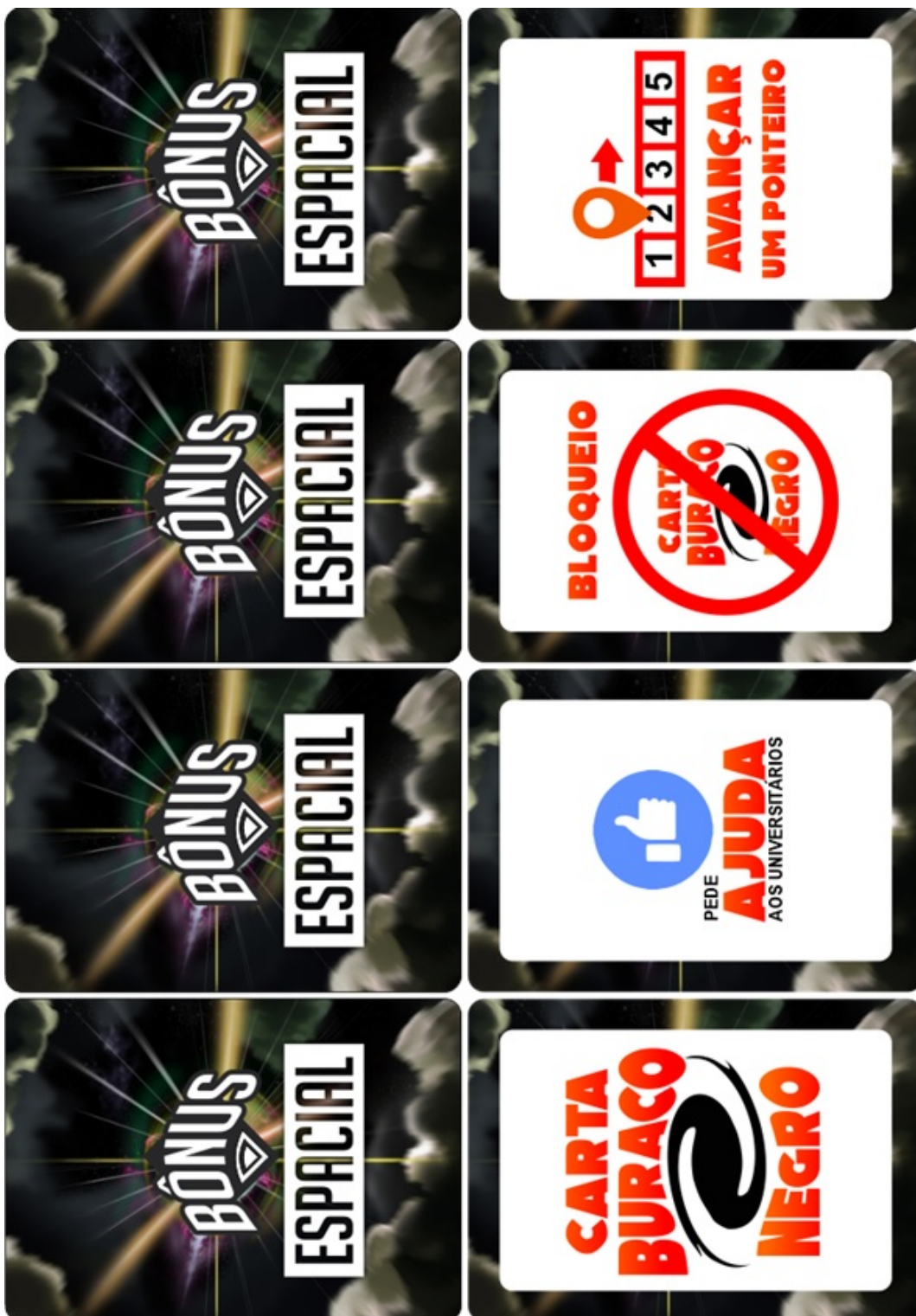
- ★ a) A mecânica de Isaac Newton
- b) A mecânica de Einstein
- c) A mecânica de Michelson Galileu



UMA PEQUENA MASSA ATINGE UMA VELOCIDADE DE 50% DO VALOR DA VELOCIDADE DA LUZ NO VÁCUO. EM RELAÇÃO A ESSA SITUAÇÃO, ASSINALE A ALTERNATIVA QUE CONTEM UMA AFIRMAÇÃO CORRETA:

