



URCA
Universidade Regional do Cariri



FRANCISCO HERMESSON G. ARAUJO DO NASCIMENTO

ENSINO DE RELATIVIDADE SOB UMA PERSPECTIVA DE UM *BOARDGAME*

JUAZEIRO DO NORTE

2024

FRANCISCO HERMESSON G. ARAUJO DO NASCIMENTO

ENSINO DE RELATIVIDADE SOB UMA PERSPECTIVA DE UM *BOARDGAME*

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação 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.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Carneiro Jardim.

Coorientador: Prof. Dr. Claudio Rejane da Silva Dantas.

JUAZEIRO DO NORTE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Biblioteca Central da Universidade Regional do Cariri - URCA

- N244e Nascimento, Francisco Hermesson G. Araujo .
Ensino de Relatividade sob uma Perspectiva de um *Boardgame* / Francisco Hermesson G. Araujo do Nascimento. - 2024.
105 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Regional do Cariri, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Física, Juazeiro do Norte, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Ivan Carneiro Jardim.
Coorientação: Prof. Dr. Claudio Rejane da Silva Dantas.
1. Educação Básica. 2. Ensino de Física. 3. Ensino de Relatividade. 4. Jogos didáticos. I. Título.

CDD 510

FRANCISCO HERMESSON G. ARAUJO DO NASCIMENTO

ENSINO DE RELATIVIDADE SOB UMA PERSPECTIVA DE UM *BOARDGAME*

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação 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.

Aprovada em 21/06/2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MAKARIUS OLIVEIRA TAHIM**
Data: 28/06/2024 12:58:39-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Makarius Oliveira Tahim
(Membro Externo - IIECF/FFCI FSC)

Documento assinado digitalmente
 **JAMIL SAADE**
Data: 01/07/2024 17:50:08-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Jamil Saade
(Membro Interno - URCA)

Documento assinado digitalmente
 **IVAN CARNEIRO JARDIM**
Data: 27/06/2024 19:29:31-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Ivan Carneiro Jardim
(Orientador - URCA)

”A imaginação é mais importante que o conhecimento, pois o conhecimento é limitado, enquanto a imaginação abrange o mundo inteiro”.

(Albert Einstein)

DEDICATÓRIA

Dedico este texto com todo o amor e gratidão a pessoas especiais que fazem parte da minha vida:

À minha querida avó, Maria Auxiliadora Gonçalves Silva, sendo a fonte da minha educação e cuidado ao longo de toda a minha vida.

Ao meu amado filho, Albert Marques Gonçalves, um verdadeiro "SER" de luz, que ilumina e preenche nossas vidas com amor e carinho a cada dia.

A Paula Patrícia, minha esposa amada, por todo apoio durante essa jornada.

Aos meus pais, Pauliane Gonçalves e José Maria, pelo dom da vida que me concederam.

Aos meus irmãos, Gabriel, Gustavo, Ingrid e Inácio, por estarem sempre ao meu lado nos momentos em que mais precisei.

Aos meus amigos mais próximos, Robério Lima, Isaac de Moraes, Leonam Pereira, João Paulo, Ivan(Brother), Apiano, Rafael e Renan, Hércules, Ney, Deigivan, por serem parte essencial da minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer de forma mais elaborada os seguintes grupos e pessoas que foram fundamentais ao longo da minha jornada de formação:

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ivan Carneiro Jardim, por todo o apoio e orientação durante este percurso acadêmico.

Aos professores do departamento de física do Curso de Pós-Graduação em Ensino de Física (URCA), em especial aos professores Ivan, Wilson, Job, Noelia, Claudio, Augusto, Eduardo e Bruno, bem como ao professor-coordenador Cláudio, pela atenção e preocupação demonstradas, e pelos valiosos conhecimentos transmitidos.

Ao Prof. Dr. Apiano F. Moraes, pela sua significativa contribuição no produto educacional, realizado no laboratório de física computacional aplicada-LFCA-URCA.

Ao Prof. Me. Jônio Vieira, pela sua importante contribuição na minha formação no ensino médio e incentivo na vida acadêmica, meu primeiro mentor.

Aos meus colegas de mestrado, em especial Everaldo, Edson, Najála, Rosenberg, Marciano e Dona Alice, por acreditarem no meu processo e por compartilharem essa jornada comigo.

À EEMTI Estadual Wilson Gonçalves, localizada em Crato-CE, e a todos que fazem parte dessa bela instituição de ensino, por me acolherem tão bem e por fornecerem os subsídios necessários para o meu crescimento profissional.

A todos os alunos e professores que participaram da pesquisa de forma espontânea, visando o aprendizado e o aperfeiçoamento contínuo.

A todos os meus amigos, que de forma direta ou indireta, participaram e me ajudaram nessa longa jornada.

A Sociedade Brasileira de Física-SBF, ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física-MNPEF e à Universidade Regional do Cariri-URCA, pela oportunidade e suporte oferecidos durante este percurso.

Aos funcionários e bolsistas da Biblioteca do Campus Crajubar, Universidade Regional do Cariri-URCA, pelo apoio e recursos disponibilizados ao longo desse período.

RESUMO

Segundo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) aponta que o ensino de Física de maneira contextualizada, com uso de diversas estratégias metodológicas e a partir de explicações de fenômenos presentes no cotidiano dos estudantes pode melhorar significativamente o ensino de física. Sabemos que na grande maioria das vezes os conceitos físicos são ensinados mediante aulas expositivas com resolução de questões limitadas a aplicações matemáticas. Tais intervenções podem fazer com que as aulas de Física apresentem um caráter excessivamente descritivo. Fazendo assim com que essas aulas caiam na rotina e o estereótipo de que essa ciência é uma disciplina desagradável e limitada. Na intenção de propor uma alternativa que auxilie a prática docente de Física na Educação Básica, O objetivo deste trabalho é ampliar forma de ensinar utilizando uma Sequência de Ensino didática composta por um jogo de tabuleiro de mesa, com foco em ensinar conceitos da Teoria da Relatividade, esta sequência de ensino está pautada na Unidade Ensino Potencialmente Significativa-UEPS, desenvolvida por Moreira 2010, com base na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, O objetivo dessa prática docente e potencializar o ensino de física nas escolas de ensino básico. É crucial explorar não apenas formulações matemáticas da física, mas também suas aplicações e entendimento dos fenômenos, assim o estudante desenvolverá uma cultura científica mais abrangente. Nesse contexto, foi desenvolvido um jogo de tabuleiro, denominado Gravitation, com o intuito de ensinar física, especificamente a Teoria da Relatividade de Einstein, de maneira lúdica e interativa, O jogo propõe a exploração de conceitos como dilatação temporal, curvatura do espaço-tempo como à gravidade, buracos negros, entre outros, de forma didática e divertida. Portanto, este trabalho destaca a importância de outras metodologias para ensinar física. Tal sequência de ensino e recurso didático foram construídos no intuito de despertar o interesse dos alunos pelo conteúdo e disciplina, além de facilitar a compreensão da Teoria da Relatividade. Essa experiência foi realizada com vinte alunos do terceiro ano do Ensino Médio de um colégio pública estadual do município de Crato-CE, Wilson Gonçalves. Entende-se que a estratégia escolhida introduz uma potencialidade significativa no processo de ensino e aprendizagem de Física, pois chama bastante atenção dos alunos com a ideia de um jogo como ferramenta didática e os instiga a participarem ativamente das aulas desta disciplina. O processo de intervenção pedagógica seguiu uma sequência didática, levando em conta a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, A teoria escolhida para fundamentar essa pesquisa foi ideias de lapidação dos novos conhecimentos a partir do que o aprendiz já sabe. Caracterizada como um estudo do tipo potencializador do ensino, essa aplicação se deu assentada na abordagem qualitativa. Foi usado o resumo individual dos estudantes sobre o conteúdo apresentado e dois questionários de sondagem, os resultados obtidos são qualitativos de forma que os estudantes aprenderam novos conhecimentos a partir do que eles já sabiam, assim garantindo uma aprendizagem significativa. Assim, a estratégia aqui utilizada é uma opção para fugir das metodologias tradicionais e abordar a Física de maneira lúdico-didática, contribuindo, desta forma, a reverter estereótipo da física de disciplina complexa e cansativa.

Palavras-chave: Educação Básica. Ensino de Física. Ensino de Relatividade. Jogos didáticos.

ABSTRACT

According to the National Common Curricular Base (BNCC), it points out that teaching physics in a contextualized manner, using different methodological strategies and based on explanations of phenomena present in students' daily lives can significantly improve physics teaching. We know that in the vast majority of cases, physical concepts are taught through expository classes with the resolution of questions limited to mathematical applications. Such interventions can make Physics classes appear excessively descriptive. Thus causing these classes to fall into routine and the stereotype that this science is an unpleasant and limited discipline. With the intention of proposing an alternative that helps the teaching practice of Physics in Basic Education, the objective of this work is to expand the way of teaching using a didactic Teaching Sequence composed of a table boardgame, with a focus on teaching concepts of the Theory of Relativity, this teaching sequence is based on the Potentially Meaningful Teaching Unit-UEPS, developed by Moreira 2010, based on Ausubel's Meaningful Learning theory. The objective of this teaching practice is to enhance the teaching of physics in primary schools. It is crucial to explore not only mathematical formulations of physics, but also their applications and understanding of phenomena, so the student will develop a more comprehensive scientific culture. In this context, a board game called Gravitation was developed with the aim of teaching physics, specifically Einstein's Theory of Relativity, in a playful and interactive way. The game proposes the exploration of concepts such as temporal dilation, curvature of space-time such as gravity, black holes, among others, in a didactic and fun way. Therefore, this work highlights the importance of other methodologies for teaching physics. This teaching sequence and teaching resource were created with the aim of awakening students' interest in the content and subject, in addition to facilitating the understanding of the Theory of Relativity. This experience was carried out with twenty third-year high school students from a state public school in the city of Crato-CE, Wilson Gonçalves. It is understood that the chosen strategy introduces significant potential into the Physics teaching and learning process, as it attracts a lot of students' attention with the idea of a game as a teaching tool and encourages them to actively participate in classes in this discipline. The pedagogical intervention process followed a didactic sequence, taking into account Ausubel's Theory of Meaningful Learning. The theory chosen to support this research was ideas for polishing new knowledge based on what the learner already knows. Characterized as a teaching-enhancing study, this application was based on a qualitative approach. Students' individual summary of the content presented and two survey questionnaires were used. The results obtained are qualitative so that students learned new knowledge based on what they already knew, thus ensuring meaningful learning. Thus, the strategy used here is an option to escape traditional methodologies and approach physics in a playful-didactic way, thus contributing to reversing the stereotype of Physics as a complex and tiring discipline.

Keywords: High School. Physics Teaching. Teaching Relativity. Didactic Games.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	EXPLORANDO A FÍSICA DE FORMA DIVERTIDA: JOGOS DE TABULEIRO COMO FERRAMENTA DIDÁTICA.	15
2.1	Aprendizagem baseada em jogos	15
2.2	Aprendizagem baseada em jogos (<i>game-based learning</i>) para o ensino de física	17
2.3	As possibilidades oferecida pela aprendizagem baseada em Jogos	19
2.4	Aprendizagem baseada em jogos no ensino de física: Introdução a Relatividade	21
2.5	Aprendizagem baseada em jogos podendo ajudar a superar barreiras emocionais	22
3	EXPLORANDO OS FUNDAMENTOS DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA NO ENSINO DA RELATIVIDADE ATRAVÉS DE UM <i>BOARDGAME</i> . . .	24
3.1	Aprendizagem significativa	24
3.2	Estratégias para promover a aprendizagem significativa	25
3.3	A contextualização da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica	26
3.4	As etapas da aprendizagem significativa crítica	27
3.5	A importância da Aprendizagem Significativa Crítica	29
3.6	Aplicação da aprendizagem significativa crítica na disciplina de Física . .	30
3.7	A Relatividade no Ensino Médio	31
3.7.1	Estratégia para abordar Relatividade no Ensino Médio	32
3.7.2	Como Apresentar a Relatividade Geral ainda no Ensino Médio	32
4	PRINCÍPIOS DA TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL E CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA RELATIVIDADE GERAL	34
4.1	O princípio da Relatividade na Eletrodinâmica	34
4.2	O Experimento de Michelson e Morley	37
4.3	Transformações de Lorentz e A Relatividade Especial (RE)	40
	As Transformações de Lorentz	40
	A Relatividade Especial (RE)	41
	Medidas Próprias	43
	A dilatação temporal	43

A contração espacial	45
4.4 Noções de Relatividade Geral (RG)	46
4.4.1 O princípio de Equivalência	46
O Desvio para o Vermelho (Redshift)	50
O paradoxo dos Gêmeos	52
A Curvatura do Espaço-Tempo	53
4.5 A Solução de Schwarzschild	55
Buracos negros	57
O impacto da Relatividade na Física	58
5 PRODUTO EDUCACIONAL E APLICAÇÃO	60
5.1 Natureza da Pesquisa	60
5.2 Descrição do Produto Educacional	61
Objetivo do Produto	61
Descrição do jogo	61
5.3 Aplicação do Produto	65
5.4 Processo de Intervenção na Escola	66
Sequência de Ensino Potencialmente Significativa-UEPS, Proposta: Ensino de Re-	
latividade	67
Cronograma da Sequência de Ensino de Física	69
Diário de Atividades:	70
Aplicação do Jogo	72
5.5 Indícios de aprendizagem significativa	74
Atividade em sala, veja abaixo relatos dos estudantes: Resumo Individual das ativi-	
dades desenvolvidas durante a sequência de ensino:	75
Atividade em sala, veja abaixo relatos dos estudantes: questionário 01, das ativida-	
des desenvolvidas durante a sequência de ensino:	77
Atividade em sala, veja abaixo relatos dos estudantes: questionário 02 das ativida-	
des desenvolvidas durante a sequência de ensino:	80
6 CONCLUSÃO	83
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS	85
A.1 Questionário diagnóstico 01:	85
A.2 Questionário diagnóstico 02:	86
APÊNDICE B – PRODUTO EDUCACIONAL	87
B.1 Apresentação	87
B.2 Objetivo do Produto	89
B.3 Descrição do jogo e construção	89

B.4	Instruções e Regras do Jogo	92
B.5	O tabuleiro	94
B.6	Planetas, estrela, Buraco negro e recursos feitos na impressora 3D	95
B.7	Arte em 3D, Softwares utilizados	95
B.8	Construção: projeto da Impressora 3D	96
B.9	Modelo de Sequência de Ensino: Unidade de Ensino Potencialmente Significativa- UEPS	97
B.10	Versão do jogo em papel A4, disponível para os estudantes.	99
B.11	Versão do Gravitation em Papel	99
	REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

Visando investigar a exploração de jogos didáticos na intervenção pedagógica no ensino de Física, elaboramos um jogo de tabuleiro para auxiliar a atividade docente em sala de aula e, assim, melhorar o ensino de física moderna. Sabemos que a física ainda é vista como uma matéria complexa e problemática pelos estudantes. Nosso trabalho busca explorar não apenas a formação mínima do estudante, mas também a construção de uma cultura científica. Um exemplo da aplicação da física moderna em nosso cotidiano é a teoria da relatividade, que está presente em tecnologias como o sistema de posicionamento global (GPS). O GPS utiliza a teoria da Relatividade para garantir a correção gravitacional de rotas durante as viagens terrestres de aplicativos de corridas como o Uber. Nesse contexto, surge a necessidade de buscar alternativas para o ensino de Física Moderna de forma mais aplicada e interativa nas escolas de ensino básico.

Desenvolvemos um jogo de tabuleiro de mesa (*Boardgame*) que pode ser jogado em grupo de até no máximo 4 jogadores, visando explorar o espaço e coletar recursos (água, mineral e gás), utilizando conceitos da Teoria da Relatividade de Einstein nessa aventura. O jogo propõe uma forma de ensinar física por meio da utilização de uma ferramenta de interação e socialização, onde a ideia principal é explorar os assuntos como dilatação temporal, curvatura do espaço-tempo com gravidade, campo gravitacional, buracos negros, de forma didática e lúdica para os estudantes do ensino básico, facilitando o entendimento da relatividade e suas aplicações no dia a dia.

É importante ressaltar que o ensino de física moderna no ensino básico ainda enfrenta desafios, pois muitas vezes os professores não têm recursos e tempo suficiente para abordar essa física em profundidade. Nesse contexto, o jogo surge como uma alternativa para suprir essa necessidade e auxiliar os professores durante as aulas desenvolvidas na escola.

A proposta do jogo é explorar os conceitos da teoria da Relatividade de forma lúdica e "gamificada", explorando os aspectos fenomenológicos que ocorrem no cotidiano dos estudantes. Acredita-se que essa abordagem proporciona uma melhor aceitação e engajamento por parte dos alunos, tornando o aprendizado mais interessante e divertido.

Através do jogo, os estudantes podem compreender conceitos complexos de forma mais intuitiva e prática, desenvolvendo um interesse genuíno pela física moderna. Essa ferramenta inovadora tem o potencial de revolucionar o ensino de física no ensino básico, tornando-o mais eficiente e prazeroso para todos os envolvidos.

Para desenvolvermos essa aplicação em sala de aula, utilizamos uma sequência de ensino chamada de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), baseada na teoria

da aprendizagem significativa. Essa abordagem visa ensinar com base no conhecimento prévio do estudante, de forma crítica, fugindo das metodologias tradicionais, e possibilitando que o estudante seja o protagonista do seu próprio aprendizado. Mais adiante no texto, exploraremos em detalhes essa sequência de ensino.

Dentro desse contexto, a sequência foi desenvolvida para ensinar um pouco de física moderna, especificamente o conteúdo de Relatividade, abordado no ensino médio para turmas de 3º ano. Muitas vezes, esse conteúdo não é completamente explorado devido a diversos fatores, tais como a falta de tempo do professor, ausência desse conteúdo no plano anual do curso, ou a carência de recursos para explorar adequadamente o tema no ensino médio. Levando isso em consideração, optamos por utilizar uma metodologia ativa na sequência de ensino e complementar a abordagem com uma ferramenta didática, ou seja, um jogo de tabuleiro, a fim de obter um resultado mais eficaz no ensino da física.

Com relação à sequência de ensino UEPS, apresentaremos mais detalhes adiante. Ela será composta por oito encontros em sala de aula, sendo que terá cada encontro, em média, duas aulas de cinquenta minutos. A composição da sequência de ensino será a seguinte: Situação Inicial, Situação-Problema, Revisão, Ampliando o conhecimento, avaliação somativa individual, e aula expositiva dialogada integradora final. Cada um desses momentos terá um objetivo na sequência. Por exemplo, no momento de Ampliando o conhecimento, proponho apresentarmos o jogo aos estudantes e, em seguida, eles irão praticar, jogar e experimentar a utilização da ferramenta didática para aprender conceitos de relatividade, tornando o ambiente de aprendizado mais lúdico e interativo.

Como mencionado anteriormente, este trabalho apresentará um jogo de tabuleiro chamado “Gravitation”, criado especialmente para o ensino de física. O objetivo deste jogo é ensinar alguns conceitos de relatividade, tais como: dilatação temporal, curvatura do Espaço-Tempo como gravidade e conceitos de buracos negros. Este jogo foi desenvolvido como uma iniciativa para aprimorar o ensino de física no ensino médio, tornando-se uma ferramenta didática complementar ao material do professor nas aulas de física. Dessa forma, promove uma interação mais significativa com os estudantes, proporcionando um ambiente mais lúdico e divertido.

Além disso, como parte desta abordagem didática, será apresentada uma versão escolar do jogo, com peças impressas em lona e produzidas em impressora 3D. Também será disponibilizada uma versão do jogo para impressão em papel A4, com acesso ao arquivo disponível mais adiante no texto. Para complementar essa ferramenta, será oferecido um modelo de sequência de ensino de relatividade, no qual o jogo será utilizado como parte integrante da abordagem de ensino.

Esse trabalho está organizado da seguinte forma:

No capítulo 1, Introdução e Organização do texto: neste capítulo, realizaremos uma introdução ao tema abordado neste trabalho, que consiste na aplicação de uma sequência de ensino Potencialmente Significativa no ensino de Relatividade, com o suporte de um Jogo de Tabuleiro desenvolvido para ensinar conceitos de relatividade.

No capítulo 2, Aprendizagem Baseada em Jogos: Neste capítulo, introduziremos o tema “Aprendizagem baseada em jogos, evidenciando o ensino de física”. Inicialmente, serão discutidos os principais conceitos relacionados à aprendizagem por meio de jogos, um momento lúdico e interativo, incluindo seus elementos e benefícios. Em seguida, abordaremos os benefícios da aprendizagem baseada em jogos, assim como as possibilidades oferecidas pela aplicação de um jogo em sala de aula para superar desafios no ensino da ciência e potencializar o ensino da física.

No capítulo 3, Fundamentos da Aprendizagem Significativa: Neste capítulo, faremos uma apresentação dos fundamentos da teoria da aprendizagem significativa, bem como alguns aspectos da aprendizagem significativa crítica proposta por Marco Antonio Moreira. Destacaremos a aplicação desses conceitos no ensino de física, por meio de uma abordagem que permite ao aluno se relacionar com sua própria cultura, ao mesmo tempo, em que o desafia a expandir seus horizontes por meio de uma ferramenta didática inovadora: um jogo de tabuleiro. O foco será potencializar o ensino do conceito de Relatividade no ensino básico.

No capítulo 4, Teoria da Relatividade: Neste capítulo, introduziremos as ideias da relatividade especial e noções sobre a teoria da relatividade geral. Iniciaremos analisando a incompatibilidade teórica de duas teorias bem estabelecidas e verificadas experimentalmente, e a solução que Einstein encontrou em 1905, formulando a teoria da relatividade especial. Além disso, abordaremos a incompatibilidade desta teoria com a gravitação de Newton, o que levou à formulação da teoria da relatividade geral. Exploraremos os princípios e fundamentos dessa teoria, como ela conecta o movimento acelerado à gravidade e como ela altera a geometria do espaço-tempo.

No capítulo 5, Produto Educacional e Pesquisa Qualitativa: Neste capítulo, planejamos apresentar o Produto Educacional como uma ferramenta didática pedagógica para o ensino de Física, especificamente o ensino de Relatividade no nível médio, de forma lúdica e gamificada. Além disso, exploramos a natureza da pesquisa qualitativa, buscando potencializar o ensino de física nas escolas, de modo que os estudos possam desenvolver uma aprendizagem ativa e significativa ao longo do processo de ensino e aprendizagem. No capítulo 6, conclusão: este capítulo conterá as conclusões do trabalho.

2 EXPLORANDO A FÍSICA DE FORMA DIVERTIDA: JOGOS DE TABULEIRO COMO FERRAMENTA DIDÁTICA.

Este capítulo visa introduzir o tema da aprendizagem baseada em jogos, com foco no ensino de física. Inicialmente, serão abordados os principais conceitos relacionados à aprendizagem por meio de jogos, um momento lúdico e interativo que inclui elementos e benefícios significativos. Posteriormente, serão discutidos os benefícios da utilização de jogos como ferramenta de aprendizagem, bem como as oportunidades oferecidas pela implementação de jogos em sala de aula para superar desafios no ensino de ciências e potencializar a abordagem do ensino de física.

2.1 Aprendizagem baseada em jogos

A aprendizagem baseada em jogos, também conhecida como *game-based learning* (GBL), é uma abordagem educacional que utiliza jogos e elementos de jogos para facilitar o processo de aprendizagem. Essa estratégia combina a interatividade e a motivação inerentes aos jogos com objetivos educacionais, tornando o aprendizado mais envolvente, atraente e eficaz para os estudantes de todas as idades.

Segundo (CARVALHO, 2015), “Os jogos oferecem um ambiente motivador e envolvente onde os utilizadores” aprendem a jogar, jogando” graças a desafios ajustados ao nível de competência do jogador e a uma realimentação constante”. São ambientes que reforçam a capacidade de tomar decisões, de trabalhar em equipa e que promovem competências sociais, de liderança e colaboração.

A Aprendizagem Baseada em Jogos (GBL de *Game-Based Learning*) é uma metodologia pedagógica que se foca na concepção, desenvolvimento, uso e aplicação de jogos na educação e na formação. GBL integra-se na denominação geral de Jogos Sérios (*Serious Games*), ou seja, jogos, com um objectivo principal que não é o entretenimento e que têm sido utilizados, com sucesso, nas áreas da saúde, investigação, planeamento, emergência, publicidade, etc, (CARVALHO, 2015)

Os jogos, sejam digitais ou analógicos, têm sido usados como ferramentas de ensino há muito tempo. No entanto, com os avanços tecnológicos e o crescimento da indústria de jogos, a aprendizagem baseada em jogos tem se tornado mais sofisticada e acessível. Existem diferentes formas de implementar essa abordagem:

1. Jogos educacionais: São jogos especialmente projetados para ensinar conceitos específicos ou habilidades. Eles podem abranger diversas disciplinas, como matemática, ciências, história e idiomas. Os jogos educacionais geralmente apresentam desafios relacionados

ao conteúdo de aprendizagem e dão feedback imediato ao jogador.

2. Gamificação: Nessa abordagem, elementos de jogos, como recompensas, pontos, níveis e rankings, são incorporados ao ambiente de aprendizagem tradicional para aumentar o engajamento dos alunos e motivá-los a progredir nos estudos.
3. Simulações: São jogos que recriam situações ou ambientes da realidade, permitindo que os alunos experimentem e pratiquem determinadas habilidades sem os riscos associados. As simulações podem ser usadas para treinar profissionais em diversas áreas, como aviação, medicina e gerenciamento de negócios.

Benefícios da aprendizagem baseada em jogos:

1. Engajamento: Os jogos são naturalmente cativantes, ajudando a manter os alunos interessados e motivados durante o processo de aprendizagem.
2. Aprendizagem ativa: os alunos são incentivados a tomar decisões e resolver problemas no contexto do jogo, promovendo uma aprendizagem mais ativa e significativa.
3. Feedback imediato: os jogos geralmente dão feedback instantâneo ao jogador, permitindo que eles ajustem suas estratégias e compreendam seus erros rapidamente.
4. Aprendizagem personalizada: alguns jogos podem se adaptar ao nível de habilidade do aluno, proporcionando uma experiência de aprendizado personalizada.
5. Colaboração: Muitos jogos educacionais incentivam a colaboração entre os alunos, promovendo o trabalho em equipe e a comunicação eficaz.
6. Redução da ansiedade: aprendizagem baseada em jogos pode ajudar a reduzir a ansiedade associada a situações de aprendizado tradicionais, onde os alunos podem se sentir pressionados a ter um desempenho perfeito.