- (a) Sua massa a essa velocidade é igual à sua massa de repouso.
- ★ (b) Sua massa a essa velocidade é maior que a sua massa de repouso.
- (c) Sua massa diminui em relação à sua massa de repouso

APÊNDICE D - MODELO DAS CARTAS BÔNUS ESPECIAL, CARTAS BURACO NEGRO





APÊNDICE E - MODELO DAS CARTAS BURACO NEGRO



APÊNDICE F - MODELO DOS BONEQUINHOS (AVATARES)



APÊNDICE G - INSTRUÇÕES DO JOGO DE TABULEIRO “EXPERT DA RELATIVIDADE”

Instruções para Jogo de Aventura Espaço Tempo.

- 1) OS PARTICIPANTES DEVEM TER CONHECIMENTO BÁSICO SOBRE A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA.
- 2) O JOGO DE AVENTURA ESPAÇO TEMPO PODE TER TRÊS OU QUATRO PARTICIPANTES, SENDO UM DELES O EXPERT DA RELATIVIDADE.
- 3) O EXPERT DA RELATIVIDADE FICARÁ ENCARREGADO DE LER AS INSTRUÇÕES E COORDENAR O ANDAMENTO DO JOGO. ELE QUEM FARÁ AS PERGUNTAS AOS AVENTUREIROS ESPACIAIS, TIRANDO UMA CARTA DO MONTE DE MANEIRA ALEATÓRIA, LENDO A PERGUNTA E SUAS ALTERNATIVAS, SEM INFLUENCIAR NA RESPOSTA.
- 4) OS AVENTUREIROS ESPACIAIS PODEM CONTAR AINDA COM O APOIO DE UM COLEGA (PERGUNTA AOS UNIVERSITÁRIOS) QUE EM MOMENTO OPORTUNO PODERÁ LHE SOCORRER NAS RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS. (SOMENTE QUANDO O AVENTUREIRO ESPACIAL ATIVAR UMA CARTA BÔNUS ESPACIAL DE AJUDA).
- 5) O AVENTUREIRO ESPACIAL QUE ESTIVER À DIREITA DO EXPERT DA RELATIVIDADE DEVERÁ COMEÇAR O JOGO, E ASSIM, SUCESSIVAMENTE EM SENTIDO ANTI-HORÁRIO.
- 6) CADA AVENTUREIRO ESPACIAL DEVERÁ POSICIONAR SEU AVATAR INICIALMENTE NO PONTEIRO DE NÚMERO 10, DESLOCANDO UM PONTEIRO A CADA ACERTO, EM DIREÇÃO AO NÚCLEO DO BURACO NEGRO.
- 7) AO CHEGAR NOS PONTEIROS DE NÚMERO 7, 5, E 3, CADA AVENTUREIRO ESPACIAL TERÁ DIREITO A UMA CARTA BÔNUS ESPACIAL.
- 8) O AVENTUREIRO ESPACIAL QUE RECEBER UMA CARTA DE PEDIDO DE SOCORRO PODERÁ USÁ-LA EM QUALQUER MOMENTO DURANTE O JOGO DE AVENTURA ESPAÇO TEMPO.
- 9) O AVENTUREIRO ESPACIAL QUE OBTIVER AJUDA INDEVIDA, NÃO AUTORIZADA, PERDERÁ A RODADA EM QUESTÃO E SUA RESPOSTA SERÁ ANULADA, PASSANDO A VEZ PARA O PRÓXIMO JOGADOR.
- 10) AO CHEGAR NO PONTEIRO DE NÚMERO 5, SE O AVENTUREIRO ESPACIAL ERRAR A RESPOSTA À PERGUNTA, RECEBERÁ UMA CARTA BURACO NEGRO (EXTRA) E SE, RESPONDER CORRETAMENTE PODERÁ DIRECIONÁ-LA A UM DOS OUTROS DOIS AVENTUREIRO ESPACIAIS.
- 11) O JOGO TERMINA QUANDO UM DOS JOGADORES CHEGAR AO NÚCLEO DO BURACO NEGRO (SINGULARIDADE), PASSANDO PARA OUTRA DIMENSÃO ESPAÇO-TEMPO.