Embora a aprendizagem baseada em jogos ofereça muitos benefícios, também é importante equilibrar o uso de jogos com outras estratégias de ensino. Os jogos devem ser cuidadosamente selecionados e integrados ao currículo para complementar e aprimorar o processo de aprendizagem, sem substituir completamente outros métodos pedagógicos. Além disso, é essencial monitorar o progresso dos alunos e avaliar a eficácia da abordagem em relação aos objetivos educacionais estabelecidos.

2.2 Aprendizagem baseada em jogos (*game-based learning*) para o ensino de física

A aprendizagem baseada em jogos, aplicada ao ensino de Física, é uma estratégia educacional eficaz para tornar o aprendizado de conceitos físicos mais envolvente, interativo e significativo para os estudantes. A Física, muitas vezes, pode ser percebida como uma disciplina complexa e abstrata, o que pode desencorajar alguns estudantes. No entanto, ao utilizar jogos e elementos de jogos, é possível tornar os princípios e as teorias físicas mais acessíveis e compreensíveis. Segundo Mark Riyis, o uso de jogos para a aprendizagem é eficaz porque, partindo de objetivos educativos, promovem a resolução de situações problemáticas, a aplicação de conceitos em situações práticas e, podendo ser colaborativos, desenvolvem o respeito pelos outros, o trabalho em equipa e a aprendizagem colaborativa sempre num ambiente de motivação permanente. (RIYIS, 2013). Seguindo esse contexto, desenvolvemos um jogo de tabuleiro de mesa que tem como objetivo potencializar o ensino de física na escola, sendo mais preciso o jogo visa ensinar conceitos de relatividade aos estudantes do ensino básico de forma lúdica utilizando um jogo com ferramenta didática pedagógica. Como observado por (RAMOS, 2014), as diretrizes dos Parâmetros Curriculares Nacionais (1977) admitem como um dos objetivos do ensino básico “o aluno conseguir resolver problemas, utilizando o pensamento lógico, [...]”, selecionando a sequência de ações para resolver o problema [...]”. Portanto, consegue-se compreender que aprimorar os processos de ensino, adequando-os às perspectivas sociais atuais, configura-se como um pilar para o desenvolvimento pleno do que se entende por ensino essencial. Assim, segundo (KAPP, 2013, p. 7) define jogo como “um sistema nas quais os jogadores se envolvem em um desafio abstrato, definido por regras, interatividade e feedback, resultante em um resultado quantificável, muitas vezes provocando uma reação emocional”. Observamos que na definição de Kapp, o jogo não está completamente separado das regras da realidade, por imitar situações e procedimentos da realidade. Não apenas os jogadores no conceito de Kapp interagem com o sistema, mas também entre si e com o conteúdo do jogo. Sendo assim, é possível antecipar as contribuições que as diversas ramificações dessa área podem proporcionar para o processo de ensino/aprendizagem de disciplinas como a física. Vejamos alguns exemplos de como a aprendizagem baseada em jogos pode ser aplicada ao ensino de Física:

1. Simulações interativas: utilizar simulações interativas em forma de jogos para ilustrar fenômenos físicos pode auxiliar os alunos a visualizar e compreender conceitos abstratos. Por exemplo, simulações de movimento de projéteis, óptica, forças e interações podem ser implementadas para explorar como esses princípios funcionam na prática.
2. Quebra-cabeças físicos: desafiar os alunos com quebra-cabeças baseados em princípios físicos pode ser uma forma divertida e desafiadora de consolidar o conhecimento. Isso

pode envolver resolver problemas relacionados as leis do movimento, equilíbrio de forças ou cinemática, entre outros.

3. Jogos de perguntas e respostas: criar jogos de perguntas e respostas relacionados a conceitos de Física pode ser uma maneira eficaz de revisar tópicos específicos e avaliar o entendimento dos alunos. Isso pode ser feito em formato de quiz, jogos de tabuleiro ou até mesmo em plataformas digitais interativas.
4. Construção de experimentos virtuais: permitir que os alunos projetem e realizem experimentos virtuais em um jogo pode ajudá-los a entender a metodologia científica e a analisar dados para tirar conclusões.
5. Gamificação de problemas reais: desafiar os alunos com problemas reais que podem ser resolvidos usando princípios físicos, onde eles precisam aplicar o conhecimento teórico para chegar a soluções efetivas.
6. Histórias e narrativas: criar jogos que apresentem narrativas envolventes e que exijam que os alunos apliquem conceitos físicos em situações na história pode tornar o aprendizado mais atraente e significativo.

Segundo Papert, com os jogos as crianças descobrem autonomamente o conhecimento específico, tornando-se assim construtoras ativas do seu conhecimento. (PAPERT, 1994).

Os benefícios da aplicação da aprendizagem baseada em jogos no ensino de Física são inúmeros:

1. Maior motivação e engajamento dos alunos no processo de aprendizagem.
2. Redução da ansiedade em relação a uma disciplina frequentemente vista como difícil.
3. Possibilidade de experimentação sem riscos, permitindo que os alunos cometam erros e aprendam com eles.
4. Reforço do trabalho em equipe e da comunicação, especialmente em jogos que exigem colaboração entre os alunos.
5. Aumento da retenção de informações, já que os conceitos físicos são aprendidos de forma prática e contextualizada.

No entanto, é importante ressaltar que a aprendizagem baseada em jogos deve ser aplicada com propósito e alinhada aos objetivos educacionais estabelecidos. O professor deve fornecer orientação adequada durante o processo para garantir que os jogos sejam usados como

uma ferramenta educacional efetiva e não como uma distração sem sentido. Ao fazer isso, a aprendizagem baseada em jogos pode contribuir significativamente para o ensino de Física e enriquecer a experiência de aprendizado dos alunos. (PIETRUCHINSKI et al., 2011), os jogos são ferramentas capazes de auxiliar no processo educativo, ao serem planejados e trabalhados de uma forma crítica, que possibilite a aprendizagem de uma maneira significativa ao aprendiz.

A utilização de jogos no ensino de Física requer um planejamento cuidadoso, ao ser importante garantir que os jogos escolhidos estejam alinhados aos objetivos educacionais específicos do currículo e que ofereçam uma experiência de aprendizagem significativa. Além disso, é fundamental acompanhar o progresso dos alunos e dar feedback adequado para que eles possam aprender com suas experiências no jogo. Quando bem implementada, a aprendizagem baseada em jogos pode auxiliar os alunos a desenvolverem um entendimento mais profundo e intuitivo dos princípios da Física, tornando o processo de aprendizagem mais agradável e eficaz.

Ainda nesse contexto, conforme (PRENSKY, 2001), a aprendizagem baseada em jogos está segundo as necessidades e os estilos de aprendizagem da geração atual e das futuras gerações. É motivadora, divertida e versátil, capaz de ser adaptada a quase todas as disciplinas, informações ou habilidades, mas só acontece quando tanto o envolvimento quanto a aprendizagem são altos. E, devido às suas características inerentes, tais como competição, desafio, interação, feedback, entre outras, eles podem transformar a aprendizagem em uma experiência envolvente, motivadora e divertida.

2.3 As possibilidades oferecida pela aprendizagem baseada em Jogos

A aprendizagem baseada em jogos, ou *game-based learning*, oferece diversas possibilidades para enriquecer o processo de ensino e aprendizagem em diferentes contextos educacionais. Algumas das principais possibilidades e benefícios proporcionados por essa abordagem são:

1. **Engajamento e motivação:** os jogos são naturalmente atraentes e envolventes. Ao incorporá-los ao ensino, é possível capturar a atenção dos alunos e mantê-los mais focados nas atividades educacionais.
2. **Aprendizagem ativa:** os jogos exigem que os alunos tomem decisões, resolvam problemas e enfrentam desafios, promovendo uma aprendizagem mais ativa e prática. Os estudantes aprendem fazendo, e não apenas passando informações.
3. **Experiências imersivas:** jogos bem projetados podem criar ambientes virtuais imersivos que permitem aos alunos vivenciar situações e contextos da realidade de forma segura e controlada.

4. **Feedback instantâneo:** muitos jogos dão feedback imediato ao jogador, permitindo que os alunos corrijam erros e melhorem seu desempenho rapidamente.
5. **Aprendizagem personalizada:** alguns jogos podem se adaptar ao nível de habilidade e conhecimento do aluno, proporcionando uma experiência de aprendizado personalizada e adequada ao ritmo de cada estudante.
6. **Desenvolvimento de habilidades cognitivas:** os jogos frequentemente envolvem desafios que estimulam o pensamento crítico, a resolução de problemas, a criatividade e a tomada de decisões estratégicas.
7. **Colaboração e trabalho em equipe:** jogos multiplayer podem incentivar a colaboração e o trabalho em equipe, promovendo habilidades sociais e de comunicação.
8. **Redução da ansiedade:** A aprendizagem baseada em jogos pode ajudar a reduzir a ansiedade relacionada ao aprendizado, criando um ambiente mais descontraído e livre de pressão.
9. **Facilidade de acesso:** com o avanço da tecnologia, os jogos educacionais estão cada vez mais acessíveis por meio de dispositivos digitais, tornando-os práticos para serem utilizados em sala de aula ou em ambientes de ensino remoto.
10. **Aplicação interdisciplinar:** os jogos podem ser adaptados para abordar conteúdos de diversas disciplinas, permitindo a integração de diferentes áreas do conhecimento e a compreensão das conexões entre elas.
11. **Avaliação formativa:** ao acompanhar o desempenho dos alunos nos jogos, os educadores podem obter informações valiosas sobre o progresso individual de cada estudante, auxiliando no planejamento de intervenções educacionais específicas.
12. **Fomento à autonomia:** A aprendizagem baseada em jogos pode estimular a autonomia dos alunos, uma vez que muitos jogos permitem que eles assumam o controle de sua própria aprendizagem e tracem suas trajetórias de aprendizado.

É importante que os objetivos ao utilizar a aprendizagem baseada em jogos estejam alinhados com os objetivos educacionais mais amplos e com as necessidades específicas dos alunos. A escolha dos jogos e atividades deve ser criteriosa para garantir que eles atendam aos propósitos educacionais e contribuam para o desenvolvimento integral dos estudantes.

2.4 Aprendizagem baseada em jogos no ensino de física: Introdução a Relatividade

A aplicação da aprendizagem baseada em jogos, ou *game-based learning*, no ensino de Física, especialmente na introdução à Teoria da Relatividade, pode ser uma abordagem poderosa para auxiliar os alunos a compreender conceitos complexos de forma mais envolvente e significativa. A Teoria da Relatividade, desenvolvida por Albert Einstein, é uma das teorias mais revolucionárias e desafiadoras da Física moderna, e muitos estudantes têm dificuldades em compreendê-la totalmente.

Ao incorporar elementos de jogos à exploração da Teoria da Relatividade, os alunos podem ser imersos em cenários interativos que os levam a descobrir os conceitos fundamentais dessa teoria de forma mais prática e estimulante. Aqui estão algumas formas pelas quais a aprendizagem baseada em jogos pode ser aplicada na introdução à Relatividade:

1. **Simulação de Viagem no Espaço-Tempo:** Criar jogos que simulam uma viagem no espaço-tempo, permitindo que os alunos explorem conceitos como a dilatação do tempo e a contração do espaço. Os alunos podem experimentar como objetos em movimento rápido experimentam o tempo de maneira diferente do que objetos em repouso, ou como a gravidade curva o espaço.
2. **Desafios de Resolução de Problemas:** Criar jogos com desafios baseados em conceitos relativísticos, nos quais os alunos devem resolver problemas que envolvam observadores em movimento, medição de intervalos de tempo e espaço, ou efeitos relativísticos em partículas subatômicas.
3. **Exploração de Eventos Históricos:** Desenvolver jogos que permitam aos alunos explorar eventos históricos que levaram ao desenvolvimento da Teoria da Relatividade, como as experiências de Michelson-Morley ou a observação de um eclipse solar que comprovou a deflexão da luz pela gravidade, conforme previsto por Einstein.
4. **Jogos de Construção:** Criar jogos de construção que desafiam os alunos a projetar e construir máquinas ou dispositivos que considerem os efeitos relativísticos em suas operações. Isso pode auxiliar os alunos a entender como a Teoria da Relatividade é aplicada na tecnologia e na engenharia.
5. **Narrativas Interativas:** Utilizar jogos com narrativas envolventes que envolvam viagens espaciais ou aventuras no universo, onde os alunos devem aplicar conceitos relativísticos para resolver problemas e avançar na história.
6. **Exploração do Universo:** Criar jogos que permitam aos alunos explorar o universo em

grande escala, onde eles podem observar e interagir com objetos astronômicos, enquanto experimentam como a gravidade e a velocidade afetam a realidade desses objetos.

Essas são apenas algumas ideias de como a aprendizagem baseada em jogos pode ser aplicada à introdução à Teoria da Relatividade. Ao incorporar elementos de jogos ao ensino, os alunos podem se sentir mais motivados e engajados em explorar conceitos complexos e abstratos da Física, tornando o aprendizado mais estimulante e efetivo. É fundamental que os jogos sejam projetados para garantir a precisão dos conceitos científicos e que sejam integrados ao currículo de maneira a complementar as abordagens tradicionais de ensino, enriquecendo a experiência de aprendizagem dos alunos. Seguindo esse contexto, esta dissertação apresenta um jogo de tabuleiro (*Boardgame*) como uma ferramenta didática pedagógica. O objetivo é auxiliar no desenvolvimento das aulas de física, mais especificamente no conteúdo de física moderna e, de forma mais precisa, no ensino da Relatividade. Ao longo deste texto, será demonstrado como utilizar uma ferramenta como apoio pedagógico para potencializar o ensino de física nas escolas. Este jogo é baseado na técnica de aprendizagem por meio de jogos, conhecida como *game-based learning*, que atualmente é amplamente utilizada como uma metodologia alternativa para o ensino de ciências. Essa abordagem está fundamentada na aprendizagem ativa, na qual o estudante é o protagonista do seu próprio desenvolvimento educacional, aprendendo de forma lúdica e interativa, garantindo a ludicidade. Com relação ao jogo, apresentamos a seguinte descrição: o jogo, chamado Gravitation (traduzindo para o português, gravitação), é essencialmente um jogo de tabuleiro (*BoardGame*). Uma das inspirações para a sua criação foi o filme "Interestelar" de 2014, que é uma obra de ficção científica/aventura (NOLAN,). No enredo, o planeta Terra está enfrentando dificuldades em relação à escassez de recursos (água, gás, minérios) para a produção de alimentos. Logo, a missão do jogo é realizar uma exploração em busca desses recursos para auxiliar os habitantes da Terra. Mais adiante no texto, será apresentada uma descrição completa do jogo. Quanto à missão do jogo, ela se desenrola da seguinte forma: quatro naves partem em uma exploração pelo cosmos, em uma viagem interestelar saindo de um buraco de minhoca originado no planeta Terra e indo em direção a sistemas planetários com características semelhantes às do sistema solar. Ao se aproximarem de dois sistemas planetários, cada jogador assume o controle de uma nave espacial.

2.5 Aprendizagem baseada em jogos podendo ajudar a superar barreiras emocionais

A aprendizagem baseada em jogos, ou *game-based learning*, pode desempenhar um papel significativo na superação de barreiras emocionais que os alunos possam enfrentar durante o processo de aprendizagem. Essas barreiras emocionais podem incluir ansiedade, medo de falhar, desinteresse e falta de motivação. Através da incorporação de elementos de

jogos na educação, é possível abordar e atenuar essas barreiras de várias maneiras:

- **Ambiente descontraído e seguro:** os jogos oferecem um ambiente menos formal e menos ameaçador do que algumas situações tradicionais de aprendizagem. Isso pode reduzir a ansiedade dos alunos, permitindo que eles se sintam mais à vontade para se envolverem no processo de aprendizagem sem o medo de serem julgados ou criticados.
- **Engajamento e motivação intrínseca:** os jogos são projetados para serem divertidos e envolventes. Quando os alunos estão imersos em jogos educacionais, eles tendem a se sentir mais motivados intrinsecamente a progredir, superar desafios e alcançar os objetivos do jogo.
- **Feedback positivo e recompensas:** A maioria dos jogos oferece feedback imediato e recompensas pelos progressos alcançados. Esse tipo de feedback positivo pode ajudar a aumentar a autoestima dos alunos e reforçar a ideia de que a aprendizagem é um processo gratificante.
- **Aprendizagem personalizada:** alguns jogos podem se adaptar ao nível de habilidade e conhecimento do aluno, permitindo que eles enfrentem desafios adequados ao seu ritmo de aprendizagem. Isso pode evitar que os alunos se sintam sobrecarregados por conteúdos muito avançados ou entediados com conteúdos muito básicos.
- **Colaboração e trabalho em equipe:** jogos multiplayer ou atividades gamificadas podem promover a colaboração entre os alunos, o que pode ajudar a criar um ambiente de apoio social e incentivar a solidariedade em relação ao aprendizado.
- **Exploração de habilidades interpessoais:** alguns jogos podem envolver aspectos sociais e emocionais, permitindo que os alunos desenvolvam habilidades de empatia, tomada de decisões éticas e resolução de conflitos.
- **Conexão com temas emocionalmente relevantes:** os jogos podem abordar temas emocionalmente relevantes para os alunos, tornando a aprendizagem mais significativa e facilitando a conexão entre os conteúdos acadêmicos e a realidade do estudante.

Ao superar essas barreiras emocionais, os alunos podem se tornar mais receptivos à aprendizagem, melhorando sua retenção de informações e sua capacidade de aplicar conceitos em diferentes contextos. No entanto, é importante lembrar que, apesar dos benefícios da aprendizagem baseada em jogos, é necessário considerar uma abordagem equilibrada que combine diferentes estratégias pedagógicas para atender às necessidades individuais dos alunos e promover um ambiente de aprendizado eficaz e inclusivo.

3 EXPLORANDO OS FUNDAMENTOS DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA NO ENSINO DA RELATIVIDADE ATRAVÉS DE UM *BOARDGAME*.

Este capítulo aspira apresentar os fundamentos da teoria da aprendizagem significativa, bem como alguns aspectos da aprendizagem significativa crítica proposta por Marco Antonio Moreira. Será destacada a aplicação desses conceitos no ensino de física, por meio de uma abordagem que permite ao aluno se relacionar com sua própria cultura, ao mesmo tempo, em que o desafia a expandir seus horizontes por meio de uma ferramenta didática inovadora: um jogo de tabuleiro. O foco será potencializar o ensino do conceito de Relatividade no ensino básico.

Inicialmente, serão abordados os principais conceitos relacionados à Aprendizagem Significativa de Ausubel, incluindo seus elementos e benefícios. Em seguida, será discutida a aplicação da aprendizagem significativa crítica na sequência de ensino da relatividade, utilizando como suporte uma ferramenta didática pedagógica inovadora: um jogo de tabuleiro. Este recurso tem como propósito proporcionar uma experiência de aprendizado envolvente e eficaz, promovendo uma compreensão mais profunda e duradoura dos princípios da relatividade, para tornar o ensino de física mais acessível e estimulante para os estudantes.

3.1 Aprendizagem significativa

A aprendizagem significativa é uma teoria da aprendizagem, que foi proposta pelo psicólogo americano David Ausubel. Segundo Ausubel, a aprendizagem significativa ocorre quando um novo conhecimento é relacionado com conceitos pré-existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Nessa perspectiva, a aprendizagem é um processo ativo e construtivo no qual o indivíduo busca significado e relevância no novo conhecimento a ser adquirido.

Segundo (MOREIRA, 2011), aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende.

Ainda nesse contexto de tal conhecimento específico, David Ausubel (1918 – 2008) O conhecimento, especificamente relevante à nova aprendizagem, o qual pode ser, por exemplo, um símbolo já significativo, um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem, David chamava de subsunçor ou ideia-âncora.

Em outras palavras, podemos dizer que o subsunçor é o nome que se dá a um co-

nhcimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do estudante, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles.

Assim, o subsunçor pode ter maior ou menor estabilidade cognitiva, pode estar mais ou menos diferenciado, ou seja, mais ou menos elaborado em termos de significados. Contudo, como o processo é interativo, quando serve de ideia-âncora para um novo conhecimento, ele próprio se modifica, adquirindo novos significados, corroborando significados já existentes.

(MOREIRA, 2011), reitera que “a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não-literal e não-arbitrária”. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.

3.2 Estratégias para promover a aprendizagem significativa

Existem diversas estratégias que podem ser utilizadas para promover a aprendizagem significativa. Algumas delas incluem: Relacionar o novo conhecimento com conceitos prévios: para o novo conhecimento ser significativo, é importante relacioná-lo com o que o aluno já sabe. O professor pode, por exemplo, iniciar a aula com uma pergunta que provoque a reflexão dos alunos sobre o tema que será abordado, e em seguida estabelecer conexões entre os conceitos prévios e o novo conhecimento. Utilizar exemplos concretos: Exemplos concretos e relevantes para a vida dos estudantes podem ajudá-los a compreender melhor o novo conhecimento. Ao usar exemplos, o professor pode tornar o conteúdo mais interessante e fácil de ser relacionado com a experiência prévia dos alunos.

Incentivar a participação ativa dos alunos: A aprendizagem significativa é um processo ativo e construtivo, sendo importante incentivar a participação ativa dos alunos. O professor pode propor atividades em grupo, debates, e outras formas de interação entre os alunos que promovam a reflexão e a construção coletiva do conhecimento. Proporcionar feedbacks construtivos: Feedbacks construtivos são importantes para a aprendizagem significativa, ao permitirem que o aluno entenda o que está fazendo de certo e o que pode melhorar. O professor pode dar feedbacks individuais ou em grupo, sempre buscando valorizar o esforço dos alunos e incentivá-los a continuar aprendendo.

A aprendizagem significativa é uma teoria importante para compreender como o processo de aprendizagem ocorre e como os indivíduos constroem novos conhecimentos a partir de experiências prévias. A partir das estratégias mencionadas, os professores podem promover uma aprendizagem mais significativa em suas salas de aula e contribuir para o desenvolvimento cognitivo e intelectual dos alunos.

David Ausubel foi um psicólogo americano que se destacou por suas contribuições para a área da aprendizagem significativa. Entre suas principais ideias, destaca-se a importância da organização hierárquica do conhecimento, onde conceitos mais amplos e gerais são relacionados com conceitos mais específicos e particulares, para a aprendizagem ser significativa e duradoura.

Além disso, Ausubel também propôs a ideia de que o conhecimento deve ser apresentado de forma clara e organizada para os alunos poderem estabelecer conexões com seus conhecimentos prévios e compreender melhor o conteúdo. Ele também defendeu a ideia de que o professor deve ser um facilitador da aprendizagem, auxiliando os alunos na construção ativa do conhecimento e dando feedbacks construtivos. Em suas contribuições, David Ausubel enfatizou a importância da aprendizagem significativa para o desenvolvimento cognitivo e intelectual dos alunos, e suas ideias ainda são relevantes para a educação atual, contribuindo para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem.

Como sabemos, a aprendizagem significativa é um processo no qual os estudantes constroem ativamente o conhecimento, relacionando-o com suas experiências prévias e dando-lhe significado pessoal. É uma abordagem pedagógica que visa não apenas transmitir informações, mas também auxiliar os alunos a compreender e aplicar o que estão aprendendo em situações reais.

3.3 A contextualização da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica

A aprendizagem significativa crítica tem se mostrado uma abordagem eficaz para promover o desenvolvimento cognitivo e social dos alunos. Esta abordagem promoverá a aprendizagem ativa e reflexiva, em que o aluno é incentivado a pensar criticamente sobre as informações apresentadas, analisando-as sob diferentes perspectivas e relacionando-as com seu próprio conhecimento prévio. Nesse sentido, o presente trabalho visa discutir a aprendizagem significativa crítica, com base na obra de Marco Antônio Moreira.

Aprendizagem significativa crítica: é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela. Trata-se de uma perspectiva antropológica em relação às atividades de seu grupo social que permite ao indivíduo participar de tais atividades, mas, ao mesmo tempo, reconhecer quando a realidade está se afastando tanto que não está mais sendo captada pelo grupo. É esse o significado de subversivo para Postman e Weingartner (op. Cit., p. 4), mas enquanto eles se ocupam do ensino subversivo, prefiro pensar mais em aprendizagem subversiva e creio que a aprendizagem significativa crítica pode subjazer a esse tipo de subversão.

(MOREIRA, 2011) aprendizagem significativa é aprendizagem com significado, compreensão, sentido, capacidade de transferência; oposta à aprendizagem mecânica, pura-

mente memorialística, sem significado, sem entendimento; dependente essencialmente do conhecimento prévio do aprendiz, da relevância do novo conhecimento e de sua predisposição para aprender.

Para Moreira, a aprendizagem significativa crítica é uma abordagem que promoverá uma aprendizagem ativa e reflexiva, em que os alunos são incentivados a pensar criticamente sobre as informações apresentadas, analisando-as sob diferentes perspectivas e relacionando-as com seu próprio conhecimento prévio. Essa abordagem parte da premissa de que o conhecimento é construído pelo sujeito em interação com o meio, e não simplesmente transmitido passivamente.

A Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica combina esses dois conceitos, buscando criar um ambiente de aprendizagem no qual os alunos possam construir conhecimentos significativamente, ao mesmo tempo, em que são encorajados a refletir criticamente sobre a realidade em que estão inseridos. Essa abordagem valoriza a participação ativa dos estudantes, o diálogo e a colaboração entre eles, além de promover a consciência social e a ação transformadora.

Em resumo, a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica visa promover uma educação mais engajadora e relevante, que estimula os alunos a relacionarem seus conhecimentos prévios com os novos conteúdos, ao mesmo tempo, em que os encoraja a refletir criticamente sobre a sociedade e a buscar transformações positivas.

3.4 As etapas da aprendizagem significativa crítica

Moreira propõe um modelo de aprendizagem significativa crítica que se divide em quatro etapas: Desconstrução: nesta etapa, os alunos são incentivados a questionar as informações apresentadas, buscando compreender as diferentes perspectivas e visões de mundo que estão envolvidas no conteúdo apresentado. Reconstrução: nesta etapa, os alunos são incentivados a construir seu próprio conhecimento, relacionando as informações apresentadas com seu conhecimento prévio e desenvolvendo novas perspectivas sobre o conteúdo. Aplicação: nesta etapa, os alunos são incentivados a aplicar o conhecimento construído em situações reais, buscando soluções criativas e inovadoras para problemas complexos. Reflexão: nesta etapa, os alunos são incentivados a refletir sobre o processo de aprendizagem, avaliando suas próprias perspectivas e identificando novas possibilidades de desenvolvimento.

A Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica é uma abordagem educacional que combina dois conceitos-chave: a aprendizagem significativa e a perspectiva crítica. Desenvolvida por David Ausubel e Marcos Antonio Moreira, essa teoria visa promover uma aprendizagem ativa e reflexiva, além de incentivar os alunos a questionarem e transformarem a realidade em que vivem. A aprendizagem significativa, proposta por Ausubel, enfatiza a importância de

relacionar novos conhecimentos com os conhecimentos prévios do aluno. Segundo essa teoria, a aprendizagem ocorre de forma mais efetiva quando o novo conteúdo é relevante e pode ser relacionado com o que o aluno já sabe. Dessa forma, a aprendizagem se torna mais significativa e duradoura.

Já a perspectiva crítica, desenvolvida por Moreira, destaca o papel da educação como uma ferramenta para a conscientização e transformação social, aprendizagem significativa crítica: é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela. De acordo com essa abordagem, os alunos são incentivados a questionar e refletir criticamente sobre a realidade em que vivem, identificando e superando as desigualdades e injustiças. Assim, a educação se torna uma ferramenta de empoderamento e emancipação.

A Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica combina esses dois conceitos, buscando criar um ambiente de aprendizagem no qual os alunos possam construir conhecimentos significativamente, ao mesmo tempo, em que são encorajados a refletir criticamente sobre a realidade em que estão inseridos. Essa abordagem valoriza a participação ativa dos estudantes, o diálogo e a colaboração entre eles, além de promover a consciência social e a ação transformadora. Em resumo, a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica visa promover uma educação mais engajadora e relevante, que estimula os alunos a relacionarem seus conhecimentos prévios com os novos conteúdos, ao mesmo tempo, em que os encoraja a refletir criticamente sobre a sociedade e a buscar transformações positivas.

A abordagem da Aprendizagem Significativa Crítica envolve algumas etapas que visam promover uma aprendizagem ativa, reflexiva e crítica nos alunos. Embora não exista um consenso absoluto sobre as etapas específicas, apresentaremos algumas etapas comuns que podem ser encontradas nessa abordagem:

- **Problemática social:** essa etapa envolve a identificação de uma problemática social relevante e significativa para os alunos. Pode ser um problema local, nacional ou global que afete a comunidade em que vivem. Essa problemática será o foco da aprendizagem e será abordada de forma crítica ao longo do processo.
- **Sensibilização:** Nessa etapa, os alunos são sensibilizados para a problemática social por meio de atividades que despertem seu interesse, empatia e consciência sobre a situação. Isso pode ser feito por meio de discussões, leituras, vídeos, depoimentos, visitas a locais relacionados, entre outros recursos.
- **Diálogo e reflexão:** os alunos são incentivados a dialogar e refletir sobre a problemática social. Eles são encorajados a expressar suas opiniões, compartilhar experiências, questionar e analisar criticamente a situação. O diálogo é essencial nessa etapa para promover a troca de ideias e perspectivas.

- **Investigação e pesquisa:** os alunos são estimulados a investigar e pesquisar a problemática social de forma mais aprofundada. Eles podem realizar pesquisas, entrevistas, coletar dados, analisar informações, entre outras atividades que os ajudem a compreender melhor a complexidade do problema e suas causas.
- **Construção de conhecimento:** nessa etapa, os alunos são incentivados a construir conhecimentos a partir das informações coletadas e das reflexões realizadas. Eles devem relacionar o conteúdo aprendido com sua realidade e experiências, buscando dar sentido e significado ao conhecimento adquirido.
- **Ação transformadora:** essa etapa envolve a ação dos alunos para contribuir com a transformação da problemática social identificada. Eles são incentivados a propor soluções, desenvolver projetos, promover campanhas, realizar ações concretas que busquem enfrentar e superar os desafios relacionados à problemática.
- **Avaliação:** Ao longo de todo o processo, é importante haver uma avaliação contínua, tanto por parte dos professores quanto dos alunos. A avaliação deve ir além da verificação de conteúdos, considerando também a participação, o engajamento, a reflexão crítica e o impacto das ações desenvolvidas pelos alunos.

Essas etapas fornecem uma estrutura para a Aprendizagem Significativa Crítica, mas é importante ressaltar que a abordagem pode ser adaptada conforme as necessidades e contexto específico de cada situação educacional. O objetivo principal é promover uma aprendizagem significativa e crítica, que possibilite aos alunos uma compreensão mais profunda da realidade social e a capacidade de agir transformadoramente.

3.5 A importância da Aprendizagem Significativa Crítica

Para Moreira, a aprendizagem significativa crítica é uma abordagem de grande importância para a formação dos alunos, por permitir que estes desenvolvam habilidades cognitivas e sociais fundamentais para sua vida pessoal e profissional. Entre as principais habilidades desenvolvidas por meio dessa abordagem, destaca-se capacidade de pensar criticamente, de se relacionar de forma construtiva com o meio e com os outros, de solucionar problemas complexos e de aprender de forma autônoma e contínua. Além disso, a aprendizagem significativa crítica permite que os alunos se tornem sujeitos ativos em seu próprio processo de aprendizagem, construindo seu conhecimento de forma mais profunda e duradoura. Essa abordagem também incentiva a criatividade e a inovação, estimulando a busca por novas soluções para problemas e desafios diversos.

Para exemplificar a aplicação da aprendizagem significativa crítica, Moreira descreve diversas situações em que essa abordagem foi utilizada com sucesso. Entre elas, destacam-se:

- Um projeto de intervenção pedagógica em que alunos do ensino médio foram incentivados a refletir criticamente sobre as mudanças na legislação trabalhista, buscando compreender as diferentes perspectivas envolvidas e propondo soluções para os desafios apresentados.
- Um programa de formação continuada para professores, em que foram trabalhadas estratégias para promover a aprendizagem significativa crítica em sala de aula, incluindo o uso de atividades colaborativas, o estímulo ao pensamento crítico e a promoção da autonomia dos alunos.
- Um projeto de pesquisa em que foram analisados os impactos da aprendizagem significativa crítica no desenvolvimento cognitivo e social dos alunos, evidenciando os benefícios dessa abordagem para a formação integral dos sujeitos.

Essas situações ilustram a aplicação prática da aprendizagem significativa crítica e demonstram como essa abordagem pode contribuir para a formação de indivíduos críticos, autônomos e comprometidos com a construção de um mundo mais justo e sustentável.

3.6 Aplicação da aprendizagem significativa crítica na disciplina de Física

A aprendizagem significativa crítica também pode ser aplicada na disciplina de Física, buscando desenvolver nos alunos a capacidade de compreender e analisar os fenômenos físicos de forma crítica e reflexiva. Nessa perspectiva, Moreira destaca a importância de utilizar estratégias pedagógicas que favoreçam a construção ativa do conhecimento pelos alunos, promovendo a sua participação ativa no processo de aprendizagem.

Para ilustrar a aplicação da aprendizagem significativa crítica na disciplina de Física, Moreira apresenta algumas situações que podem ser adotadas pelos professores. Algumas delas são:

- Utilização de situações-problema que desafiem os alunos a aplicar os conceitos físicos em contextos reais, promovendo a sua capacidade de análise e solução de problemas.
- Estímulo à pesquisa e discussão de questões relacionadas à Física, permitindo que os alunos reflitam criticamente sobre os avanços científicos e tecnológicos e seus impactos na sociedade.

- Promoção de atividades práticas que favoreçam a experimentação e a construção de hipóteses pelos alunos, estimulando a sua curiosidade e criatividade.
- Utilização de tecnologias educacionais, como simulações e modelos virtuais, que permitam aos alunos explorar conceitos físicos de forma interativa e dinâmica.
- Ensino por jogos como uma ferramenta didática pedagógica, visando potencializar o ensino de física moderna, facilitando o entendimento dos conceitos da teoria da relatividade de Einstein.

Essas estratégias pedagógicas favorecem a aplicação da aprendizagem significativa crítica na disciplina de Física, possibilitando que os alunos desenvolvam habilidades e competências fundamentais para a sua formação integral. A aprendizagem significativa crítica no ensino de física é de extrema importância ao promover uma abordagem ativa e reflexiva na aprendizagem dos conceitos científicos. Esse método vai além da simples memorização de fórmulas e teorias, buscando estimular o pensamento crítico, a análise e a aplicação dos conhecimentos adquiridos.

A aprendizagem significativa crítica baseia-se na teoria do construtivismo, que defende que o conhecimento é construído pelo indivíduo através da interação com o meio e com outros indivíduos. Nesse sentido, o aluno é incentivado a participar ativamente do processo de aprendizagem, questionando, investigando e relacionando os conteúdos estudados com situações reais. Ao adotar a aprendizagem significativa crítica, o ensino de física se torna mais contextualizado e relevante para os estudantes.

Eles são desafiados a compreender os fenômenos físicos em diferentes contextos, como o cotidiano, a tecnologia e a sociedade. Isso permite uma maior compreensão dos conceitos, além de estimular a curiosidade e o interesse pela disciplina.

Além disso, a aprendizagem significativa crítica no ensino de física contribui para o desenvolvimento de habilidades cognitivas e socioemocionais dos alunos. Eles aprendem a analisar criticamente informações, a resolver problemas complexos, a trabalhar em equipe e a comunicar suas ideias de forma clara e eficiente. Portanto, a adoção da aprendizagem significativa crítica no ensino de física proporciona uma aprendizagem mais profunda e duradoura, preparando os estudantes para enfrentar desafios e tomar decisões fundamentadas no contexto científico.

3.7 A Relatividade no Ensino Médio

Em suma, a Relatividade Geral representa um marco importante na história da física, ao mudar como entendemos a gravitação e o universo todo. A teoria de Einstein for-

neceu uma nova maneira de entender o universo, baseada em uma compreensão mais profunda da geometria do espaço-tempo e da sua relação com a massa e energia. Com suas implicações sobre buracos negros, singularidades e lentes gravitacionais, a RG continua a fascinar cientistas e leigos até agora, abrindo novos horizontes para a exploração do universo e a busca por uma teoria mais completa e integrada da física.

Ainda nesse contexto, como a Relatividade pode ser implantada no ensino médio para compor o currículo no ensino básico?

A teoria da Relatividade pode ser introduzida no ensino médio de maneira atraente e acessível aos estudantes. Para isso, é necessário adaptar o conteúdo para a faixa etária, buscando formas de apresentar os conceitos de maneira clara e interessante.

3.7.1 Estratégia para abordar Relatividade no Ensino Médio

Uma estratégia para abordar a Relatividade no ensino médio é partir da sua origem histórica e do contexto em que foi desenvolvida. É importante situar a teoria no período de transição entre a física clássica e a moderna, mostrando como as observações experimentais e os avanços tecnológicos da época levaram à necessidade de uma nova concepção do espaço e do tempo.

Em seguida, pode-se introduzir os conceitos fundamentais da Relatividade Especial, como a relatividade do tempo e do espaço, a constância da velocidade da luz e a equivalência entre massa e energia. É possível fazer analogias e exemplos concretos para ilustrar esses conceitos, como a ideia de que dois observadores em movimento relativo percebem o tempo de maneira diferente.

3.7.2 Como Apresentar a Relatividade Geral ainda no Ensino Médio

Para apresentar a Relatividade Geral, pode-se explorar a ideia de que a gravidade não é uma força, mas uma consequência da curvatura do espaço-tempo causada pela presença de massa e energia. Pode-se mostrar como a teoria prevê fenômenos como a lente gravitacional e os buracos negros, e como esses conceitos são fundamentais para entender o universo na totalidade.

Uma forma interessante de complementar o ensino da Relatividade é mostrar como ela se relaciona com outras áreas do conhecimento, como a cosmologia e a filosofia da ciência. Pode-se discutir, por exemplo, a ideia de que a teoria da Relatividade mudou a nossa compreensão da natureza do tempo e do espaço, e como isso influencia nossas visões sobre o universo e a realidade.

Em resumo, é possível ensinar a teoria da Relatividade de maneira acessível e interessante no ensino médio, adaptando o conteúdo para a faixa etária e buscando formas de

apresentar os conceitos de maneira clara e ilustrativa. Ao mostrar como a teoria se relaciona com outras áreas do conhecimento, pode-se despertar o interesse dos estudantes e estimular o pensamento crítico e reflexivo.

4 PRINCÍPIOS DA TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL E CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA RELATIVIDADE GERAL

Neste capítulo, vamos explorar as ideias fundamentais da relatividade especial e as noções essenciais da teoria da relatividade geral. Começaremos examinando a incompatibilidade teórica entre duas teorias amplamente estabelecidas e experimentalmente comprovadas. Veremos como Einstein, em 1905, desenvolveu a teoria da relatividade especial para resolver esse conflito. No entanto, o próprio Einstein logo percebeu que sua nova teoria entrava em conflito com a teoria estabelecida da gravitação de Newton. Isso levou à necessidade de uma nova teoria da gravitação, que resultou na formulação da relatividade geral.

Vamos explorar os princípios e fundamentos dessa teoria, compreendendo como ela relaciona o movimento acelerado à gravidade e como ela modifica a geometria do espaço-tempo. Este capítulo oferecerá uma visão abrangente das contribuições de Einstein para a compreensão da natureza do universo e suas teorias revolucionárias que transformaram nossa percepção do espaço, tempo e gravidade.

4.1 O princípio da Relatividade na Eletrodinâmica

O princípio da Relatividade na Eletrodinâmica, como consequência das equações de Maxwell, as ondas eletromagnética se propagam, no vácuo, com velocidade $c = \sqrt{1/\epsilon_0\mu_0}$, sendo uma constante universal. Porém, precisamos ainda falar de uma questão básica da física: a que referencial se refere essa velocidade? Podemos perceber a dependência das leis física com respeito ao referencial, no livro: física Básica, Mecânica 1, vol.1, Moysés, onde é discutido as leis básicas da mecânica que assume sua forma mais simples nos referenciais inerciais (NUSSENZVEIG, 2013).

Sabemos que por definição, um referencial é inercial se nele vale a lei da inércia, ou seja, um corpo não sujeito a uma força, permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme.

Observamos que qualquer referencial em movimento retilíneo uniforme em relação a um referencial inercial é também inercial. Note que se o referencial (S') representado na figura 1, se move em relação a (S) com velocidade constante v e as origens O e O' dos dois referenciais coincidem no instante de $t = t' = 0$, notamos que relação entre as coordenadas, $X(x, y, z, t)$ e $X'(x', y', z', t')$ nos referenciais é dado pela Transformação de Galileu.

Logo podemos escrever

$$X' = X - Vt \text{ e } t' = t \quad (4.1)$$

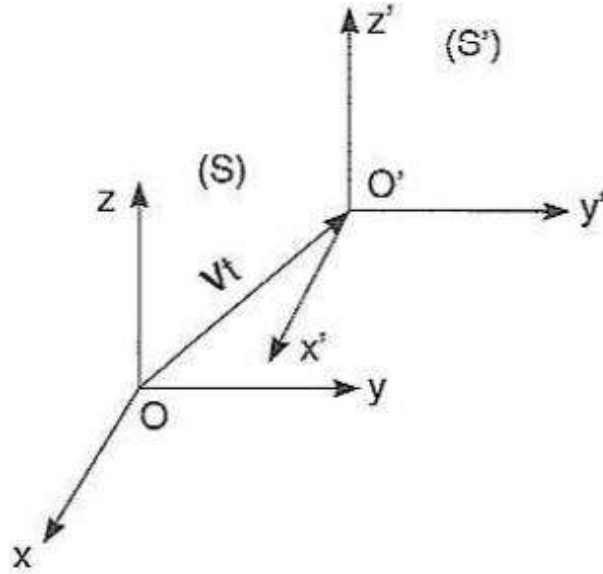


Figura 1: Referenciais (S) e (S'), fonte:(NUSSENZVEIG, 2014)

desse modo podemos decorre a lei de Galileu de Composição de Velocidades

$$V' = V_{const} - V, \quad (4.2)$$

onde V e V' são velocidades relativas a S e S' , respectivamente. Que decorre também a igualdade das acelerações:

$$\frac{dV}{dt} = a = a' = \frac{dV'}{dt'} \quad (4.3)$$

Como sabemos que a transformação de Galileu não afeta as distâncias entre o corpo e a massa, também não afeta uma força F que só depende dessas distâncias, assim como a gravidade, de modo que

$$F = ma \Rightarrow F' = m'a', \quad m' = m, \quad (4.4)$$

isso é, a lei fundamental da dinâmica não se altera.

Por conseguinte decorre o princípio da relatividade da mecânica, devido a Galileu: é impossível detectar um movimento retilíneo uniforme de um referencial em relação a outro por qualquer efeito sobre as leis da dinâmica, Galileu deu exemplo de experiências de mecânica efetuadas sob o convés de um navio, com as escotilhas fechadas, que seriam incapazes de distinguir se o navio estaria ancorado ou em movimento retilíneo uniforme (NUSSENZVEIG, 2014, Cap. 06).

Contudo, podemos observar também que na mecânica esse princípio deixa de valer para referencial inercial aparecem efeitos detectáveis sobre as leis da mecânica através das forças de inércia como, por exemplo, força centrífuga, força de Coriolis. Todavia, se procurarmos entender à eletrodinâmica o princípio de relatividade, nos deparamos instantaneamente com um problema vem das leis da eletrodinâmica, mais precisamente as equações de Maxwell,

que a luz se propaga, no vácuo, com velocidade c . Assumindo que isso vale num dado referencial inercial, e que valem as leis da mecânica clássica, o resultado não poderia ser válido em outro referencial inercial em um movimento retilíneo uniforme em relação ao primeiro com velocidade V . Como consequência da lei de Galileu de composição de velocidade escrevemos da seguinte forma:

$$c' = c - V, \quad (4.5)$$

dessa forma, fica $c' \neq c$, e c' variaria com a direção de propagação, entrando em contradição com o princípio de relatividade no caso da eletrodinâmica.

Ainda nesse contexto, as equações de Maxwell seriam restritas nesse caso a um referencial inercial especial, onde a velocidade da luz é c em todas as direções. Isso acontece com algumas ondas que se propagam em meios materiais, como, por exemplo, ondas na acústica: são ondas de som que se propagam via um meio material, o qual é o suporte das oscilações, e a velocidade do som é isotrópica, isso significa que é a mesma velocidade em todas as direções, claro que somente num referencial em que este meio está no seu estado de repouso.

Admitindo o vácuo como um tal suporte material das ondas eletromagnéticas, chega no conceito do chamado éter, um meio hipotético cuja existência já havia sido postulado por René Descartes. Segundo a literatura, o próprio Maxwell chegou em suas equações com base num modelo mecânico para eletromagnético, o chamado “éter celular”.

Supondo que o éter existisse como referencial especial, seria possível em uma experiência de propagação da luz, detectar um movimento retilíneo uniforme em relação ao éter, ou seja, o princípio da relatividade seria inválido na eletrodinâmica, assim da mesma forma inválido na propagação do som.

Entretanto, se quiséssemos manter o princípio de relatividade também na eletrodinâmica, a equação (4.5) mostra que isso não seria compatível com a velocidade simultânea das equações de Maxwell e das leis da mecânica newtoniana, logo uma das duas deveria ser abandonada. Portanto, deveria ser válida uma das seguintes opções:

1. A mecânica de Newton e as equações de Maxwell são válidas, mas o princípio de relatividade não deve ser aplicado às leis da física: existe um referencial absoluto (o éter, onde a velocidade da luz é c em todas as direções, e deve ser possível, por meio de experiências eletromagnéticas, podemos detectar um movimento retilíneo e uniforme em relação ao referencial absoluto do éter.
2. O princípio da relatividade deve se aplicar a todas as leis da física e a mecânica de Newton está correta. Portanto, equações de Maxwell deveriam ser modificadas, e sendo possível observar desvios das leis, eletromagnética clássica.

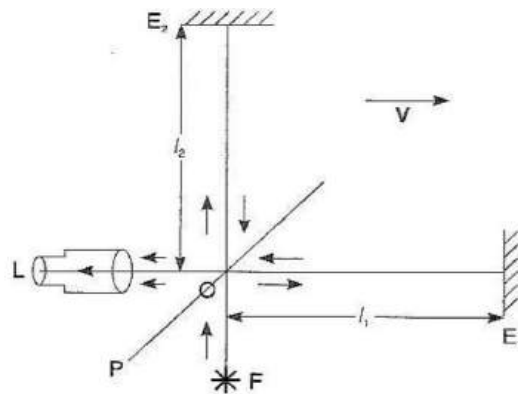


Figura 2: Experimento de Michelson e Morley, Fonte: (NUSSENZVEIG, 2014)

3. O princípio da relatividade deve ser aplicado em todas as leis físicas, e as equações de Maxwell estão corretas. Assim, a mecânica de Newton e a transformação de Galileu não poderiam estar corretas: sendo possível, fatos experimentais.

4.2 O Experimento de Michelson e Morley

Vamos considerarmos o teste experimental da opção 1. Notamos que se ela fosse válida, seria possível detectar um tipo de movimento retilíneo uniforme em ao éter, usando a lei de Galileu de composição de velocidades (4.5): a velocidade da luz em um referencial em movimento relativo ao éter deveria diferir em direções diferentes.

Imagine agora um referencial na qual o sol estivesse em repouso, podemos dizer que é uma aproximação de um referencial inercial. Sabemos que a velocidade de translação da terra em relação a esse referencial inercial é da ordem de 30 quilômetros por segundos, notamos que tem sentido opostos em intervalos de meio ano, correspondendo uma variação de velocidade da ordem de 60 quilômetro por segundos.

Assim, admitindo um referencial ligado à terra (Laboratório) esteja em repouso no éter num dado intervalo de tempo, terá uma velocidade relativa a ele de 60 quilômetros por segundos meio ano mais tarde. Sabemos que durante a metade do ano, a terra tem uma velocidade V de pelo menos 30 quilômetros por segundos em relação a qualquer referencial inercial fixo. Dessa forma, pela lei de composição de velocidade (4.5), isso daria origem a desvios da ordem de $V/c > 10^{-4}$ na velocidade de propagação da luz.

A.A.Michelson e, E. W. Morley realizaram uma série de experimentos entre 1881 a 1887, na busca de detectar esses desvios muito pequenos) usando o interferômetro de Michelson.

Veja o interferômetro representado na figura 2, nesse esquema não foi representada a placa de compensação do caminho ótico. Os braços têm comprimentos l_1 e l_2 . F é fonte de luz, P a placa semi espelhada divisora do feixe, E_1 e E_2 são os espelhos e L é a luneta de

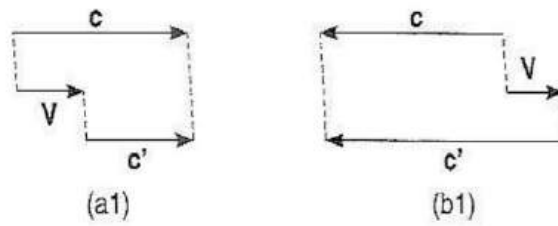


Figura 3: percurso longitudinal. A velocidade é $c' = c - V$ na ida (a1) e $c' = c + V$ na volta (b1), Fonte:(NUSSENZVEIG, 2014)

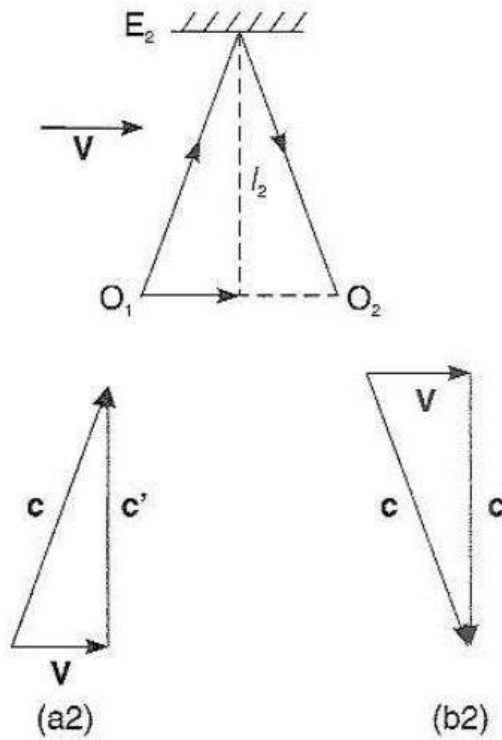


Figura 4: Percursos Transversais, Fonte:(NUSSENZVEIG, 2014)

observação.

Essa experiência foi feita muitas vezes, com diferentes orientações da montagem na totalidade. Imaginamos que, nessa situação da figura 2, a terra estivesse se movendo em relação ao éter claro de forma hipotética, com velocidade V na direção OE_1 . Como $c \gg V$ ao longo de l_1 , temos [cf. em eq. (4.5) e fig. 3] Tempo total para ida e volta ao longo de $l_1 = t_1 = \frac{l_1}{c-V} + \frac{l_1}{c+V} = \frac{2l_1c}{c^2 - V^2}$, logo

$$t_1 = \frac{2l_1}{c(1 - \beta^2)}, \quad (4.6)$$

onde $\beta \equiv V/c$ parâmetro adimensional.