Carta Buraco Negro

- 1) **Passou a vez**
QUANDO ESTA CARTA É ATIVADA O AVENTUREIRO ESPACIAL PASSA A VEZ NA PRÓXIMA RODADA.
- 2) **Carta bônus aprisionada**
QUANDO ESTA CARTA É ATIVADA O AVENTUREIRO ESPACIAL TERÁ SUAS CARTAS BÔNUS ESPACIAL APRISIONADAS POR UMA RODADA.
- 3) **Volte um ponteiro**
QUANDO ESTA CARTA É ATIVADA O AVENTUREIRO ESPACIAL DEVERÁ RETROCEDER EM UM PONTEIRO, SEM DIREITO A NENHUMA VANTAGEM DO PONTEIRO SE HOUVER.

Carta Bônus Espacial

DDS: AS CARTAS BÔNUS ESPACIAIS NÃO DEVERÃO SER REVELADAS ATÉ O MOMENTO EM QUE FOREM UTILIZADAS.

- 1) CARTA PULAR O PONTEIRO - AO RECEBER ESTA CARTA O AVENTUREIRO ESPACIAL PODERÁ, IMEDIATAMENTE, DESLOCAR-SE MAIS UM PONTEIRO EM DIREÇÃO AO NÚCLEO DO BURACO NEGRO.
- 2) EU RESPONDO - O AVENTUREIRO ESPACIAL QUE POSSUIR ESTA CARTA PODERÁ ATIVÁ-LA EM QUALQUER MOMENTO DO JOGO AO FINAL DA PERGUNTA, ANTES QUE O OUTRO AVENTUREIRO ESPACIAL RESPONDA, TENDO O DIREITO DE TOMAR A SUA VEZ.
- 3) CARTA DE SOCORRO - O AVENTUREIRO ESPACIAL PODERÁ ATIVAR ESTA CARTA APÓS A PERGUNTA, CONTANDO ASSIM COM A AJUDA DO COLEGA QUE ESTÁ À SUA RETAGUARDA.
- 4) BLOQUEIO DE CARTA BÔNUS ESPACIAL - O AVENTUREIRO ESPACIAL QUE A POSSUIR, ANTES QUE O EXPERT DA RELATIVIDADE LEIA A PERGUNTA, DEVERÁ ATIVÁ-LA, ANUNCIANDO A TODOS QUE DURANTE AQUELA RODADA NENHUMA OUTRA CARTA BÔNUS ESPACIAL PODERÁ SER UTILIZADA POR NENHUM DOS AVENTUREIRO ESPACIAL.
- 5) CARTAS BURACO NEGRO - AO RESPONDER CORRETAMENTE A PERGUNTA REFERENTE AO PONTEIRO DE NÚMERO 5, O AVENTUREIRO ESPACIAL PODERÁ REDIRECIONAR ESTA CARTA A UM DOS OUTROS DOIS AVENTUREIRO ESPACIAL. CASO A CARTA BLOQUEIO DE CARTAS BÔNUS ESPACIAL ESTEJA ACIONADA ESTA CARTA NÃO TERÁ EFEITO.
- 6) NEUTRALIZAR - O AVENTUREIRO ESPACIAL QUE A POSSUIR ESTA CARTA PODERÁ NEUTRALIZAR UM ATAQUE DE CARTA BURACO NEGRO ACIONANDO-A AO SER AMEAÇADO.



APÊNDICE H - CAIXA PARA GUARDAR O JOGO DE TABULEIRO



APÊNDICE I - QUESTIONÁRIO DO MNPEF N° 001/2019

Qual o nome do seu ultimo livro que você leu?

Você costuma assistir programa de tv com conteúdo científico? Qual?

Quais das disciplinas das Ciências da Natureza (Química, Biologia e Física), você mais gosta? Por quê?

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

Você já ouviu alguém usar termo "o tempo é relativo". O que você entendeu dessa frase?

Você acha que é possível viajar no tempo?

Será que existe algum limite para a velocidade que um objeto pode alcançar? Se existe qual é ?

Você gosta de ler? Que tipo de material você lê? (livros na internet, História em Quadrinhos, romances, etc.)