Observando do ponto de vista do referencial do éter, o percurso na direção de l_2 é oblíquo, porque, durante o tempo de ida e volta da luz do espelho E_2 , a placa P se terá deslocado de O_1 para O_2 . Veja na fig. 4. (a2) e (b2), tanto na ida quanto na volta a velocidade da luz no

referencial da terra será:

$$c' = \sqrt{c^2 - V^2} = c\sqrt{1 - \beta^2} \quad (4.7)$$

dessa forma, o tempo do percurso de ida e volta ao longo de l_2 será

$$t_2 = \frac{2l_2}{c\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (4.8)$$

Assim, a diferença de caminho ótico entre os dois percursos é

$$\Delta = c(t_1 - t_2) = \frac{2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \left(\frac{l_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - l_2 \right) \quad (4.9)$$

observe se os espelhos E_1 e E_2 não são perpendiculares entre si, essa diferença de caminho dá origem a franjas de interferência de igual inclinação na cunha de ar de pequena abertura formada por E_2 e pela imagem de E_1 na placa P_2 , agora se girarmos 90° o dispositivo todo, os papéis de l_1 e l_2 são intercambiados, o que dá:

$$t'_1 = \frac{2l_1}{c\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad t'_2 = \frac{2l_2}{c\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (4.10)$$

$$\Delta' = c(t'_1 - t'_2) = \frac{2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \left(l_1 - \frac{l_2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) \quad (4.11)$$

A figura de interferência observada antes sofrerá um deslocamento correspondente ao caminho ótico

$$\Delta' - \Delta = \frac{2}{\sqrt{1 - \beta^2}} (l_1 + l_2) \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) \quad (4.12)$$

Como era notável que $\beta \ll 1$, podemos aproximar

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = (1 - \beta^2)^{-1/2} \approx 1 + \beta^2/2 \quad (4.13)$$

O deslocamento em (4.12), medido em termos de números de franjas, é então:

$$\delta_m \equiv \frac{\Delta' - \Delta}{\lambda} \approx \frac{l_1 + l_2}{\lambda} \beta^2 \quad (4.14)$$

Ou seja, o efeito é de 2ª Ordem em $V/c \equiv \beta$. Por ser tão pequeno necessita de uma técnica interferométrica.

Segundo a literatura, a primeira vez que o experimento foi feito por Michelson e Morley em 1881, era $l_1 = l_2 \approx 1,2m$ e (luz amarela). Efetuando $\beta \sim 10^{-4}$, como anteriormente no início, resulta então $|\delta_m| \sim 0,04$ de franjas o que teria sido detectado por um observador perito como Michelson (NUSSENZVEIG, 2014, 3.5). Logo o resultado, para grande surpresa dele, foi, em suas palavras: "... Não há deslocamento das franjas de interferência. Assim,

demonstramos que a hipótese de um éter estacionário é incorreta”.(NUSSENZVEIG, 2014, 6.2)

4.3 Transformações de Lorentz e A Relatividade Especial (RE)

“Um resultado de meu trabalho foi a afirmação de que as transformações de Lorentz transcendem suas conexões com as equações de Maxwell e dizem respeito à natureza do espaço e do tempo em geral. Outro resultado é que a invariância de Lorentz é uma condição geral para qualquer teoria física”. (Albert Einstein) (CARUSO; OGURI, 2006)

As Transformações de Lorentz

Assumindo que o princípio da relatividade fosse válido também para o eletromagnetismo, Hendrik Lorentz chegou em um resultado matemático as equações que relacionam as coordenadas espaço-temporais de um ponto do espaço, segundo os dois sistemas de coordenadas cartesianas S e S' , visto anteriormente nas transformações de Galileu com relação ao referencial inercial distintos, em vez das próprias transformações de Galileu; agora vamos chamar de transformações de Lorentz:

$$x' = \gamma(V)(x - Vt) \quad x = \gamma(V)(x' + Vt') \quad (4.15)$$

$$y' = y \quad y = y' \quad (4.16)$$

$$z' = z \quad z = z' \quad (4.17)$$

$$t' = \gamma(V)(t - Vx/c^2) \quad t = \gamma(V)(t' + Vx'/c^2) \quad (4.18)$$

Onde $\gamma(V) = \frac{1}{\sqrt{1-V^2/c^2}} \geq 1$ É denominado fator de Lorentz.

As transformações de Lorentz admite que:

- Se $T = T'$ são as durações de um mesmo evento, segundo os sistemas S e S' , mas ocorrido em um mesmo ponto segundo um observador em S' , podemos escrever a seguinte expressão: $T = \gamma(V)T'$ (dilatação temporal).
- Se l e l' são os comprimentos de um mesmo objeto segundo os sistemas S e S' , mas em repouso segundo um observador em S' , obtemos essa expressão: $l = l'/\gamma(V)$ (contração do comprimento).

Portanto, conforme as transformações de Lorentz, as medidas de intervalos de tempo e de comprimento dependem do referencial, ou seja, do observador, de forma contrária do que era admitido nas transformações de Galileu. Observando por outra ótica, fazendo a análise do comportamento do fator de Lorentz com velocidade descrita na figura 4, para que esse efeito sejam observados se faz necessário que a magnitude da velocidade (V) de um referencial em

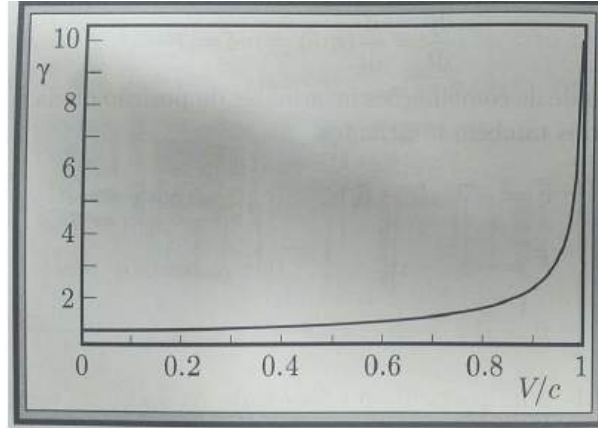


Figura 5: fonte: (CARUSO; OGURI, 2006)

relação ao outro seja igual a uma fração amostral da velocidade da luz, isso não ocorrendo, o fator de Lorentz tende para uma unidade.

$$\frac{V}{c} \rightarrow 0 \Leftrightarrow c \rightarrow \infty \Rightarrow \gamma(V) \rightarrow 1 \quad (\text{limite clássico}) \quad (4.19)$$

Assim, nesse limite clássico, todos os resultados de uma teoria relativística ficará condicionada pela transformação de Lorentz se igualam aos das teorias clássicas, para as quais são válidas as próprias transformações de Galileu.

A Relatividade Especial (RE)

A teoria da relatividade de Einstein é um marco fundamental na história da física, que trouxe uma nova compreensão do espaço, tempo e gravitação. A Relatividade Especial (RE) foi publicada por Albert Einstein em 1905 e trata das propriedades físicas dos observadores que se movem em velocidades próximas à da luz. A RE é a primeira teoria a mostrar que a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores, independentemente da sua velocidade relativa. No entanto, a RE não considera a gravitação.

A RE é baseada em dois postulados fundamentais: a constância da velocidade da luz e a equivalência entre as leis da física em todos os sistemas inerciais de referência.

O primeiro postulado afirma que a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores, independentemente da sua velocidade relativa. Isso significa que a velocidade da luz é uma constante universal que não depende da velocidade do observador ou da fonte de luz. O segundo postulado estabelece que as leis da física são as mesmas em todos os sistemas inerciais de referência. Isso significa que as leis da física são as mesmas em todos os sistemas que se movem em linha reta e com velocidade constante em relação a um observador.

A RE tem consequências surpreendentes, como a dilatação do tempo e a contração do comprimento. Esses efeitos são observados apenas em velocidades próximas à da luz e são

negligenciáveis em velocidades baixas. Além disso, a RE não considera a gravitação e não fornece uma descrição precisa da atração gravitacional.

“Não há dúvidas de que, se fizermos um retrospecto de seu desenvolvimento, a Teoria da Relatividade Especial estava pronta para ser formulada em 1905. Lorentz já havia observado que as transformações que agora levam o seu nome são essenciais para a análise das equações de Maxwell, e Poincaré já tinha penetrado mais profundamente nessas conexões”.(CARUSO; OGURI, 2006)

Dessa forma a Teoria da Relatividade em sua essência não se preocupa apenas com a relativização dos conceitos de espaço e tempo, mas também, nos reafirma que as leis da natureza devem ser independentes de referenciais, isso garante a base para que chamamos de Espaço-Tempo.

Como sabemos para Lorentz, um dos referenciais de suas transformações seria um sistema de referência especial, o éter. Einstein, por sua vez, deriva as transformações de Lorentz, reformulando, alguns conceitos como o espaço e tempo, até então tidos como primários e intuitivos, a partir de dois postulados:

- O princípio da relatividade especial — as leis da física devem ser as mesmas em todos os sistemas inerciais de referência;
- O princípio da Invariância da velocidade da luz — a velocidade de propagação da luz no vácuo tem um valor constante, dado por: $c = 299792458 m/s$, independente do estado de movimento do emissor, independentemente do observador.

Como já vimos anteriormente. Maxwell já tivesse mostrado que $c = 1/\sqrt{\mu_0\epsilon_0}$, naquele período, ainda se acreditava que a velocidade da luz poderia variar segundo a velocidade do sistema inercial adotado em relação ao suposto éter, meio no qual c adquire o valor determinado por Maxwell. Atualmente sabemos, μ_0 e ϵ_0 são consideradas constantes universais associadas ao vácuo, isso por conta da invariância da luz proposta por Einstein.

Como base nos dois postulados, Einstein dando continuidade os seus trabalhos também desenvolveu uma nova teoria dinâmica, mais adequada que a dinâmica proposta por Newton, para melhor descrever o movimento de uma partícula carregada sob ação de um campo eletromagnético, onde restabelece o princípio de que todo sistema e referência inercial é equivalente para a descrição dos fenômenos físicos. Dessa maneira, as relações entre as coordenadas espaço-temporais em dois referenciais inerciais distintos, no entanto, não são mais escritas utilizando as transformações de Galileu, mas, sim, pelas transformações de Lorentz.

Seguindo Einstein ainda admite também, como na Física Clássica, a homogeneidade e a isotropia do espaço. Logo, as transformações entre sistemas de coordenadas em referenciais inerciais distintos continuam sendo linear. Com a isotropia espacial, se dois sistemas se

deslocam em movimento de translação uniforme em uma dada direção, apenas as coordenadas espaciais na direção do movimento onde estarão ligados por uma função linear nas coordenadas espaciais e temporais, que depende da velocidade de um referencial em relação ao outro.

Medidas Próprias

Surge também como consequência dos postulados de Einstein, a Teoria da Relatividade Especial estabelece que algumas grandezas, cujas medidas eram tidas como valores absolutos, como, por exemplo, o comprimento de um objeto e a duração de um fenômeno, não são invariantes. Contudo, estabelece que uma série de outras grandezas possuem medidas invariantes com relação às transformações entre referenciais inerciais. Podemos tomar como exemplo, admitindo a isotropia espacial, a medida do comprimento de uma barra é invariante segundo observadores que se deslocam perpendiculares à direção longitudinal da barra.

A medida de comprimento determinada por observadores em um referencial para qual a barra esteja em repouso é denominada medida de comprimento próprio. Logo, para observadores que se deslocam ao longo de uma reta perpendicular à barra, a medida de comprimento determinada por eles, $L_{\perp}$, será igual à medida própria, L_0 , $L_{\perp} = L_0$. Por outra ótica, para observadores que se deslocam ao longo da barra, a medida de comprimento, L_p , diferia da medida própria, L_0 , $L_p \neq L_0$.

A dilatação temporal

Analogamente, as medidas de comprimento ou de distâncias entre os pontos do espaço são relativas, e também a duração temporal de um evento segue dependendo do movimento do observador. Definimos um observador O' , em seu estado de repouso, no interior de um trem que está se deslocando com uma certa velocidade V com relação a um observador O , confira a figura 6, e ambos observam a reflexão de um tipo de sinal luminoso que parte do piso, no teto do móvel. Temos a duração (τ_0) desse processo para O' , será dada por

$$\tau_0 = 2 \frac{\overline{BD'}}{c} \quad (4.20)$$

O intervalo de tempo entre o evento (saída e chegada do sinal) que, segundo um observador, ocorre em um mesmo ponto do espaço é chamado de intervalo de tempo próprio.

Para o observador externo O , o caminho percorrido pelo sinal está representado na figura 7, ou seja, o sinal é emitido no ponto A, refletido no ponto B, e é detectado no ponto C.

Com isso, devido ao movimento do trem, para o observador O , os eventos não ocorreram em um mesmo ponto, e o intervalo de tempo (τ) entre suas ocorrências é dado por

$$\tau = \frac{\overline{AB} + \overline{BC}}{c} = 2 \frac{\overline{AB}}{c} \quad (\overline{AB} = \overline{BC}) \quad (4.21)$$

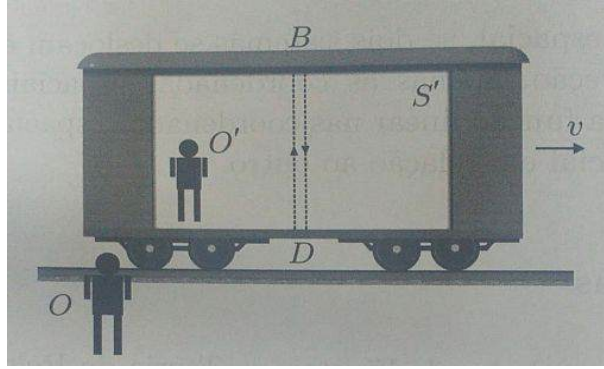


Figura 6: Esquema da reflexão de um sinal luminoso no teto de um trem, segundo um observador em seu interior, fonte:(CARUSO; OGURI, 2006)

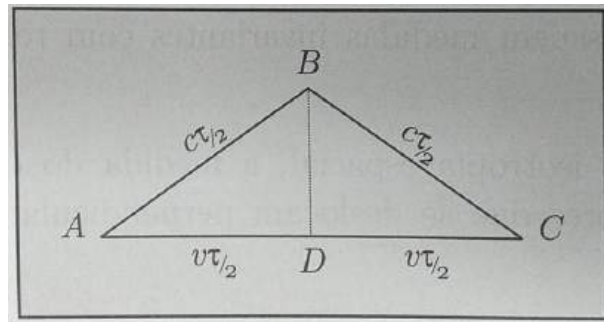


Figura 7: Reflexão de um sinal luminoso no teto de um trem, segundo um observador exterior. (CARUSO; OGURI, 2006)

Dessa forma, a relação entre os dois intervalos de tempo é dada por

$$\frac{\tau_0}{\tau} = \frac{\overline{BD'}}{\overline{AB}} \quad (4.22)$$

Decorre que a medida da distância é ortogonal ao movimento, a altura do trem $\overline{BD}$ é invariante para os observadores, e pode ser expressa como $\overline{BD'} = \overline{BD} = \sqrt{\overline{AB}^2 - \overline{AD}^2}$, onde $\overline{AD} = \overline{DC} = V\tau/2$ e $\overline{AB} = c\tau/2$, obtermos

$$\frac{\tau_0}{\tau} = \frac{\sqrt{\overline{AB}^2 - \overline{AD}^2}}{\overline{AB}} = \sqrt{1 - \frac{\overline{AD}^2}{\overline{AB}^2}} = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}, \quad (4.23)$$

ou

$$\tau = \gamma(V)\tau_0 \Rightarrow \tau \geq \tau_0 \quad (4.24)$$

onde $\gamma(V) = (1 - V^2/c^2)^{-1/2}$ é fator de Lorentz.

Logo, podemos concluir que a medida de intervalo tempo não-próprio é maior que a medida de intervalo de tempo própria. Conforme a literatura esse resultado foi proposto por Larmor, em 1900, é denominado dilatação temporal, que tem a ver com a percepções distintas de um mesmo fenômeno, conforme o estado de movimento do observador (CARUSO; OGURI, 2006). É importante destacar que é impossível um dado observador perceber qualquer dilatação

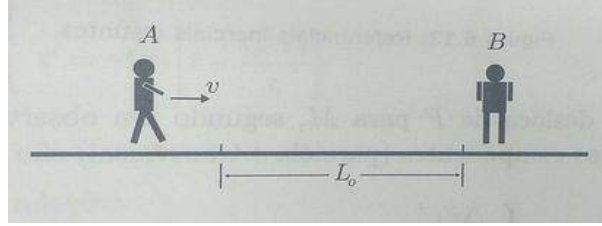


Figura 8: Comprimento próprio de um trecho de estrada. Fonte:(CARUSO; OGURI, 2006)

temporal sem que haja alteração de seu estado de movimento relativo.

A contração espacial

Com relação à medida de comprimento, própria de um objeto, é determinada por um observador que está em movimento paralelamente à direta longitudinal do objeto, pode ser determinada de forma: observe na figura 8 abaixo, um trecho de estrada cujo comprimento próprio é L_0 .

Pois, sabemos que para o observador A que se desloca com uma certa velocidade V em relação à estrada, o intervalo de tempo necessário para ele percorrer o trecho está indicado é um intervalo de tempo próprio igual a (τ) , que A percorre o trecho de estrada por

$$\tau = \frac{L_0}{V} \quad (4.25)$$

a relação entre esses intervalos é dada por

$$\tau_0 = \frac{\tau}{\gamma(V)} = \frac{L_0}{V} \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \quad (4.26)$$

donde o observador A pode determinar o comprimento (L) do trecho de estrada por

$$L = V \tau_0 \quad (4.27)$$

Assim,

$$L = \frac{L_0}{\gamma(V)} \Rightarrow L \leq L_0 \quad (4.28)$$

Logo, podemos concluir que a medida de comprimento não-próprio é menor que a medida própria. Esse resultado foi proposto por Lorentz e Fitzgerald, é denominado de contração do comprimento (CARUSO; OGURI, 2006). É importante destacar que é impossível um dado observador perceber qualquer dilatação temporal sem que haja alteração de seu estado de movimento relativo.

4.4 Noções de Relatividade Geral (RG)

A Relatividade Geral (RG), publicada em 1915, é uma teoria mais abrangente que descreve a gravitação como uma curvatura do espaço-tempo. A RG é uma teoria da gravitação que unifica a descrição da gravitação com a estrutura do espaço-tempo, e é a teoria mais precisa da gravitação disponível atualmente. Ainda nesse tópico discutiremos os principais conceitos da RE e da RG, destacando a transição da RE para a RG e a descrição da gravitação pela RG.

A RG é uma teoria da física que descreve a gravitação como uma curvatura do espaço-tempo. A RG foi proposta por Einstein em 1915 como uma extensão da RE, e descreve a gravitação como uma consequência da geometria do espaço-tempo. Na RG, a presença de massa e energia curva o espaço-tempo ao seu redor, e os objetos se movem em linhas retas no espaço-tempo curvo, as quais são as geodésicas. Pela teoria da relatividade geral, a gravitação é uma consequência da curvatura do espaço-tempo, e não uma força. A RG é uma teoria muito precisa da gravitação e previu várias observações experimentais.

Como vimos anteriormente nos tópicos da relatividade especial, sabemos que nenhum sinal pode viajar no espaço com velocidade maior que c , a velocidade da luz ($V.c$). A interação eletromagnética, descrita pela teoria eletromagnética de Maxwell, também conhecida com as equações de Maxwell, satisfaz esta condição. Toda via, essa condição não é satisfeita pela descrição da mecânica de Newton de outra interação fundamental existente na natureza: a Gravitação. Com efeito, pela lei de gravitação universal de Newton, ela é descrita como uma interação instantânea à distância: se mudarmos a posição de uma massa, mudam instantaneamente as forças gravitacionais entre elas e quaisquer outras massas, por mais distantes que estejam.

Assim, Einstein então propôs uma nova formulação da teoria da gravidade para tornar compatível com as limitações impostas pela relatividade especial. Uma das principais pistas que ele encontrou que pudesse ajudá-lo nesse trabalho foi um fato que já havia despertado a atenção até mesmo do próprio Sir Isaac Newton, mas que não conseguiu encontrar uma explicação que era a igualdade da massa inercial e da massa gravitacional. Também chamado de princípio de equivalência, o que é a gravidade?, o próprio Newton afirmou cuidadosamente, em diversas vezes, que suas leis apenas descreviam os efeitos da gravidade, mas não explicavam o que ela é, nem qual a sua causa.

4.4.1 O princípio de Equivalência

No ano de 1908, Albert Einstein, estava procurando aplicar os princípios de sua mais nova teoria da relatividade à gravitação, ele pode perceber que a mecânica de Newton não explicava a igualdade entre massa inercial e massa gravitacional. Como o próprio Isaac Newton

relata em seu Livro, “Esta lei... da igualdade da massa inercial e da massa gravitacional foi então percebida por mim com todo o seu significado. Fiquei abismado com sua existência e conjecturar que ela deveria conter a chave para uma compreensão mais profunda da inércia e da gravitação”.(NUSSENZVEIG, 2014)

Uma propriedade peculiar que não tem explicação das forças gravitacionais resultante na equação

$$m_g = m_i, \quad (4.29)$$

é fato de elas serem proporcionais à massa inercial dos corpos sobre os quais atuam. Qual outro tipo de força que conhecemos tem essa propriedade? Bom o caminho seria explicar a força gravitacional como sendo uma força de inércia, assim surgem os primeiros fundamentos da teoria da relatividade geral de Einstein.

Sabemos que as forças de inércia podem ser explicadas pela aceleração do referencial em que aparecem, com relação a um referencial inercial. De forma única, um campo gravitacional uniforme g , em um referencial inercial, desaparece num referencial uniformemente acelerado, em que livre nesse campo gravitacional, ou seja, tendo uma aceleração g , relativa ao referencial inercial, o exemplo do elevador em queda livre, Einstein usou esse exemplo para mostrar que, num referencial em queda livre num campo gravitacional uniforme, as leis da mecânica de Newton são as mesmas que num referencial inercial na ausência do campo gravitacional.

Portanto, em uma região suficientemente pequena do espaço, qualquer campo gravitacional pode ser aproximado a um campo uniforme. Mas, isso não é verdade em regiões maiores como, por exemplo, o campo gravitacional pode ser tratado nas proximidades do planeta terra como um campo uniforme, mas variando tanto na direção como na magnitude, isso em relação às dimensões da região claro considerando torna-se comparável ao raio o planeta terra.

Com isso, Einstein generalizou o resultado por anteriormente conforme as leis da mecânica de Newton, onde as leis físicas, formulado o princípio de Equivalência: Num pequeno laboratório, em queda livre num campo gravitacional, as leis físicas são as mesmas que num referencial inercial na ausência do campo gravitacional (“PEQUENO” significa que o campo gravitacional pode ser tomado como uniforme na região em questão). Dessa forma, podemos notar que o efeito do campo gravitacional está temporariamente equivalente ao de uma aceleração local: portanto, a gravidade é parecida com uma força de inércia.

Para ilustrar as implicações do princípio de Equivalência, vamos veja o exemplo abaixo: consideremos um laboratório em queda livre num campo gravitacional uniforme g , e suponhamos que uma fonte de luz F emite um raio luminoso numa direção perpendicular à do

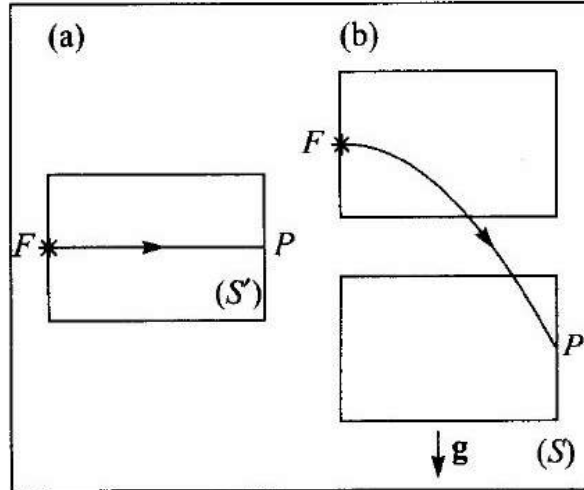


Figura 9: Deflexão gravitacional da luz, fonte: (NUSSENZVEIG, 2013, p.308)

campo. Conforme o princípio de equivalência, a luz deflexionada em linha reta atinge um ponto em relação à parede oposta.

Mas, para um observador no referencial S Logo deve acontecer uma deflexão dos raios luminosos num campo gravitacional.

Ainda nesse contexto, tomando o campo gravitacional da terra, esse efeito é muito pequeno para ser detectado: para um trajeto horizontal de $1km$, o desvio é da ordem de $1\text{\AA} = 10^{-10}m$. Já se tivermos um campo gravitacional mais intenso, como o de uma estrela, tipo o sol, e para trajetos extensos dos raios luminosos, o efeito se torna observável, causando um desvio da posição aparente de uma estrela(em relação às outras estrelas) quando a luz dela proveniente passa perto do sol.

Como foi mostrado anteriormente com relação à igualdade entre massa inercial m_i e massa gravitacional m_g é notável que o campo gravitacional numa pequena região próximo à superfície da terra produz uma mesma aceleração ($-g$) de queda livre em qualquer corpo material, podemos ver isso no experimento que Galileu fez na torre de pisa. Dessa forma podemos escrever a 2ª lei de Newton da seguinte forma:

$$m_i \frac{d^2x}{dt^2} = -m_g g \quad (4.30)$$

onde, no primeiro membro, temos a massa inercial, e segundo membro temos a massa gravitacional. Como $m_i = m_g$, resulta então que $\frac{d^2x}{dt^2} = -g$. Logo, a força gravitacional tem a incrível propriedade de ser proporcional à massa inercial de uma partícula(corpo de teste) sobre a qual atua. Para melhor apresentar imaginamos em um referencial inercial (S) próximo à superfície da terra, e numa região onde campo gravitacional possa ser tratado com uniforme, então da

segunda lei de Newton podemos escrever, para uma partícula de massa m ,

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -mg + F_1 \quad (4.31)$$

onde F_1 Representa forças não-gravitacionais que agem sobre a partícula. Se considerarmos agora outro referencial (S') que se desloca em relação a (S) com movimento retilíneo uniformemente acelerado de aceleração A , vimos que a aceleração da partícula em relação a (S') é, por conta da lei de composição de velocidades de Galileu,

$$\frac{d^2 x'}{dt^2} = \frac{d^2 x}{dt^2} - A \quad (4.32)$$

de modo que a equação (4.31) ficaria da seguinte forma:

$$m \left(\frac{d^2 x'}{dt^2} + A \right) = -mg + F_1 \quad (4.33)$$

desse modo podemos se $A = -g$,

$$m \frac{d^2 x'}{dt^2} = F_1 \quad (4.34)$$

Ou seja, num referencial em queda livre no campo gravitacional ($A = -g$, o chamado elevador de Einstein), desaparecem os efeitos do campo gravitacional sobre a partícula. Esse efeito é idêntico ao que os astronautas em órbita sentem. Da equação (4.34), podemos perceber que S' se comporta como se fosse um referencial inercial na ausência de um campo gravitacional.

Desse modo, as leis da mecânica de Newton na presença de um campo gravitacional $-g$ uniforme são as mesmas que resultam, na ausência do campo, num referencial uniformemente acelerado, com aceleração $-g$: não podemos distinguir entre as duas situações por experiências da mecânica de Newton, generalizando o princípio de Galileu.

Em 1908, Einstein estendeu essa conclusão a todas as leis físicas, formulando o princípio de equivalência: num recinto suficientemente pequeno para que o campo gravitacional dentro dele possa ser tomado como uniforme, em queda livre dentro desse campo, todas as leis físicas são as mesmas que num referencial inercial, na ausência do campo gravitacional”.

Por que a restrição a um “recinto suficientemente pequeno”? Porque, para o campo gravitacional da terra, por exemplo, se tomarmos um recinto de dimensões comparáveis às da Terra ($ABCD$, na figura 10), o campo gravitacional não será mais uniforme nessa escala, e é perfeitamente possível detectá-lo. As trajetórias de dois pontos materiais bem separados, como P_1 e P_2 na figura 10, tendem a aproximar-se uma da outra. De forma análoga, para dois pontos a distâncias bastante diferentes do centro da terra, como P_1 e P_3 , as acelerações serão sensivelmente diferentes. Isto é , usando como “corpo de teste”um par de partículas suficientemente afastadas entre si, é totalmente possível neste caso detectar a existência do campo gravitacional,

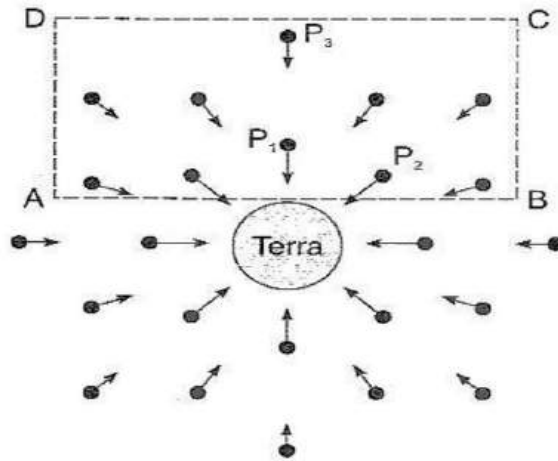


Figura 10: Campo gravitacional da Terra, fonte: (NUSSENZVEIG, 2014)

e não é possível eliminá-lo por uma mudança para um referencial uniformemente acelerado.

Notamos assim que o princípio de equivalência tem de ser aplicado localmente, em pequenos recintos, que chamaremos de referencial localmente inercial. Assumindo isso, ficaremos atentos, mas, o princípio de equivalência nos permite inferir a existência de alguns dos efeitos novos característicos da relatividade geral.

Com esse princípio é possível prever a existência de uma deflexão gravitacional da luz. O resultado previsto por Albert Einstein para a deflexão pelo campo gravitacional do sol foi confirmado pelas observações realizadas em Sobral-Ce, durante o eclipse de 1919, que tiveram grande repercussão.

O Desvio para o Vermelho (Redshift)

Vamos da continuidade ainda considerando um recinto pequeno em queda livre em um campo gravitacional na vizinhança da superfície da terra, com aceleração $-g$, no intervalo de tempo $t_0 = 0$, em que se inicia a queda livre a partir do repouso, é emitido um raio de luz monocromático de frequência ν_0 . Por uma fonte F no chão do certo recinto, verticalmente em direção ao teto, que se encontra em uma altura h do chão, percebe a figura 11, sendo suposto transparente. Como vimos anteriormente pelo princípio de equivalência, a luz chega ao teto no intervalo $t = h/c$, e sua frequência, medida no referencial (S') do recinto em queda livre, continua sendo ν_0 .

Para observador externo, no referencial (S) em que atua o campo gravitacional g , qual é a frequência da luz detectada, no instante em que ela chega ao ponto P , na altura do teto figura 11? Nesse intervalo de tempo, a fonte de luz está-se afastando do observador em (S) com velocidade $V = gt$. Enfim, a frequência da luz medida em (S) terá sofrido um efeito Doppler,

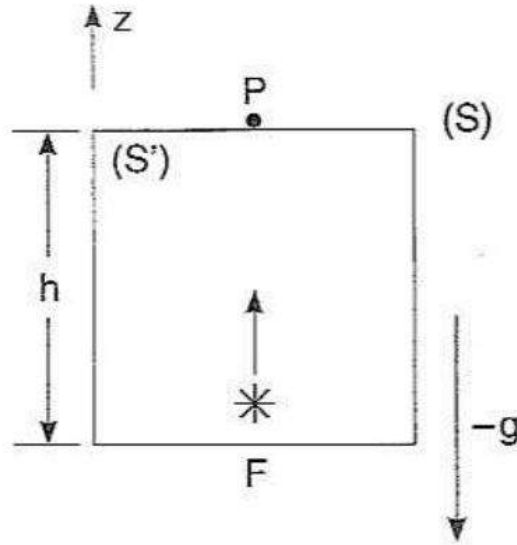


Figura 11: Recinto em queda livre, fonte: (NUSSENZVEIG, 2014)

dado pela seguinte: $V' = V\gamma(V)(1 - \beta \cos \theta)$, com $\theta = 0$.

$$V = V_0(1 - \beta) = v_0 \left(1 - \frac{gt}{c}\right) \quad (4.35)$$

ou, como $t = h/c$,

$$V = V_0 \left(1 - \frac{gh}{c^2}\right) \quad (4.36)$$

e, pelas condições impostas, é $\beta \ll 1$, de modo que tomamos $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2} = 1$. Como $\Delta V = V - V_0 < 0$, vemos que este é desvio para o vermelho. O “desvio percentual” $\Delta V/V_0$ é dado pela diferença de potencial gravitacional gh entre o teto e o chão, dividida pelo quadrado da velocidade da luz.

Se, em vez de estar subindo no campo gravitacional, a luz estivesse “descendo”, por assim dizer, do teto para chão, a fonte estaria aproximando de um observador em (S) ao nível do chão, o desvio seria para azul; correspondentemente, a diferença de energia potencial gravitacional (gh) seria negativa.

Segundo a literatura, o desvio gravitacional foi medido em 1960 por R. V. Pound e G. A. Rebka com raios de $14,4\text{keV}$, caindo de uma altura de $22,6\text{m}$ num tubo onde se havia feito vácuo, o que dá $-gh/c^2 = -2,46 \times 10^{-15}$; a experiência deu $(-2,57 \pm 0,26) \times 10^{-15}$ (precisão de 10%), sendo refinada depois por Pound e Snyder (1964, 650, verificando o resultado com precisão de 1%). O elevado grau de precisão foi possível empregando uma técnica de ressonância, chamado de efeito Mossbauer.(NUSSENZVEIG, 2014, 6.13)

Todavia, foi verificado de forma mais precisa em 1976, novamente por R. Vessot e M. Levine, que compararam a frequência de um relógio atômico(maser de hidrogênio) 0 colocado num foguete, que atingiu uma altitude de aproximadamente 10.000km , com um relógio

idêntico deixado na superfície da terra. O efeito, verificado, teve uma precisão de 7×10^{-5} .

Sabemos que o potencial gravitacional (energia potencial por unidade de massa) é, para o campo $-g$,

$$\phi(z) = gz \quad (4.37)$$

(Campo $-g = -\nabla\phi$), a equação (4.36) podemos escrever:

$$V_P = V_F \left[1 - \left(\frac{\phi_P - \phi_F}{c^2} \right) \right] \quad (4.38)$$

onde os pontos F e P estão indicados na figura 11. Assim, podemos aplicar esses resultados ao potencial gravitacional newtoniano de um corpo de massa M , ficando da seguinte forma:

$$\phi(r) = -\frac{GM}{r} \quad (4.39)$$

onde G é a constante gravitacional e tomaremos o nível 0 de energia potencial no infinito ($\phi_\infty = 0$). Observe que a unidade tempo está definida em termos de período $\Delta t = 1/V$ da luz emitida por um átomo, confira a equação (4.38) mostra então que relação entre intervalos de tempo medidos por relógio à distância r do corpo é um relógio idêntico no infinito será:

$$\Delta t(r) = \Delta t_\infty \left(1 - \frac{GM}{rc^2} \right) = \Delta t_\infty \left(1 + \frac{\phi(x)}{c^2} \right) \quad (4.40)$$

Portanto, o campo gravitacional afeta a marcha de um relógio: o relógio, no campo gravitacional, marca o tempo mais lentamente, de modo que luz emitida na sua vizinhança chegar avermelhada ao infinito, onde não há campo gravitacional.

O paradoxo dos Gêmeos

Vamos agora imaginar os gêmeos Albert e Kalel, podemos representar como “A” e “K”, são gêmeos. Albert “A” irá permanecer no planeta terra, enquanto Kalel “K”, viajar em uma nave para uma estrela situada a 20 anos-luz do planeta terra, viajando a uma velocidade V tal que podemos escrever $V/c = \beta = 3/5$; o fator de dilatação temporal é $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2} = 5/4$. chegando à estrela, K volta para o planeta terra à mesma velocidade ($\beta = -3/5$). Para A, a viagem de K durou $2 \times \frac{15}{3/5} = 50$ anos, ao passo que para K durou apenas $4/5 \times 50 = 40$ anos. Ainda nesse contexto, para Kalel, é Albert que deslocou em relação a ele com $\beta = \pm 3/5$, e K pode afirmar que a dilatação temporal ocorreu para A, de modo que, segundo K, devemos ter decorrido apenas $4/5 \times 40 = 32$ anos para Albert. Quem tem razão? Albert é 10 anos mais velho ou 8 anos mais novo que Kalel, quando ele retorna? Tomando o referencial de Albert como sendo a terra seja inercial, é Albert que tem razão. O referencial de Kalel sendo a nave não é inercial, porque tem de ir e voltar: a nave precisa desacelerar chegando a estrela e acelerar de novo para voltar ao planeta terra; estas acelerações são muito grandes, porque tem de ter

como efeito a passagem de $\beta = 3/5$ para $\beta = -3/5$. No referencial acelerado da nave, como num campo gravitacional, o tempo passa de forma mais lenta, e é por isso que Kalel está mais novo do que Albert, ao voltar.

A Curvatura do Espaço-Tempo

Como base na equação (4.40), um intervalo de tempo infinitesimal dt num ponto x , próximo de um campo gravitacional com um potencial $\phi(x)$, que tem relação com o intervalo tem dt_∞ correspondente no referencial localmente inercial em queda livre em x , no qual o campo gravitacional está ausente, por

$$dt(x) = dt_\infty \left(1 + \frac{\phi(x)}{c^2} \right) \quad (4.41)$$

Assim, podemos escrever a energia potencial de uma massa m no campo, dada por $m\phi(x)$, é geralmente, claro isso excluindo campo gravitacional com grande intensidade, uma fração muito pequena da energia total mc^2 , de forma que

$$m \left| \frac{\phi(x)}{mc^2} \right| = \left| \frac{\phi(x)}{c^2} \right| \ll 1 \quad (4.42)$$

o que vem

$$dt^2 \approx dt_\infty^2 \left(1 + \frac{2\phi(x)}{c^2} \right) \quad (4.43)$$

Em um recinto localmente inercial em queda livre, o quadrado de um intervalo infinitesimal de espaço-tempo, que define a métrica do espaço-tempo, é dado pela equação: $(\Delta s)^2 = (\Delta X)^2 - (c\Delta t)^2 \equiv -c^2(\Delta \tau)^2$, como base nessa equação podemos escrever:

$$(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2 - c^2(dt)^2, \quad (4.44)$$

a qual é chamada de métrica de Minkowski da relatividade especial.

Todavia, num referencial onde existem um campo gravitacional, temos que substituir $(dt)^2$, pela equação (4.43), o que dá

$$(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2 - c^2(dt)^2 \left(1 + \frac{2\phi(x)}{c^2} \right) \quad (4.45)$$

Ou seja, a presença de um campo gravitacional modifica a métrica, em outras palavras a geometria do espaço-tempo.

Ainda nesse contexto exploraremos um exemplo de que essa modificação causada pelo campo gravitacional não se restringe apenas a componente temporal. Um bom exemplo para vermos que afeta também a parte espacial, basta considerarmos o seguinte exemplo de uma plataforma giratória: Consideremos um disco de raio r em rotação, com velocidade angular ω ,

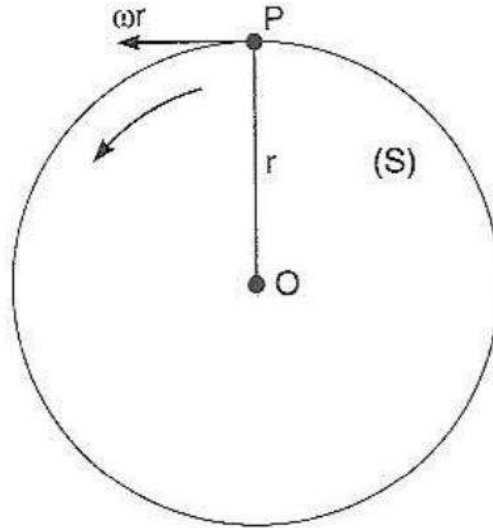


Figura 12: Plataforma girante, fonte: (NUSSENZVEIG, 2014)

segundo a figura 12, em torno de um eixo perpendicular ao plano da figura. Supomos $\omega r \ll c$, mas ainda assim suficientemente grande para que efeitos relativísticos não sejam desprezíveis. Imaginemos que se meça o raio do disco alinhando ao longo do segmento $\overline{OP}$ (régua) de uma unidade de comprimento em contato entre si; o resultado são r régua. Se fizermos o mesmo ao longo da circunferência do disco, e o resultado são C régua, sabemos que, com o disco em repouso num referencial inercial,

$$\frac{C}{r} = 2\pi \quad (4.46)$$

Mas, quando o disco está em rotação com velocidade angular ω , o comprimento das régua ao longo do raio, transportadas numa direção perpendicular à velocidade, não muda (r , não se alteram), mas que estão alinhadas ao longo da periferia (transportadas na direção da velocidade) sofrem contração de Lorentz. Logo, é preciso alinhar um número $C' > C$ de unidade para cobrir toda a periferia, o que implica.

$$\frac{C'}{r} > 2\pi \quad (4.47)$$

Concluimos que, num disco em rotação, deixa de valer a geometria euclidiana. Por outro lado, pelo princípio de equivalência, no dado referencial inercial (S) do disco, assumindo o repouso para esse referencial, existe um “campo gravitacional”, em outros termos, campos de forças centrífugas e de Coriolis. Logo, a presença de um campo gravitacional deve afetar a geometria tanto espacialmente quanto temporalmente do espaço-tempo.

A geometria torna-se não-euclidiana (Geometria “Física”). Isso implica a curvatura no espaço-tempo. Ilustrarmos melhor o conceito de curvatura, é normal considerarmos um espaço bidimensionalmente, ou seja, uma superfície.

4.5 A Solução de Schwarzschild

Podemos exemplificar o problema mais trivial com relação à solução de Schwarzschild, que seria o do campo gravitacional central de uma partícula de massa M em repouso (no movimento planetário, seria o sol). É bem usual que nesse caso, tomaremos a origem da partícula e adotaremos as coordenadas esféricas (r, θ, φ) . Então a grande distância da partícula ($r \rightarrow \infty$), onde esperamos que o campo gravitacional tenda a zero e que métrica do espaço-tempo seja, portanto, a de Minkowski,

$$(ds)_{\infty}^2 = (dr)_{\infty}^2 + (rd\theta)_{\infty}^2 + (r \sin \theta d\varphi)_{\infty}^2 - (cdt)_{\infty}^2 \quad (4.48)$$

Com a presença da massa M deve alterar a métrica da distância finita, introduzindo curvatura no espaço-tempo. Admitindo um problema estático, os coeficientes da métrica devem ser independentes do tempo, e, pela simetria esférica, não devem depender das coordenadas $(\theta$ e $\varphi)$. Do mesmo modo, a métrica nessas variáveis angulares não deve ser alterada. Conclui-se que a métrica seja da forma

$$(ds)^2 = a(r)(dr)^2 + (rd\theta)^2 + (r \sin \theta d\varphi)^2 - b(r)(cdt)^2 \quad (4.49)$$

De forma que $a(r)$ e $b(r)$ são funções a determinar, resolvendo as equações de Einstein para campo gravitacional da Teoria da Relatividade Geral. Um argumento forte de modo que para $b(r)$ resulte da equação (4.44). O caráter estático da métrica implica que a sincronização dos relógios em posições diferentes (mediante sinais luminosos) não deve variar com o tempo. Mas, pela equações (4.40) e (4.44), a presença do campo gravitacional afeta a passagem do tempo nos relógios, diferentemente conforme a posição.

Para garantir a sincronia e o caráter estático do espaço-tempo, é necessário, portanto, fazer uma correção no coeficiente de $(cdt)^2$ por um fator que compense a equação (4.44), o que daria

$$b(r) = 1 - \frac{2GM}{c^2 r} \quad (4.50)$$

Segundo a literatura, em 1916, Schwarzschild obteve uma solução exata das equações de Einstein da Relatividade Geral, com essa forma (NUSSENZVEIG, 2014, p. 235). O resultado para $a(r)$ é o inverso de $b(r)$, como na relação entre a dilatação de Lorentz temporal e contração espacial, dando a solução de Schwarzschild:

$$(ds)^2 = \frac{(dr)^2}{1 - \frac{r_s}{r}} + r^2(d\theta)^2 + (r \sin \theta d\varphi)^2 - \left(1 - \frac{r_s}{r}\right) (cdt)^2 \quad (4.51)$$

dessa forma podemos escrever r_s :

$$r_s = \frac{2GM}{c^2} \quad (4.52)$$

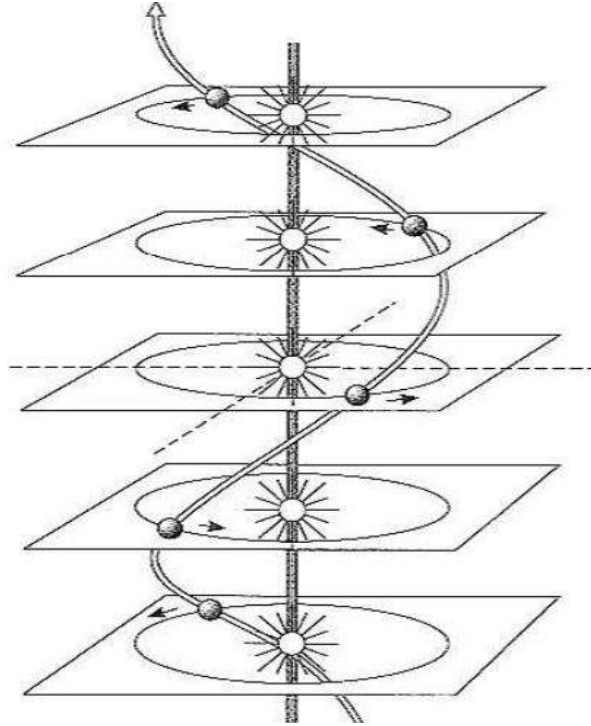


Figura 13: Linha de Universo de um Planeta em torno do Sol, fonte: (NUSSENZVEIG, 2014)

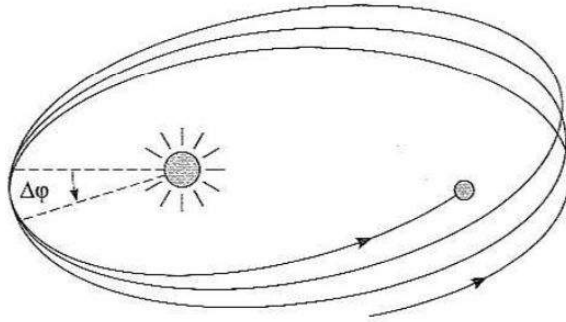


Figura 14: Precessão do Periélio, fonte:(NUSSENZVEIG, 2014)

Também conhecido como Raio de Schwarzschild a massa M . para $r \rightarrow \infty$, a equação (4.51) tende a equação (4.48).

Por outro lado, se interpretarmos M como sendo a massa do sol, a linha de universo de um planeta seria uma geodésica no espaço-tempo com a métrica de Schwarzschild, confira a figura 13. O cálculo mostra que a órbita não é mais elipse newtoniana. Observaremos que ela não é fechada: é, em geral, uma rosácea confira na figura , correspondendo a uma precessão do periélio.

Conforme a Mecânica de Newton, ocorre uma precessão quando consideramos a presença dos demais planetas, como uma perturbação do problema de dois corpos. Porém, havia uma pequena discrepância entre a precessão calculada pela mecânica newtoniana e a precessão observada.

Segundo a literatura , o valor dessa discrepância para o planeta Mercúrio é de

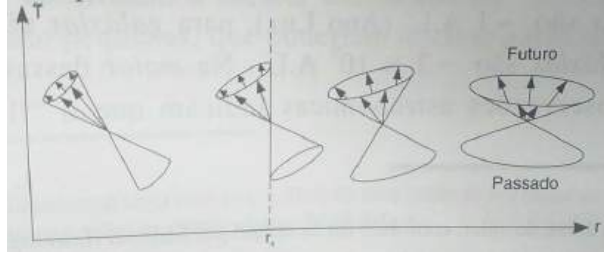


Figura 15: Cone de luz na vizinhança do rio de Schwarzschild, fonte: (NUSSENZVEIG, 2014)

$43,11 \pm 0,45''$ (segundos de arco) por século. A relatividade geral, calculando as órbitas como geodésicas na métrica de Schwarzschild, prediz para este desvio o valor $42,03''$ por século, em excelente acordo com a experiência. Também se pode empregar a métrica de Schwarzschild para obter a trajetória de um raio luminoso no campo gravitacional da massa M . Isso dá valor numérico da deflexão gravitacional da luz. Para luz que passa próxima do sol, encontra-se uma deflexão $\Delta\varphi = 1,75''$.

Para medir essa deflexão, é preciso comparar a posição aparente de uma estrela noturno com a posição quando vista no céu, próxima do sol, o que só pode ser feito durante um eclipse solar ... O valor médio observado é de $1,89''$, mas os erros de observação são grandes. Por outro lado, confirmamos que o **Quasar 3C279**, fonte intensa e radio, é ocultado pelo sol uma vez por ano, permitindo que se meça a deflexão gravitacional com precisão bem maior. O resultado é $1,73'' \pm 0,05$, em excelente acordo com a predição da Relatividade Geral (NUSSENZVEIG, 2014, p.237).

Buracos negros

Trazendo como completo segundo a literatura sobre buracos negros, podemos observar da seguinte forma, O coeficiente de (dr^2) na métrica de Schwarzschild vista na equação (4.51) tem uma singularidade onde tende ao infinito para $r = r_s$ (raio de Schwarzschild). Para $M = 2 \times 10^{30}kg$ (massa do sol), com $G = 6,67 \times 10^{-11}N.m^2/kg^2$ e $c = 3 \times 10^8m/s$, encontramos um $r_s = 3km$. Em 1939, J. R. Oppenheimer e H. Snyder estudaram o que acontece na evolução de uma estrela quando ela atinge a etapa final, em que todo o seu combustível nuclear acaba.

Não há mais como produzir o calor e a pressão necessária para contrabalançar a força gravitacional, assim ela pode entrar em colapso gravitacional. Para um objeto de massa maior que triplo da massa do sol, resulta então que ele entre em colapso gravitacional: seu raio vai diminuindo até atingir r_s , e tornar-se menor que r_s . Que acontece para $r < r_s$?, vejamos a seguir

Podemos observar que nenhuma partícula pode estar em repouso para essa condição: $r < r_s$. Com efeito, a linha de universo de uma partícula só pode ser formada de intervalos do

“gênero tempo” situados dentro do seu cone de luz em casa ponto. Assim, se existisse uma partícula em repouso, seria $dr = d\theta = d\varphi = 0$ ao longo de sua linha de universo, que daria, pela equação (4.51),

$$(ds)^2 = - \left(1 - \frac{r_s}{r}\right) (cdt)^2 > 0 \quad \text{para } r < r_s \quad (4.53)$$

o que é impossível.

Então podemos concluir que, qualquer partícula com $r < r_s$ continua colapsando para o centro: formando um buraco negro, assim chamado porque a própria luz é capturada pela atração gravitacional intensa, não podendo dela escapar da região interna. Veja o que acontece com cone de luz ao penetrar em um buraco negro está ilustrado na figura 15. Na região externa $r > r_s$, porém, o campo gravitacional do buraco negro continua atuando.

O impacto da Relatividade na Física

“ O grande feito da Teoria de Einstein foi a relativização e a objetivação dos conceitos de Espaço e Tempo”.

(Max Born)

Com a Relatividade de Einstein, surge uma nova visão de mundo, em termo alemão, uma nova Weltanschauung Conjunto ordenado de valores, impressões, sentimentos e concepções de natureza intuitiva, em outras palavras uma cosmovisão), para empregar esse termo em alemão que consagra essa teoria. O espaço no qual se medem distâncias e o tempo, qualificando com os relógios, não são mais nem absolutos, nem independentes. Assume agora uma variedade a quatro dimensões que chamamos de Espaço-tempo. Portanto, as medidas espaciais e temporais dependem, essencialmente, como foi visto anteriormente nos tópicos anteriores no texto, das condições de movimento dos observadores. Nesse contexto de Weltanschauung, é inegável a dupla contribuição de Albert Einstein, efetuando uma profunda crítica do conceito de tempo, tomando a teoria de Maxwell com paradigma de teoria física, em contrapartida, da teoria de Sir. Isaac Newton a mecânica. Einstein atribui, assim, ao princípio da relatividade um caráter mais universal, fazendo uma extensão dos fenômenos eletromagnéticos e ainda mais tarde à gravitação. Para isso Einstein fez em três etapas:

1. Faz a formulação da Relatividade Especial, de 1905, na qual considerou apenas os movimentos retilíneos e uniformes;
2. A formulação da Relatividade Geral, de 1916, quando ele faz a extensão do princípio dos movimentos acelerados, do que resulta a uma nova Teoria de Gravitação e a base Teórica de uma Cosmologia científica;

3. Ainda faz a formulação da Teoria do campo Unificado, 1950, com a qual estende as ideias da Relatividade Geral ao Eletromagnetismo, uma espécie de fechamento de ciclo científico.

Um adendo histórico sobre a Relatividade Geral, a primeira evidência experimental relevante da Teoria deu-se em 29 de maio de 1919, com a observação da deflexão do raio de luz emitida por estrelas distantes, causado pelo campo gravitacional do sol. Tal observação ocorreu em uma missão científica internacional no Brasil, na cidade de Sobral, no Ceará, e em outra ilha de Príncipe. (CARUSO; OGURI, 2006)

5 PRODUTO EDUCACIONAL E APLICAÇÃO

Neste capítulo, apresentaremos um Produto Educacional que consiste em uma ferramenta didática pedagógica para o ensino de Física de forma mais direta, especificamente no que diz respeito ao ensino da Relatividade no nível médio, de maneira lúdica e gamificada. Além disso, exploraremos a natureza da pesquisa qualitativa, utilizando um jogo de tabuleiro para potencializar o ensino de física nas escolas do nosso país. Dessa forma, esperamos que tais estudos possam promover uma aprendizagem ativa e significativa ao longo do processo de ensino e aprendizagem.

5.1 Natureza da Pesquisa

Esse trabalho tem uma natureza qualitativa, por apresentar um jogo didático-pedagógico no formato de tabuleiro de mesa com o propósito de aprimorar o ensino de física. Essa ferramenta tem em vista melhorar a abordagem da teoria da “Relatividade” no ensino médio.

No contexto desse trabalho, os estudantes responderam a dois questionários relacionados à teoria da relatividade. Esses questionários foram projetados para avaliar o quanto os estudantes conseguiram absorver da atividade durante a aplicação da sequência de ensino e a utilização do jogo.

O primeiro questionário aborda perguntas sobre a relatividade especial e alguns aspectos da relatividade geral. Os estudantes responderam abertamente, expressando suas opiniões e entendimentos sobre o assunto.

Já o segundo questionário explora a teoria da relatividade no contexto do jogo, destacando os conceitos e aspectos aprendidos em sala de aula. O objetivo é verificar como os estudantes aplicam esses conhecimentos durante o jogo.

Essa abordagem qualitativa permite uma análise mais aprofundada das respostas dos estudantes, considerando suas percepções e compreensão da teoria da relatividade. O objetivo final é utilizar os resultados obtidos para aprimorar o ensino dessa matéria e proporcionar uma experiência mais enriquecedora aos alunos.

Isso nos permite compartilhar o pensamento de (DANTAS, 2011, p. 26) ao afirmar que a abordagem qualitativa se torna ainda mais importante quando “o pesquisador é o próprio professor investigando sua prática, estando comprometido com o processo de ensino e aprendizagem de sua turma e buscando inovar sua prática com ênfase em novas metodologias”.

A pesquisa qualitativa no ensino de Física é uma abordagem que compreende e interpreta os fenômenos e processos que ocorrem no contexto do ensino e aprendizagem dessa

disciplina. Diferentemente da pesquisa quantitativa, que se baseia em dados numéricos e estatísticas, a pesquisa qualitativa se concentra em explorar e descrever as experiências, percepções e significados atribuídos pelos indivíduos envolvidos no processo educacional.

Segundo (ZANETTE, 2017), os avanços da produção científica das pesquisas qualitativas vêm se desvelando de forma diversificada nas pós-graduações, seja em termos de fundamentação teórica/epistemológica e reflexões metodológicas, seja em termo da aplicabilidade de procedimentos técnicos para investigar o objeto nas diversas áreas acadêmicas em Educação.

5.2 Descrição do Produto Educacional

O produto educacional planeja dar uma visão geral da teoria da Relatividade com base em um jogo de tabuleiro (*Boardgame*), onde tem como base teórica da física a Teoria da Relatividade proposta por Albert Einstein, com o intuito de potencializar o ensino de física moderna, mas precisamente a relatividade no ensino básico. É notável que o professor tenha sempre em mente qual é a pretensão desse material, pois a trabalhos referentes a essa temática são inúmeros e em um produto educacional como esse não é possível fazer mais do que focar alguns aspectos dessa teoria, levando aos estudantes um pouco da Física Moderna interativamente e lúdica, podendo assim ajudar em um melhor entendimento da física.

Objetivo do Produto

O jogo apresentado neste trabalho foi desenvolvido visando possibilitar o ensino da física moderna desde as séries iniciais, promovendo uma abordagem lúdica e significativa que potencialize a aprendizagem dos estudantes. Por meio desse jogo, os estudantes terão a oportunidade de compreender os aspectos da Teoria da Relatividade e suas aplicações no mundo ao seu redor.

A proposta é que os estudantes aprendam de forma crítica e significativa os tópicos abordados, possibilitando reflexões e conexões com o contexto atual e as novas tecnologias e descobertas da física. Dessa forma, o jogo pode auxiliar os estudantes a refletir e problematizar diversos conceitos estudados na física moderna, especialmente Dilatação Temporal, Gravidade como Curvatura do Espaço-Tempo, presente na Teoria da Relatividade.

Descrição do jogo

O jogo Gravitation, que significa “gravitação” em português, é um jogo de tabuleiro de mesa inspirado no filme “Interestelar” de 2014, sendo uma ficção científica/aventura (NOLAN,). No jogo, o planeta Terra está enfrentando escassez de recursos essenciais como: água,

gás e minerais para a produção de alimentos. A missão dos jogadores é explorar o cosmos para coletar esses recursos e auxiliar os habitantes da Terra.



Figura 16: (a) Tabuleiro mais peças do jogo, (Elaborada pelo autor, 2023). (b) Tabuleiro, peças, naves espaciais do jogo, (Elaborada pelo autor, 2023).

A exploração ocorre mediante quatro naves espaciais que partem do planeta Terra em uma viagem interestelar, saindo de um buraco de minhoca. O destino das naves são dois sistemas planetários que possuem características semelhantes ao nosso sistema solar. Cada jogador assume o controle de uma nave espacial durante o jogo.

O objetivo do jogo Gravitation é realizar uma viagem interestelar saindo de um buraco de minhoca do planeta Terra e retornar com recursos em menor tempo possível. Para alcançar a vitória ou até mesmo um empate, os jogadores devem cumprir esse objetivo.

No entanto, a passagem do tempo é um fator importante a ser considerado. Durante a viagem, as naves estarão próximas a campos gravitacionais com diferentes intensidades. Conforme a Teoria da Relatividade Geral de Einstein, o tempo pode passar de forma diferente quando estamos sob a influência de um campo gravitacional intenso. Quanto mais próximos de objetos massivos, maior pode ser a dilatação temporal.

Além disso, as naves precisam explorar e coletar recursos como parte da missão. O objetivo é retornar ao planeta Terra com um total de 3 unidades de cada recurso. No entanto, cada nave possui um contêiner que comporta apenas 9 recursos. Durante todo o processo, o tempo está fluindo contado por um contador de tempo localizado na Terra. Esse contador de tempo é impresso em uma lona, como mostrado na figura 17 do jogo. Os jogadores devem garantir que suas naves retornem ao planeta Terra em menos tempo do que o tempo que está sendo contado no contador de tempo da Terra.

Existem dois sistemas planetários, cada um com seu dominante gravitacional. No primeiro sistema, encontramos uma estrela supermassiva, ao redor da qual orbitam dois planetas com características bem definidas. Já no segundo sistema, temos um Buraco Negro, e ao



Figura 17: Contador de tempo na terra (marcadores do tempo), (Elaborada pelo autor, 2023).

seu redor orbitam três planetas com as características: Rochoso, Gasoso e Planeta gelado. É importante destacar que cada jogador possui duas ações durante seu turno.

No que diz respeito às ações de cada jogador durante a partida, existem diferentes opções. Eles podem navegar pelo tabuleiro movendo-se duas zonas ou mover uma zona e realizar uma exploração no planeta. Além disso, cada jogador pode realizar até duas explorações planetárias por turno, caso esteja no planeta em questão. Para a mineração ser bem-sucedida, o jogador deve lançar um dado de seis faces. O resultado da exploração é analisado de acordo com uma tabela de dificuldades, conforme mostrado na figura 18(a) do texto. Se o jogador obtiver um resultado compatível com a tabela de dificuldades, ele realiza a exploração. Caso contrário, a exploração não é realizada. Mais adiante no texto, será apresentada a tabela de dificuldades (figura 18(a)) de exploração em cada zona ou planeta específico.

• Instruções e Regras do Jogo:

1. O jogo pode ser jogado por até 4 jogadores.
2. Cada jogador tem até duas ações por turno.
3. Ação moveu-se em duas zonas no tabuleiro.
4. Ação permite realizar uma exploração de recursos em um planeta.
5. É importante lembrar que o jogo possui um objetivo, que será apresentado posteriormente.



Figura 18: (a) Tabela de exploração de Recursos (com suas respectivas dificuldades em cada sistema), (Elaborada pelo autor, 2023).;(b) Planetas, Estrela, Buraco negro, naves e recursos, peças em geral, (Elaborada pelo autor, 2023).

6. Um dos jogadores deve ficar responsável por marcar o tempo que passa na Terra, utilizando o marcador de tempo apresentado na figura 17.
7. O último jogador da rodada deve realizar as translações dos planetas em suas respectivas órbitas.

Objetivo do Jogo: O objetivo do jogo é fazer uma viagem interestelar pelo cosmo, saindo de um buraco de minhoca vindo do planeta Terra e retornando com recursos em menor tempo possível. **Regras Básicas e Instruções:**

1. **Tabuleiro:** O tabuleiro é composto por um buraco negro, três buracos de minhoca e uma estrela supermassiva. Orbitando a estrela e buraco negro, há cinco planetas em seus respectivos sistemas, cada um com características rochosas, geladas ou gasosas.
2. **Naves:** Para esta missão, existem quatro naves de cores diferentes, todas com o mesmo objetivo: explorar os recursos dos planetas em menor tempo possível em relação à Terra. Cada nave precisa voltar com um total de 3 unidades de cada recurso, sendo que cada nave possui um contêiner que comporta apenas 9 recursos.
3. **Recursos:** Os recursos disponíveis para exploração são minerais, água e gás.
4. **Dificuldade de Exploração:** A dificuldade de exploração em cada planeta varia de acordo com uma tabela disponível para cada jogador. Será lançado um dado D6 para verificar se a exploração do recurso é bem sucedida ou não.
5. **Ações por Turno:** Cada jogador tem direito a realizar duas ações por turno. É importante destacar que o tempo passará, mesmo que o jogador não realize nenhuma movimentação no tabuleiro. O tempo será contado segundo a zona onde o jogador está localizado.

6. Ações por Jogador: Cada jogador pode escolher entre mover-se em até duas zonas do tabuleiro ou coletar 2 vezes o recurso. Caso esteja em um planeta, o jogador pode optar por mover-se em apenas uma zona ou coletar o recurso uma vez. Para cada movimento nas zonas de cor azul do tabuleiro, o jogador receberá um marcador de tempo (1 unidade de tempo).
7. Órbitas: Os planetas estão em órbitas representadas pelas cores amarelo, laranja e vermelho. O tempo passa de forma diferente em cada cor, devido à influência da gravitação do corpo dominante do sistema, conforme previsto pela Teoria da Relatividade Geral. Para cada ação realizada ou mesmo que o jogador não se mova na zona em que está localizado, passará um intervalo de tempo: cor azul: 1 unidade de tempo; cor amarela: 1,2 unidades de tempo; cor laranja: 1,4 unidades de tempo; cor vermelha: 1,6 unidades de tempo.
8. Buracos de Minhoca: Caso a nave entre em um buraco de minhoca atravessável com sinalização verde, a passagem do tempo será de 1,8 unidades.
9. Vitória: A nave que chegar de volta à Terra em menor tempo, marcado pelo contador, e com 3 unidades de cada recurso em seu contêiner.
10. Empate: Caso as naves cheguem à Terra com tempos iguais e com 3 unidades de cada recurso, ocorrerá um empate no jogo.
11. Exploração de Recursos: Caso o jogador queira explorar algum recurso, ele precisa anunciar antes qual recurso planeja explorar/minerar e, somente depois, fazer o lançamento do dado D6 para determinar se a exploração foi bem sucedida ou não.
12. Translação dos Planetas: O último jogador terá a responsabilidade de movimentar os planetas no tabuleiro.

5.3 Aplicação do Produto

A metodologia utilizada para a aplicação deste produto educacional foi uma metodologia ativa, que visa colocar o estudante como protagonista de seu próprio aprendizado durante o processo de ensino e aprendizagem. Essa abordagem foi amplamente explorada por meio do uso de um jogo de tabuleiro como ferramenta didática em uma parte da sequência de ensino. A sequência de ensino adotada foi a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), que consiste em uma série de encontros educativos visando ensinar conceitos de relatividade, utilizando o jogo como uma ferramenta que potencializa o ensino.

No que diz respeito à sequência de UEPS, ela foi estruturada com o intuito de ensinar aspectos da relatividade especial e geral, abordando conceitos como dilatação temporal,

gravidade como curvatura do espaço-tempo, além da ideia de buracos negros e buracos de minhoca. Quanto aos encontros da sequência de ensino, abordaremos isso em maior detalhe no próximo tópico, 5.4 Processo de Intervenção.

O público-alvo deste projeto foi uma turma do 3º ano do ensino médio da Escola Estadual Wilson Gonçalves, localizada no município de Crato, Ceará. A turma foi selecionada e preparada para participar deste processo, sendo composta por 20 estudantes.

Para iniciar o processo de ensino da relatividade sob a perspectiva de um jogo de tabuleiro, também conhecido como *Boardgame*, foi necessário elaborar uma sequência de encontros, como mencionado anteriormente. Essa sequência foi composta por 8 encontros, cada um com aproximadamente 2 aulas de 50 minutos cada. Durante esses encontros, foram realizadas diversas atividades educacionais, incluindo aulas expositivas sobre o tema, aulas dialogadas, leitura de textos e exibição de conteúdos audiovisuais, como documentários relacionados ao assunto, entre outras atividades.

“A sequência de Ensino” foi composta por diferentes momentos: Situação Inicial, Situação-Problema, Revisão, Ampliação do Conhecimento, Avaliação Somativa Individual e Aula Exposição Dialogada Integradora Final. Essa sequência foi organizada seguindo um cronograma detalhado, que será abordado mais adiante no tópico 5.4. É importante ressaltar que a sequência foi fundamental para complementar a metodologia ativa utilizada, baseada na teoria da aprendizagem significativa. O objetivo principal foi ensinar o conteúdo de forma que ele se tornasse significativo para os estudantes, promovendo uma maior compreensão e engajamento.”

5.4 Processo de Intervenção na Escola

No que tange o processo de intervenção do produto educacional, como foi mencionado anteriormente, utilizamos uma sequência de ensino para melhor ensinar a matéria introdução a relatividade, utilizando uma ferramenta didática pedagógica como suporte, fazendo parte da sequência, um jogo de tabuleiro de mesa *Boardgame*.

Para a realização da aplicação do produto educacional, é necessário realizar uma etapa chamada de “preparação da turma”. Essa etapa é importante, pois, iremos organizar a turma em grupos de 5 estudantes para aplicar o jogo em um momento da sequência de ensino potencialmente significativa-UEPS. Essa sequência será composta por vários encontros, que ajudarão a organizar os conteúdos abordados e facilitarão o entendimento da Teoria da Relatividade de Einstein, assim auxiliando os estudantes a sintetizar melhor o conteúdo e aprender de uma forma lúdica os conceitos físicos que estão presente no jogo explicado pela teoria da relatividade. Apresentamos a sequência a seguir:

Sequência de Ensino Potencialmente Significativa-UEPS, Proposta: Ensino de Relatividade

OBJETIVOS GERAIS:

- Potencializar o entendimento da Teoria da Relatividade no ensino médio, utilizando um jogo de tabuleiro de mesa (*Boardgame*) como recurso didático educacional.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Aplicar a sequência de Ensino de Relatividade: Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS).
- Ensinar os conceitos da Relatividade especial e geral no ensino básico, utilizando um jogo de tabuleiro (*Boardgame*) como ferramenta didática.

PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DE RELATIVIDADE:

- **Situação Inicial:** Na primeira etapa, introduziremos a Teoria da Relatividade mediante aulas expositivas com slides. Serão abordados conceitos iniciais e um pouco da história relacionada ao tema. Em seguida, será exibido um documentário sobre o físico Albert Einstein, o qual explora a criação da teoria da relatividade. Para acessar o documentário, utilize o seguinte endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=UnSA27a00To>,. Esse momento audiovisual ocupará aproximadamente duas a três aulas.
- **Situação-Problema:** Nessa etapa, utilizaremos o quadro para escrever perguntas relacionadas ao tema. Alguns exemplos de perguntas incluem: o que é velocidade? O tempo é relativo? O que é o espaço? O que é espaço-tempo? Qual o conceito de gravidade? Essas perguntas serão discutidas em sala de aula, incentivando a participação dos alunos. O objetivo é retomar a discussão coletivamente como grupo, sem a necessidade de fornecer respostas para todas as perguntas de imediato. Além disso, serão distribuídos textos de apoio para leitura, e os alunos serão solicitados a fazer um pequeno resumo em tópicos sobre os temas abordados, relacionando-os com os textos. Durante essa etapa, os estudantes também realizarão um questionário diagnóstico 01 sobre o conteúdo apresentado até o momento. Essa fase ocupará aproximadamente duas a três aulas.
- **Revisão:** Iniciaremos com uma aula dialogada de revisão, na qual recapitulamos o conteúdo abordado nos textos de apoio. Essa etapa será dividida em até duas aulas.
- **Ampliando o conhecimento:** apresentaremos um produto educacional: um jogo de tabuleiro, mais especificamente um *Boardgame*. Esse jogo está diretamente relacionado ao

tema central da sequência, o qual é o ensino da relatividade no ensino médio. O Produto Educacional como ferramenta didática: O jogo Boardgame é uma aventura exploratória que pode ser jogada por até 4 estudantes. O objetivo do jogo é explorar diferentes planetas com características semelhantes ao nosso planeta, em busca de recursos como minerais, água e gás. Durante essa etapa, os estudantes também responderão a um segundo questionário diagnóstico, abordando aspectos vistos durante a aplicação do jogo. Essa etapa ocupará até quatro aulas.

- **Avaliação somativa individual:** será realizada uma avaliação composta por dois questionários abertos sobre os aspectos da teoria da relatividade e sobre os aspectos da teoria abordados no jogo. Cada questionário será composto por 7 questões dissertativas.
- **Aula expositiva dialogada integradora final:** nesta parte, faremos uma revisão completa de todo o conteúdo trabalhado na Unidade de Ensino Potencialmente Significativo-UEPS, destacando pontos importantes e realizando uma breve revisão dos materiais, vídeos e textos em PDF. Essa exposição dialogada ocorreu em sala de aula, junto aos estudantes. Essa parte da UEPS poderá ocupar até duas aulas.
- **Avaliação da aprendizagem na UEPS:** Essa avaliação será baseada nas atividades solicitadas pelo professor, como resumos e questionários. É importante destacar a participação do estudante durante todo o desenvolvimento das atividades.
- **Avaliação da própria UEPS:** Com base nos resultados das avaliações realizadas pelos estudantes, o professor deverá analisar e chegar a uma conclusão sobre a efetividade da aprendizagem. Caso seja necessário, poderá ser feita a reformulação de alguma atividade na UEPS.

Total de Horas-Aulas: A sequência de ensino e aprendizagem terá uma carga horária de 10 a 16 horas, considerando todas as etapas e avaliações mencionadas anteriormente.

Cronograma da Sequência de Ensino de Física

(Aulas de 50 min)

(Encontros com 2 aulas)

Situação Inicial
Encontro 1. Apresentação do cronograma da sequência e uma breve introdução à Teoria da Relatividade, destacando conceitos importantes. Serão disponibilizados textos de apoio para leitura, antecipando o conteúdo das próximas aulas. (organizador prévio).
Encontro 2. Exibição de um documentário (audiovisual) sobre o físico Albert Einstein e a Teoria da Relatividade. O documentário estará disponível no canal do YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=UnSA27a00To, Cezar de Melo.
Encontro 3. Continuação da exibição do documentário (audiovisual) sobre o físico Albert Einstein. O documentário também estará disponível no canal do YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=UnSA27a00To, Cezar de Melo.
Ampliando o conhecimento
Encontro 4. Aula dialogada: Discussão sobre o que foi visto no documentário, para responder às principais perguntas relacionadas à teoria. Será proposta uma atividade em que os estudantes deverão elaborar um resumo por tópicos sobre os conteúdos abordados nos últimos encontros, destacando a importância da teoria. (Obs.: O resumo deverá ser entregue na próxima aula).
Encontro 5. Aula expositiva: Nessa etapa, serão apresentadas aos estudantes algumas aplicações da teoria da relatividade nas tecnologias atuais. Será uma aula sobre uso de slides e vídeos de experimentos explicando a teoria. • Atividade Proposta: questionário 01 diagnóstico(Enfatizando conceitos da teoria da Relatividade).

Encontro 6. Aplicação do Jogo: Nesta etapa da sequência apresentaremos um produto educacional, instruções e regras como jogar: jogo de tabuleiro de mesa que está intimamente relacionado com o assunto núcleo da sequência que a ensino de relatividade.

- Aula Prática: Uma aula prática utilizando o jogo como ferramenta didática para ensinar Relatividade.

Encontro 7. Aplicação do Jogo: Continuação da Aula Anterior

- Uma aula prática utilizando o jogo como ferramenta didática para ensinar Relatividade.
- Atividade Proposta: Questionário 02 diagnóstico (Enfatizando o jogo).

Encontro 8. Aula expositiva dialogada e Exibição de Filme: Encerramento.

- Aula expositiva dialogada integradora final.
- Exibição do filme *Gravity* (bra/prt: gravidade).
- Entrega da versão de papel do jogo para os estudantes.

Diário de Atividades:

- **Encontro 1 (27/09/2023):**

Apresentação da aplicação do produto educacional, incluindo a criação do jogo e uma introdução à teoria da relatividade. Aula interativa apresentando alguns conceitos da teoria da relatividade restrita e geral.

Percepção do professor: Os estudantes demonstraram empolgação com a apresentação do tema e mostraram curiosidade em relação à aplicação do jogo como ferramenta didática no ensino de física.

- **Encontro 2 (04/10/2023):**

Continuação da apresentação de slides sobre a relatividade e seus principais conceitos, com entusiasmo dos estudantes. Disponibilização de textos de apoio: “Movimento Retilíneo e Viagem Interestelar” e “Um pouco sobre a Relatividade”. Apresentação de um documentário sobre a vida e obra de Albert Einstein, mostrando o desenvolvimento da teoria da Relatividade Especial e Geral.

Percepção do professor: Os estudantes demonstraram ainda mais interesse na vida e obra

do cientista, e acharam muito interessantes as simulações apresentadas no documentário por tornarem a teoria mais compreensível.

- **Encontro 3 (11/10/2023):**

Continuação da exibição do documentário sobre a vida e obra de Albert Einstein, com foco no desenvolvimento da teoria da Relatividade Especial e Geral. Os estudantes demonstraram grande interesse na vida e obra de Einstein, apreciando a narrativa sobre a comprovação da teoria da relatividade geral através da observação de um eclipse.

- **Encontro 4 (25/10/2023):**

Conclusão da exibição do documentário sobre a vida e obra de Albert Einstein, abordando o desenvolvimento da teoria da Relatividade Especial e Geral. Aula de diálogo para discutir o conteúdo do documentário e responder às principais perguntas sobre a teoria, com distribuição do texto 3 de apoio. Apresentação em slides sobre o conceito da deflexão da luz, seguida de imagens de James Webb.

- **Encontro 5: (01/11/2023):**

Apresentação das aplicações da Teoria da Relatividade no dia a dia, como o funcionamento do GPS com correção gravitacional pela Relatividade Especial, Medicina Nuclear e a dilatação do tempo na aviação. Os estudantes responderam um questionário sobre relatividade e receberam a tarefa de elaborar um resumo por tópicos dos conteúdos trabalhados até o momento.

Percepção do professor: os estudantes demonstraram empolgação ao ver as aplicações práticas da teoria e ficaram satisfeitos com os vídeos recomendados.

- **Encontro 6: (08/11/2023)**

Apresentação do jogo de tabuleiro relacionado à relatividade e exploração espacial como ferramenta didática. Os estudantes experimentaram o jogo como parte do ensino de física, proporcionando um ambiente lúdico e interativo.

Percepção do professor: os estudantes se divertiram e fizeram analogias com a teoria da relatividade geral e exploração espacial, referenciando o filme “Interestelar” (NOLAN,).

- **Encontro 7: (22/11/2023):**

Explanação sobre a física presente no jogo e um questionário sobre a importância do jogo como ferramenta didática no ensino de física. Os estudantes foram divididos em grupos para continuar jogando.

Percepção do professor: os estudantes apreciaram a aula mais divertida e lúdica, mesmo tratando de teoria da física moderna, e fizeram indagações sobre a teoria.

- **Encontro 8: (29/11/2023):**

Breve revisão dos conteúdos estudados e exibição de um filme sobre gravidade, mostrando a vida dos astronautas na estação espacial. Distribuição de uma versão de papel do jogo Gravitation para os estudantes.

Percepção do professor: os estudantes ficaram felizes com o curso de introdução à relatividade utilizando o *Boardgame* como ferramenta didática.

Aplicação do Jogo

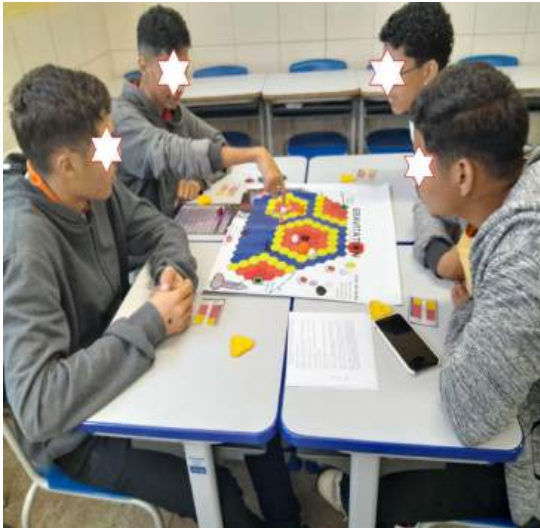


(a)



(b)

Figura 19: Aplicação do Jogo, Dia 01.



(a)



(b)

Figura 20: Aplicação do Jogo, Dia 01. Continuação



(a)



(b)



(c)

Figura 21: Aplicação do Jogo, Dia 02.

5.5 Indícios de aprendizagem significativa

Como evidências de aprendizagem significativa por parte dos estudantes, pude perceber que foi bastante notável, uma vez que demonstraram um bom desempenho nas atividades desenvolvidas em sala, como diálogo sobre o tema, elaboração de resumos e realização de questionários. Isso se baseou no desenvolvimento da sequência de ensino Unidade de Ensino Potencialmente Significativa-UEPS utilizada na atividade docente.

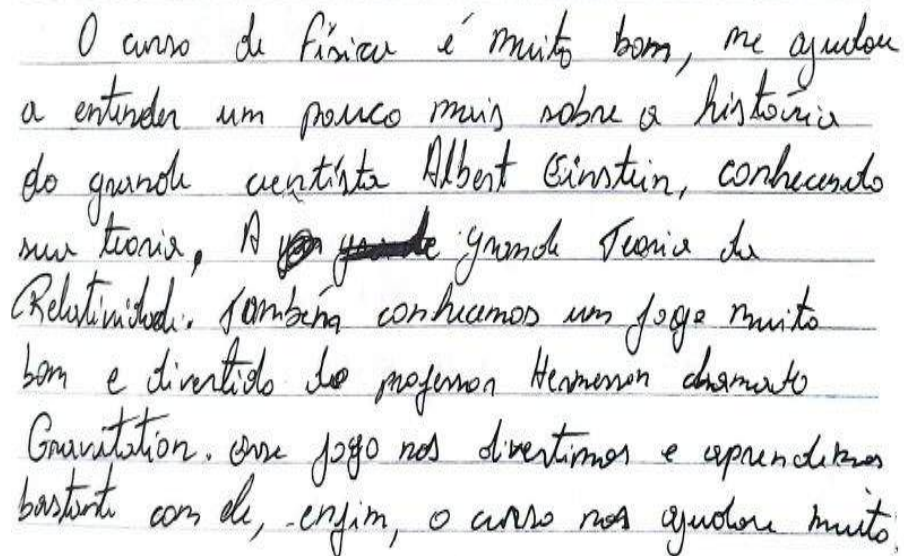
No contexto mencionado, os estudantes foram avaliados qualitativamente por meio de discussões em sala, elaboração de resumos e realização de questionários individuais referentes ao tema. Foi uma forma de percebermos que houve indícios de aprendizagem significativa, especialmente ao despertar um pensamento crítico sobre o tema “Introdução à Relatividade”. Nesse sentido, os estudantes expressaram seus pontos de vista com base na teoria e em argumentos científicos, o que demonstra que compreenderam de forma sólida o conteúdo, deixando de lado a mera memorização. Esse aspecto foi de extrema importância.

Como foi possível evidenciar esse indício de aprendizagem? Foi de forma qualitativa, considerando os conhecimentos prévios dos estudantes, os quais, por meio de uma sequência diversificada, demonstraram um certo entendimento sobre o tema. Eles puderam defender suas ideias em debates, resumos individuais e questionários realizados em sala durante a atividade docente.

Além disso, durante as primeiras aulas, inserimo-nos em um contexto de questionamento sobre diversos aspectos da teoria que levam a responder muitas perguntas relacionadas aos fenômenos da natureza. Nessa perspectiva, como professor, percebi que os estudantes já possuíam algum conhecimento prévio sobre o tema, porém, precisavam ser guiados para que esse conhecimento se tornasse embasado em leis e princípios físicos, constituindo assim conhecimento científico sólido.

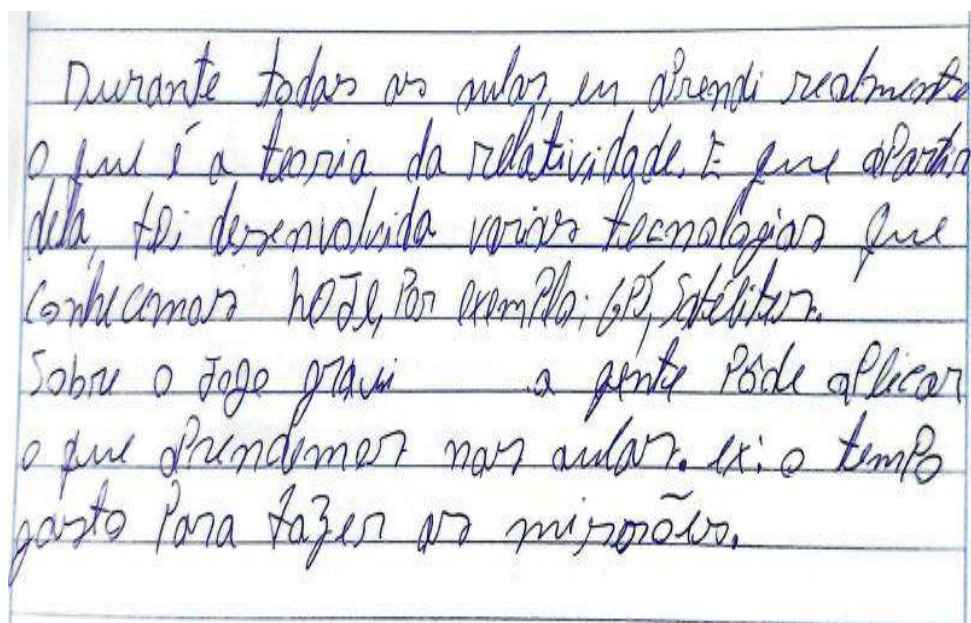
Como relato de experiência da atividade, os resultados qualitativos no contexto de aprendizagem significativa revelam nas respostas abertas dos questionários e resumos ao longo da sequência. Estas respostas foram bem embasadas na teoria pelos estudantes, demonstrando o quanto esta atividade trouxe potencial para apresentar o conteúdo de física de forma mais dinâmica e interativa. Utilizamos recursos lúdicos, como o jogo de tabuleiro, para potencializar o entendimento da teoria, tornando a aula mais dinâmica e interativa. A seguir, apresentaremos abaixo algumas respostas e resumos dos estudantes referentes às atividades docentes realizadas durante a aplicação da sequência de ensino e do jogo Gravitation.

Atividade em sala, veja abaixo relatos dos estudantes: Resumo Individual das atividades desenvolvidas durante a sequência de ensino:



O curso de física é muito bom, me ajudou a entender um pouco mais sobre a história do grande cientista Albert Einstein, conhecendo sua teoria, A ~~grande~~ grande Teoria da Relatividade. Também conhecemos um jogo muito bom e divertido do professor Hermeson chamado Gravitation. esse jogo nos divertimos e aprendemos bastante com ele, -enfim, o curso nos ajudou muito.

Figura 22: Resumo do Estudante A. "O curso de física é muito, me ajudou a entender um pouco mais sobre a história do grande cientista Albert Einstein, conhecendo sua teoria. A grande teoria da Relatividade. Também conhecemos um jogo muito bom e divertido do professor Hermeson chamado Gravitation, que jogo nos divertimos e aprendemos bastante com ele, enfim, o curso nos ajudou muito".



Durante todas as aulas, eu aprendi realmente o que é a teoria da relatividade. E que a partir dela, foi desenvolvida várias tecnologias que conhecemos hoje, por exemplo, GPS, satélites. Sobre o jogo gravi a gente pode aplicar o que aprendemos nas aulas. ex. o tempo gasto para fazer as missões.

Figura 23: Resumo do Estudante B. "Durante todas as aulas eu aprendi realmente o que é a teoria da relatividade. E que a partir dela foi desenvolvida várias tecnologias que conhecemos hoje, por exemplo, GPS, satélites. Sobre o jogo Gravitation a gente pode aplicar o que aprendemos nas aulas. Ex. o tempo gasto para fazer nas missões".

O curso de física foi uma forma que aprendi melhor o espaço e suas regras, o professor com sua metodologia deixou a aula bem explicativa de uma forma fácil de aprender. Ampliou a minha ideia sobre o universo, junto as galaxias e seus planetas, entendi ~~melhor~~ melhor a teoria da relatividade de Einstein e a curvatura do espaço-tempo e a história do físico alemão. O jogo também é muito divertido e ao mesmo tempo explicativo sobre as viagens aos planetas, em geração o ~~curso~~ curso me proporcionou uma ampla visão sobre a física em geral sua importância para a vida humana.

Figura 24: Resumo do Estudante C. "O curso de física foi uma forma que aprendi melhor o espaço e suas regras, o professor com sua metodologia deixou a aula bem explicativa de uma fácil de aprender. Ampliou a minha ideia sobre o universo, junto as galaxias e seus planetas, entendi melhor a teoria da relatividade de Einstein e a curvatura do espaço-tempo e história do físico alemão. O jogo também é muito divertido e, ao mesmo tempo, explicativo sobre as viagens aos planetas, em geração. O curso me proporcionou uma ampla visão sobre a física em geral, sua importância para a vida humana

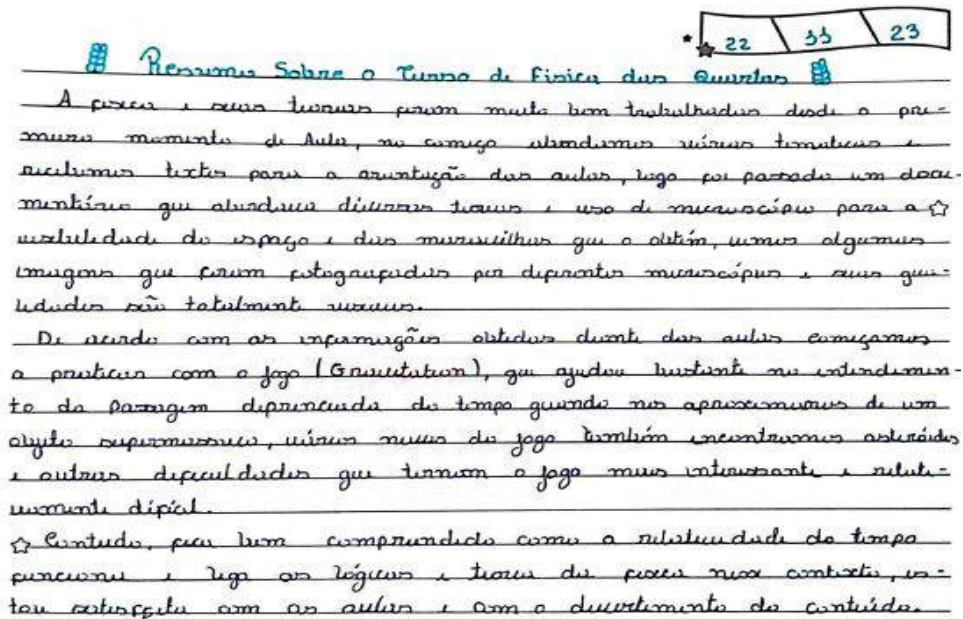


Figura 25: Resumo do Estudante D. “Resumo sobre o curso de física das quartas a física e suas teorias foram muito bem trabalhadas desde o primeiro momento de aula, no começo abordamos várias temáticas e relemos textos para a atuação das aulas, logo foi passado um documentário que ajudaria diversas teorias e uso de telescópio para visibilidade do espaço e das maravilhas que obtém, umas imagens que criam eram fotografadas por diferente telescópios e suas qualidades são totalmente visuais. De acordo com as informações obtidas durante das aulas, começamos a praticar com o jogo Gravitation, que ajudou bastante no entendimento da passagem do tempo quando nos aproximamos de um objeto supermassivo, várias naves do jogo também encontraram asteroides e outras dificuldades que tornam o jogo, mas interessante e relativamente fácil” Contudo, fica bem mais compreendido como a relatividade do tempo funciona e logo as lógicas e teoria da física nesse contexto, estou satisfeita com as aulas e com divertimento do conteúdo.

Atividade em sala, veja abaixo relatos dos estudantes: questionário 01, das atividades desenvolvidas durante a sequência de ensino:

1. Na sua concepção o que é Espaço e Tempo?
2. Existe algo que possa atingir uma velocidade maior que a da velocidade da luz no vácuo?
3. O que é a gravidade na Teoria da Relatividade Geral?
4. Como podemos medir a gravidade com relação à teoria da Relatividade?
5. Por que próximo de corpos supermassivos o tempo passa de forma diferente?
6. Por que a luz sofre um desvio quando passa próximo a um corpo supermassivo?
7. O que você entende por “curvatura do tempo”?

- 1º = O espaço: é o local onde o ser humano se encontra
O tempo: É duração dos fatos que ocorrem na terra.
- 2º = não
- 3º = É a distorção do espaço tempo provocado por um objeto massivo.
- 4º = a partir da deflexão da luz
- 5º = Por causa da alta velocidade.
- 6º = O espaço ao redor do corpo supermassivo está curvado
- 7º = É uma ~~consequência~~ consequência da curvatura do espaço.

Figura 26: Questionário 01 do Estudante A. 1. O espaço: é o local onde o ser humano se encontra. O tempo: é duração dos fatos que ocorrem na terra. 2. Não. 3. É a distorção do espaço-tempo provocado por um objeto massivo. 4. A partir da deflexão da luz. 5. Por causa alta velocidade. 6. O espaço ao redor do corpo supermassivo está curvado. 7. É uma consequência da curvatura do espaço”.

- 1- ACHO QUE É O SISTEMA DE COORDENADAS UTILIZADO COMO BASE PARA O ESTUDO DA RELATIVIDADE RESTRITA E RELATIVIDADE GERAL.
- 2- DESDE A TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL, A VELOCIDADE DA LUZ TEM UM VALOR FIXO E É IMPOSSÍVEL ULTRAPASSÁ-LA, MAS HÁ ALGUMAS DISCORDÂNCIAS.
- 3- A GRAVIDADE CORRESPONDE A MUDANÇAS NAS PROPRIEDADES DO ESPAÇO E DO TEMPO.
- 4- É POSSÍVEL CALCULAR A ÓRBITA DE UM PLANETA.
- 5- ~~POQUE NO ESPAÇO~~ PORQUE ACONTECE A DILATAÇÃO TEMPORAL, QUE FAZ O TEMPO "ATRASAR".
- 6- POR QUE O PESO DA MASSA É UM PESO GIGANTESCO, CAUSANDO UMA CURVATURA NO ESPAÇO.
- 7- É A PRINCIPAL CONSEQUÊNCIA DA TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL, DE ACORDO COM A QUAL A GRAVIDADE É EFEITO OU CONSEQUÊNCIA DA GEOMETRIA CURVA DO ESPAÇO-TEMPO.

Figura 27: Questionário 01 do Estudante B. 1. Acho que é o sistema de coordenadas Utilizado como base para o estudo da relatividade restrita e relatividade geral. 2. Desde a tria da relatividade geral, a velocidade da luz tem um valor fixo, é impossível ultrapassar, mas a algumas discordâncias. 3. a gravidade corresponde a mudança nas propriedades do espaço-tempo. 4. É possível calcular a órbita de um planta. 5. Poque acontece a dilatação temporal, que faz o tempo atrasar. 6. Porque peso da massa e um peso gigantesco, causando uma curvatura no espaço. 7. É a principal consequência da teoria da relatividade geral, de acordo coma qual a gravidade é efeito ou consequência da geometria curva do espaço-tempo.

- 1^o → Espaço é uma área ~~para~~ composta por planetas e galáxias, o tempo é a medida que as coisas acontecem em relação ao Espaço.
- 2^o → Ainda não existe.
- 3^o → É a curvatura que um corpo supermassivo faz no espaço tempo.
- 4^o → Não sei.
- 5^o → Porque o tempo em corpos supermassivos passa em uma velocidade muito alta em relação aos corpos próximos a eles.
- 6^o → Porque o corpo supermassivo faz uma curvatura no espaço tempo, o que ocasiona esse desvio da luz.
- 7^o → Não sei.

Figura 28: Questionário 01 do Estudante C. 1. Espaço é uma área composta por planeta e galáxias, o tempo é a medida que as acontecem em relação ao espaço. 2. Ainda não existe. 3. É a curvatura que um corpo supermassivo faz em no espaço-tempo. 4. Não sei. 5. Porque tempo em corpo supermassivo passa em uma velocidade muito alta em relação aos corpos próximo a eles. 6. Porque o corpo supermassivo faz uma curvatura no espaço-tempo, o que ocasiona esse desvio da luz. 7. Não sei.

Atividade em sala, veja abaixo relatos dos estudantes: questionário 02 das atividades desenvolvidas durante a sequência de ensino:

1. Com relação ao Jogo (*Boardgame*) como você pode explicar a passagem do tempo de forma diferente nas zonas mais próximas dos objetos supermassivos.
2. Qual efeito está ocorrendo quando a nave se aproxima cada vez mais próximo do objetivo supermassivo?
3. Você acredita que o Jogo (*Boardgame*) contribuiu para o entendimento e fixação dos assuntos abordados em sala de aula?
4. Explique com suas palavras o efeito da Dilatação Temporal.
5. Explique com suas palavras o que seria Gravidade como Curvatura do Espaço-Tempo.
6. Explique com suas palavras o que seria o “desvio gravitacional da luz”.
7. Como consequência da Teoria da Relatividade Geral de Einstein, explique o que seria uma Onda Gravitacional.

- Respostas:
- 1^o) Além da massa dos planetas a velocidade também influencia na contagem do tempo, quanto mais rápido mais devagar o tempo passa.
- 2^o) Dilatação temporal.
- 3^o) Sim.
- 4^o) A curvatura do espaço-tempo, provocada por um objeto supermassivo.
- 5^o) Quando um objeto supermassivo curva o espaço atrai outros objetos que ficam girando na sua órbita.
- 6^o) Por causa da curvatura do espaço-tempo a luz das estrelas faz uma curva onde o espaço foi dilatado.
- 7^o) A descurvatura do espaço quando dois objetos supermassivos se colidem.

Figura 29: Questionário 02 do Estudante A.

1. Além da massa do planeta a velocidade também influencia na contagem do tempo, quanto mais rápido mais devagar no tempo passa. 2. Dilatação Temporal. 3. Sim. 4. A curvatura do espaço-tempo, provocada por um objeto supermassivo. 5. Quando um objeto supermassivo curva o espaço, atrai outros objetos que ficam girando na sua órbita. 6. Por causa da curvatura do espaço-tempo, a luz das estrelas faz uma curva onde o espaço foi dilatado. 7. A “descurvatura” do espaço-tempo, quando dois objetos supermassivos se colidem.

- Respostas:
- 1 - Mais próximo dos objetos supermassivos o tempo passa com uma velocidade mais diferente do normal.
- 2 - Efeito de aceleração da sua velocidade.
- 3 - Sim, por que mostra na prática como é o espaço-tempo.
- 4 - Ela designa, no âmbito da mecânica einsteiniana.
- 5 - Curvatura do espaço-tempo é uma curva causada pela massa de um planeta ou de uma estrela.
- 6 - É um desvio causado pela curvatura do espaço-tempo.
- 7 - Ondulações na curvatura do espaço-tempo que se propagam como ondas, viajando para o exterior a partir da fonte.

Figura 30: Questionário 02 do Estudante B. 1. Mais próximo dos objetos supermassivos, o tempo passa com uma velocidade mais diferente do normal. 2. Efeito de aceleração da sua velocidade. 3. Sim, mostra na prática como é o espaço-tempo. 4. Ela designa, no âmbito da mecânica einsteiniana. 5. Curvatura do espaço-tempo é uma curva causada pela massa de um planeta ou de uma estrela. 6. É um desvio causado pela curvatura do espaço-tempo.

• Respostas:

1. Com a proximidade dos objetos supermassivos o tempo em relação à nave passa mais devagar.
2. Dilatação Temporal
3. Sim, fica bem explicado
4. É conforme a distância entre o objeto supermassivo em relação ao tempo que passa na nave.
5. Quando a massa de um ~~objeto~~ objeto supermassivo faz uma curvatura no Espaço-Tempo
6. Quando a luz faz uma curvatura no espaço-tempo.
7. São ondulações no espaço-tempo que se propagam para o exterior.

Figura 31: Questionário 02 do Estudante C. 1. Com a proximidade dos objetos supermassivos, o tempo em relação à nave passa mais devagar. 2. Dilatação Temporal. 3. Sim, fica bem explicado. 4. É conforme a distância entre o objeto supermassivo em relação ao tempo que passa na nave. 5. Quando massa de um objeto supermassivo faz uma curvatura no espaço-tempo. 6. Quando a luz faz uma curvatura no espaço-tempo. 7. São ondulações no espaço-tempo que se propagam para o exterior.

6 CONCLUSÃO

Observamos que os resumos e respostas elaborados pelos estudantes revelam um evidente avanço na linguagem científica sendo contemplada as etapas da sequência de ensino, o que indica uma melhoria no entendimento por meio da utilização da sequência e da ferramenta didática, o jogo de tabuleiro Gravitation, também conhecido como *Boardgame*. Este avanço é perceptível e sugere uma aprendizagem significativa em relação à teoria da relatividade de Einstein, como evidenciado pela forma como os estudantes se expressam nos resumos e questionários. O despertar para a cultura científica, promovido pela sequência de ensino e pela ferramenta, contribui de maneira lúdica e interativa para o ensino de física, potencializando, assim, o processo de ensino e aprendizagem no nível básico.

Além disso, a utilização do jogo de tabuleiro Gravitation tem se mostrado eficaz não apenas para aprimorar a compreensão da teoria da relatividade, mas também para fomentar o interesse dos estudantes pela física, representando assim uma valiosa contribuição para o ensino dessa disciplina.

Percebemos que os estudantes estão conseguindo escrever dentro dos padrões científicos, o que demonstra que a sequência de ensino, aliada ao jogo, tem ajudado os estudantes na melhor síntese dos conteúdos. Ao serem protagonistas, os estudantes também são incentivados a criticar e aprender ao longo do processo, o que evidencia a eficácia da abordagem adotada.

O objetivo deste trabalho era potencializar o ensino de física moderna no ensino médio. Com base no que foi apresentado, é importante considerar que este trabalho de ensino qualitativo foi de grande importância. Percebemos que os estudantes demonstraram indícios de aprendizagem significativa, aprendendo a partir do que já conheciam e aprimorando seus conceitos e teorias de forma científica, embasada nas teorias físicas.

A combinação de uma boa sequência de ensino, aliada a uma ferramenta didática pedagógica - o jogo de tabuleiro de mesa - trouxe um caráter lúdico para a sala de aula, permitindo que os estudantes navegassem em sua imaginação, ao mesmo tempo, em que garantia o rigor científico oferecido pelas teorias físicas.

Durante o processo de ensino e aprendizagem, foi perceptível que os estudantes se mostraram mais engajados ao participarem ativamente do seu próprio processo de ensino e aprendizado. A utilização da sequência de ensino baseada na teoria da aprendizagem significativa, juntamente com uma ferramenta didática utilizando uma metodologia ativa, refletiu-se claramente nos argumentos em aulas dialogadas, resumos individuais e questionários diagnósticos, todos realizados com sucesso pelos estudantes.

Minha percepção como educador foi muito significativa, pois pude observar o entusiasmo dos estudantes ao estudarem a teoria da relatividade de Einstein e suas aplicações no cotidiano. Concluimos que, ao empregar uma boa sequência de ensino com disposição e disponibilidade, somando-se à educação e buscando inovação para aprimorar o ensino de física no nível médio, podemos obter resultados qualitativos e disseminar essa ideia. Basta criar um planejamento e utilizar os recursos disponíveis.

Como o trabalho foi uma pesquisa documental, podemos observar pelos resumos e questionários dos estudantes que houve um avanço na forma como eles tiveram acesso ao conteúdo por meio de uma sequência de ensino e uma ferramenta didática, potencializando o ensino de física, podemos observar ainda que nos questionários as etapas da sequência de ensino como, por exemplo: Sensibilização, Diálogo e reflexão, investigação e pesquisa, construção de conhecimento, ação transformadora, são contempladas nos questionários, resumos e aulas dialogadas e discussões em grupos.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS

A.1 Questionário diagnóstico 01:

Ensino de Relatividade sob uma perspectiva de um boardgame Questionário 01

Estudante: _____

1. Na sua concepção o que é Espaço e Tempo?
2. Existe algo que possa atingir uma velocidade maior que a da velocidade da luz no vácuo?
3. O que é a gravidade na Teoria da Relatividade Geral?
4. Como podemos medir a gravidade com relação à teoria da Relatividade?
5. Por que próximo de corpos supermassivos o tempo passa de forma diferente?
6. Por que a luz sofre um desvio quando passa próximo a um corpo supermassivo?
7. O que você entende por “curvatura do tempo”?

A.2 Questionário diagnóstico 02:**Ensino de Relatividade sob uma perspectiva de um boardgame
Questionário 02****Estudante:** _____

1. Com relação ao Jogo (Boardgame) como você pode explicar a passagem do tempo de forma diferente nas zonas mais próximas dos objetos supermassivos.
2. Qual efeito está ocorrendo quando a nave se aproxima cada vez mais próximo do objetivo supermassivo?
3. Você acredita que o Jogo (Boardgame) contribuiu para o entendimento e fixação dos assuntos abordados em sala de aula?
4. Explique com suas palavras o efeito da Dilatação Temporal.
5. Explique com suas palavras o que seria Gravidade como Curvatura do Espaço-Tempo.
6. Explique com suas palavras o que seria o “desvio gravitacional da luz”.
7. Como consequência da Teoria da Relatividade Geral de Einstein, explique o que seria uma Onda Gravitacional.

APÊNDICE B – PRODUTO EDUCACIONAL

B.1 Apresentação

Este produto educacional visa proporcionar uma visão geral da teoria da Relatividade por meio de um jogo de tabuleiro (Boardgame) baseado nos princípios teóricos da física propostos por Albert Einstein. O objetivo principal é aprimorar o ensino da física moderna, mais especificamente o estudo da relatividade, no ensino básico. É importante ressaltar que o professor deve ter em mente a finalidade deste material, uma vez que existem inúmeras abordagens referentes a esse tema. Nesse sentido, o produto educacional tem como foco destacar alguns aspectos fundamentais da teoria da relatividade, proporcionando aos estudantes uma abordagem interativa e lúdica da física moderna.

Dessa forma, espera-se que essa abordagem diferenciada possa contribuir para um melhor entendimento dos conceitos da física, auxiliando os estudantes a se envolverem de forma mais ativa e compreensiva com os conteúdos apresentados.

Com base nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) (BRASIL, 1998), é enfatizada a importância da utilização de diversos materiais e recursos didáticos em sala de aula, além da necessidade de promover mudanças no processo de ensino-aprendizagem. Com o intuito de auxiliar os professores nessa abordagem, os PCNs sugerem a adoção de diferentes estratégias, tais como:

- **Experimentação:** Proporcionar aos alunos a oportunidade de vivenciar experiências práticas, por meio de experimentos e atividades que estimulem a investigação e a descoberta, contribuindo para uma aprendizagem mais significativa.
- **Jogos:** Utilizar jogos educativos como ferramenta pedagógica, promovendo a interação entre os estudantes, o desenvolvimento de habilidades cognitivas e o aprendizado de conteúdos de forma lúdica e motivadora.
- **Debates:** Estimular a participação ativa dos alunos por meio de debates, nos quais eles possam expressar suas opiniões, desenvolver o pensamento crítico e a argumentação, além de promover a construção coletiva do conhecimento.
- **Simulações:** Promover situações de simulação, nas quais os alunos possam vivenciar determinados contextos, como simulações de empresas, debates, parlamentares, entre

outros, permitindo uma aproximação da realidade e favorecendo a compreensão de conceitos e práticas.

Essas estratégias sugeridas pelos PCNs visam proporcionar uma aprendizagem mais dinâmica, significativa e contextualizada para os alunos, favorecendo o desenvolvimento de competências e habilidades necessárias para sua formação integral. É importante que os professores estejam abertos a explorar essas possibilidades, adaptando-as conforme as características e necessidades de cada turma.

Levando em consideração esse contexto, o nosso produto educacional é baseado em metodologia ativa utilizando Aprendizagem baseada em jogos-Game-based learning, (MCGONIGAL, 2017) considera que um bom jogo provoca experiência e emoção positiva, encoraja a participação ativa de forma voluntária, e seu resultado gera um sentimento de autoestima, mesmo diante de erros e conflitos. Utilizando recursos lúdicos para aprimorar o ensino de física. Especificamente, desenvolvemos um jogo de tabuleiro que será utilizado como uma ferramenta didática nas aulas de física. O objetivo é proporcionar uma abordagem interativa, aproximando os estudantes do conhecimento científico e fomentando uma cultura científica baseada em suas próprias experiências. Dessa forma, o nosso projeto apresenta a proposta de um jogo de tabuleiro de mesa cuja finalidade é potencializar o ensino de física, especialmente no que diz respeito à física moderna. Através desse jogo, buscamos facilitar a construção do conhecimento de forma crítica e contextualizada, permitindo que os alunos desenvolvam uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos.

Com a utilização desse recurso, esperamos tornar as aulas de física mais envolventes e dinâmicas, incentivando os alunos a participarem ativamente do processo de aprendizagem. Além disso, o jogo de tabuleiro proporciona uma oportunidade para os estudantes aplicarem os conceitos aprendidos de forma prática, promovendo a resolução de problemas e o desenvolvimento de habilidades cognitivas.

Acreditamos que essa abordagem inovadora, combinando a metodologia ativa com o uso de jogos, pode contribuir significativamente para uma educação de qualidade na área de física. Estamos entusiasmados com a possibilidade de oferecer aos professores e alunos uma ferramenta educacional eficaz e divertida, que possa enriquecer o processo de ensino-aprendizagem e despertar o interesse dos estudantes pela ciência (SANTOS; DOMINGUES; PEIXOTO, 2021).

Considerando essa linha de raciocínio, este jogo de tabuleiro (boardgame) pode ser aplicado em turmas de ensino médio de forma geral, mas com um foco maior nos estudantes do 3º ano, uma vez que eles estão iniciando seus estudos em física moderna. Acreditamos na possibilidade de estudar esse tema com esse público-alvo devido à presença em larga escala da tecnologia da informação nos últimos anos. Um exemplo disso são os GPS integrados nos

smartphones, que utilizam a Teoria da Relatividade para fazer correções nos cálculos de geoposicionamento dos automóveis, proporcionando maior precisão na determinação da posição. Portanto, os estudantes precisam de um estudo em física moderna para acompanhar o desenvolvimento científico de forma geral (ALENCAR, 2023). A seguir, apresentaremos o objetivo, a descrição da construção do produto educacional, as regras do jogo e a aplicação do produto em sala de aula.

B.2 Objetivo do Produto

O jogo apresentado neste trabalho foi desenvolvido visando possibilitar o ensino da física moderna desde as séries iniciais, promovendo uma abordagem lúdica e significativa que potencialize a aprendizagem dos estudantes. Por meio desse jogo, os estudantes terão a oportunidade de compreender os aspectos da Teoria da Relatividade e suas aplicações no mundo ao seu redor.

A proposta é que os estudantes aprendam de forma crítica e significativa os tópicos abordados, possibilitando reflexões e conexões com o contexto atual e as novas tecnologias e descobertas da física. Dessa forma, o jogo pode auxiliar os estudantes a refletir e problematizar diversos conceitos estudados na física moderna, Dilatação Temporal, Gravidade como Curvatura do Espaço-Tempo, presente na Teoria da Relatividade.

B.3 Descrição do jogo e construção

O jogo Gravitation, que significa “gravitação” em português, é um jogo de tabuleiro de mesa inspirado no filme “Interestelar” de 2014, sendo uma ficção científica/aventura (NOLAN,). No jogo, o planeta Terra está enfrentando escassez de recursos essenciais, como água, gás e minerais para a produção de alimentos. A missão dos jogadores é explorar o cosmos para coletar esses recursos e auxiliar os habitantes da Terra.

A exploração ocorre por quatro naves espaciais que partem do planeta Terra em uma viagem interestelar, saindo de um buraco de minhoca. O destino das naves são dois sistemas planetários que possuem características semelhantes ao nosso sistema solar. Cada jogador assume o controle de uma nave espacial durante o jogo.

O objetivo do jogo Gravitation é realizar uma viagem interestelar saindo de um buraco de minhoca do planeta Terra e retornar com recursos em menor tempo possível. Para alcançar a vitória ou até mesmo um empate, os jogadores devem cumprir esse objetivo.

No entanto, a passagem do tempo é um fator importante a ser considerado. Durante a viagem, as naves estarão próximas a campos gravitacionais com diferentes intensidades. Conforme a Teoria da Relatividade Geral de Einstein, o tempo pode passar de forma diferente



Figura 32: Tabuleiro mais peças do jogo, (Elaborada pelo autor, 2023).

quando estamos sob a influência de um campo gravitacional intenso. Quanto mais próximos de objetos massivos, maior pode ser a dilatação temporal.

Além disso, as naves precisam explorar e coletar recursos como parte da missão. O objetivo é retornar ao planeta Terra com um total de 3 unidades de cada recurso. No entanto, cada nave possui um contêiner que comporta apenas 9 recursos. Durante todo o processo, o tempo está fluindo contado por um contador de tempo localizado na Terra. Esse contador de tempo é impresso em uma lona, como mostrado na figura 3 do jogo. Os jogadores devem garantir que suas naves retornem ao planeta Terra em menos tempo do que o tempo que está sendo contado no contador de tempo da Terra.

Existem dois sistemas planetários, cada um com seu dominante gravitacional. No primeiro sistema, encontramos uma estrela supermassiva, ao redor da qual orbitam dois planetas com características bem definidas. Já no segundo sistema, temos um Buraco Negro, e ao seu redor orbitam três planetas com as características: Rochoso, Gasoso e Planeta gelado. É importante destacar que cada jogador possui duas ações durante seu turno.

No que diz respeito às ações de cada jogador durante a partida, existem diferentes opções. Eles podem navegar pelo tabuleiro movendo-se duas zonas ou mover uma zona e realizar uma exploração no planeta. Além disso, cada jogador pode realizar até duas explorações planetárias por turno, desde que esteja no planeta em questão.

Para que a mineração seja bem-sucedida, o jogador deve lançar um dado de seis faces. O resultado da exploração é analisado de acordo com uma tabela de dificuldades, conforme mostrado na figura 4 do texto. Se o jogador obtiver um resultado compatível com a tabela de dificuldades, ele realiza a exploração. Caso contrário, a exploração não é realizada. Mais adiante no texto, será apresentada a tabela de dificuldades (figura 4) de exploração em cada zona ou planeta específico.



Figura 33: Tabuleiro, peças, naves espaciais do jogo, (Elaborada pelo autor, 2023).



Figura 34: Contador de tempo na terra (marcadores do tempo), (Elaborada pelo autor, 2023)

The image shows four tables titled 'Buraco Negro' and 'Estrela' arranged in a 2x2 grid. Each table lists resources and their associated difficulties.

	Buraco Negro (1.4)	Gasoso (1.2)	Gelado (1.2)
Gás	1	2	4

	Buraco Negro (1.4)	Gasoso (1.2)	Gelado (1.2)
Gás	1	2	4
Água	1	3	2
Minério	1	3	4

	Buraco Negro (1.4)	Gasoso (1.2)
Gás	1	2
Água	1	4
Minério	1	4

	Buraco Negro (1.4)	Gasoso (1.2)
Gás	1	2
Água	1	4
Minério	1	4

Figura 35: Tabela de exploração de Recursos (com suas respectivas dificuldades em cada sistema), (Elaborada pelo autor, 2023)



Figura 36: Planetas, Estrela, Buraco negro, naves e recursos, peças em geral, (Elaborada pelo autor, 2023)

B.4 Instruções e Regras do Jogo

- Instruções e regras do jogo são as seguintes:

O jogo pode ser jogado por até 4 jogadores. Cada jogador tem até duas ações por turno. Ação mover-se duas zonas no tabuleiro. Ação permite realizar uma exploração de recurso em um planeta. É importante lembrar que o jogo possui um objetivo, que será apresentado posteriormente. Um dos jogadores deve ficar responsável por marcar o tempo que passa na Terra, utilizando o marcador de tempo apresentado na figura 3. Outro jogador deve realizar as translações dos planetas em suas respectivas órbitas.

Objetivo do Jogo: O objetivo do jogo é fazer uma viagem interestelar pelo cosmo, saindo de um buraco de minhoca vindo do planeta Terra e retornando com recursos em menor tempo possível.

- Regras Básicas e Instruções:

Tabuleiro: O tabuleiro é composto por um buraco negro, três buracos de minhoca e uma estrela supermassiva. Orbitando a estrela e buraco negro, há cinco planetas em seus respectivos sistemas, cada um com características rochosas, geladas ou gasosas.

Naves: Para esta missão, existem quatro naves de cores diferentes, todas com o mesmo objetivo: explorar os recursos dos planetas em menor tempo possível em relação à Terra. Cada nave precisa voltar com um total de 3 unidades de cada recurso, sendo que cada nave possui um contêiner que comporta apenas 9 recursos.

Recursos: Os recursos disponíveis para exploração são minerais, água e gás.

Dificuldade de Exploração: A dificuldade de exploração em cada planeta varia de acordo com uma tabela disponível para cada jogador. Será lançado um dado D6 para verificar se a exploração do recurso é bem sucedida ou não.

Ações por Turno: Cada jogador tem direito a realizar duas ações por turno. É importante destacar que o tempo passará, mesmo que o jogador não realize nenhuma movimentação no tabuleiro. O tempo será contado segundo a zona em que o jogador está localizado.

Ações por Jogador: Cada jogador pode escolher entre mover-se em até duas zonas do tabuleiro ou coletar 2 vezes o recurso. Caso esteja em um planeta, o jogador pode optar por mover-se em apenas uma zona ou coletar o recurso uma vez. Para cada movimento nas zonas de cor azul do tabuleiro, o jogador receberá um marcador de tempo (1 unidade de tempo).

Órbitas: Os planetas estão em órbitas representadas pelas cores amarelo, laranja e vermelho. O tempo passa de forma diferente em cada cor, devido à influência da gravitação do corpo dominante do sistema, conforme previsto pela Teoria da Relatividade Geral. Para cada ação realizada ou mesmo que o jogador não se mova na zona em que está localizado, passará um intervalo de tempo: cor azul: 1 unidade de tempo; cor amarela: 1,2 unidades de tempo; cor laranja: 1,4 unidades de tempo; cor vermelha: 1,6 unidades de tempo.

Buracos de Minhoca: Caso a nave entre em um buraco de minhoca atravessável com sinalização verde, a passagem do tempo será de 1,8 unidades.

Vitória: A nave que chegar de volta à Terra em menor tempo, marcado pelo contador, e com 3 unidades de cada recurso em seu contêiner.

Empate: Caso as naves cheguem à Terra com tempos iguais e com 3 unidades de cada recurso, ocorrerá um empate no jogo.

Exploração de Recursos: Caso o jogador queira explorar algum recurso, ele precisa anunciar antes qual recurso pretende explorar/minerar e, somente depois, fazer o lançamento do dado D6 para determinar se a exploração foi bem sucedida ou não.

Translação dos Planetas: O último jogador terá a responsabilidade de movimentar os planetas no tabuleiro.

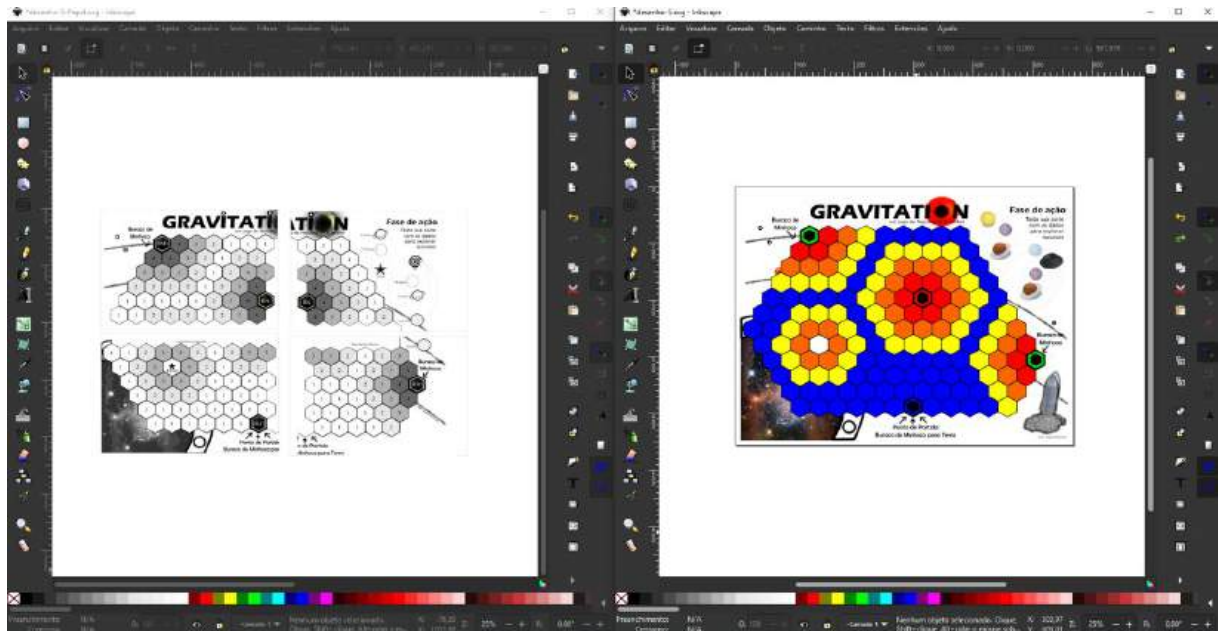


Figura 37: Imagens do tabuleiro, versão de papal e versão de lona feito: Programa Inkscape 0.92.3 versão para Windows 10 (INKSCAPE,).

B.5 O tabuleiro

A arte do tabuleiro foi criada utilizando o programa Inkscape 0.92.3 (INKSCAPE,), uma versão específica para o sistema operacional Windows 10. A ilustração temática do tabuleiro é baseada em sistemas planetários e é composta por várias zonas hexagonais coloridas. Durante o jogo, os jogadores devem percorrer essas zonas através das jogadas, que são as ações realizadas durante o jogo.

O tabuleiro possui duas zonas especiais que são os buracos de minhocas atravessáveis. Essas zonas adicionam uma dinâmica interessante ao jogo, permitindo que os jogadores se movam rapidamente entre diferentes partes do tabuleiro.

Em termos de dimensões, o tabuleiro tem um tamanho de 60 cm x 45 cm. Para garantir uma boa qualidade de impressão, a arte do tabuleiro foi salva em formato PDF e posteriormente impressa em lona. Esse material é conhecido por sua durabilidade e capacidade de reproduzir cores de forma vívida. A figura 6 abaixo ilustra a arte do tabuleiro, dando uma ideia visual de como ele se parece.

”Foi realizado não apenas a impressão do tabuleiro em lona, mas também a confecção de um marcador de tempo em lona de dimensões menores, medindo 21 cm x 35 cm. Você pode conferir o marcador de tempo na figura 4.

O tabuleiro do jogo Gravitation é composto por 1 estrela, 5 planetas, 1 buraco negro e 3 buracos de minhoca atravessáveis. Neste cenário, 4 naves estão viajando da terra em uma exploração planetária visando minerar recursos. Além disso, o tabuleiro também inclui um

contador de tempo (conforme mostrado na figura 4), que marca o tempo que passa na terra durante a exploração espacial.”

B.6 Planetas, estrela, Buraco negro e recursos feitos na impressora 3D

O tabuleiro apresenta cinco planetas com características distintas: rochoso, gasoso e gelado. Além disso, há a presença de um buraco negro que forma um sistema planetário único. Também é possível observar dois buracos de minhoca impressos na lona, como indicado na figura 1.

B.7 Arte em 3D, Softwares utilizados

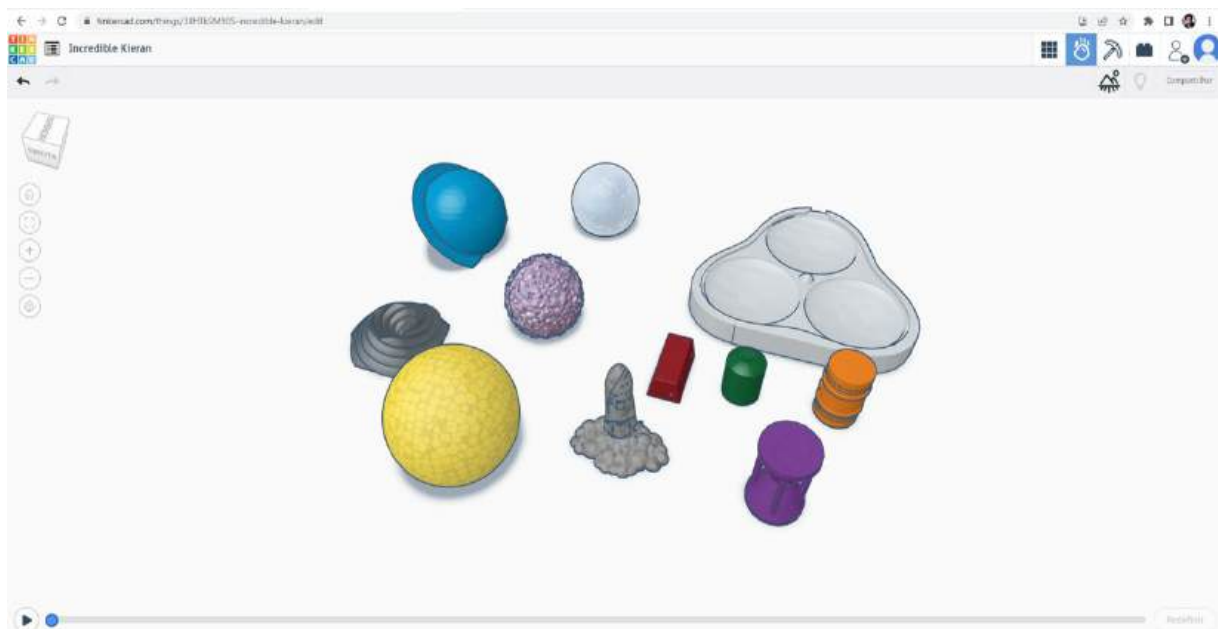


Figura 38: Arte 3D das peças feito no site: tinkercad.com (Elaborada pelo autor, 2023)(TINKERCAD,)

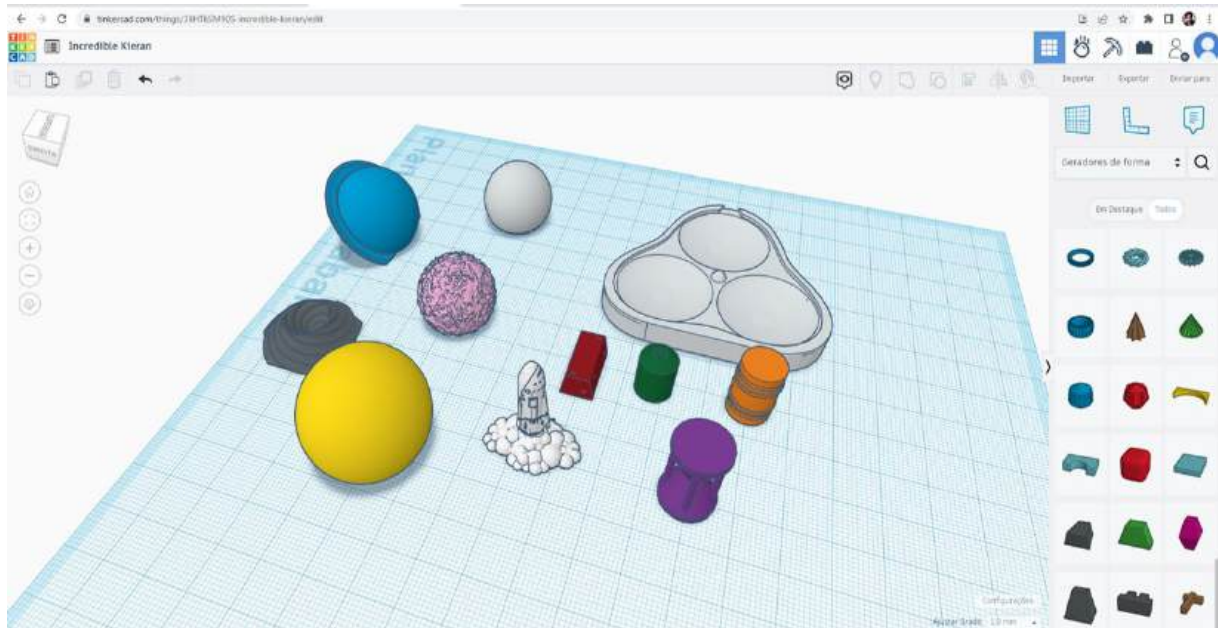


Figura 39: Arte 3D das peças feitas no site: tinkercad.com (Elaborada pelo autor, 2023)(TINKERCAD,)

B.8 Construção: projeto da Impressora 3D

Link: MATERIAL DO BOARDGAME-CONSTRUÇÃO: (<https://11nk.dev/H0xdV>).

- QRcode:



Figura 40: Construção: projeto da Impressora 3D

B.9 Modelo de Sequência de Ensino: Unidade de Ensino Potencialmente Significativa-UEPS

Para a realização a aplicação do produto, é necessário realizar uma etapa chamada de "preparação da turma". Essa etapa é importante, pois, com base nela, iremos aplicar uma sequência de ensino potencialmente significativa-UEPS (MOREIRA, 2011). Essa sequência será composta por vários encontros, que ajudarão a organizar os conteúdos abordados e facilitarão o entendimento da Teoria da Relatividade de Einstein.

- Sequência de Ensino Potencialmente Significativa-UEPS, Proposta: Ensino de Relatividade

OBJETIVOS:

GERAL:

Potencializar o entendimento da Teoria da Relatividade no ensino médio, utilizando um jogo de tabuleiro de mesa (Boardgame) como recurso didático educacional.

ESPECÍFICOS:

Aplicar a sequência de Ensino de Relatividade: Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Ensinar os conceitos da Relatividade especial e geral no ensino básico, utilizando um jogo de tabuleiro (Boardgame) como ferramenta didática.

- PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA

O ENSINO DE RELATIVIDADE:

- Situação Inicial: Na primeira etapa, iremos introduzir a Teoria da Relatividade mediante aulas expositivas com slides. Serão abordados conceitos iniciais e um pouco da história relacionada ao tema. Em seguida, será exibido um documentário sobre o físico Albert Einstein, o qual explora a criação da teoria da relatividade. Para acessar o documentário, utilize o seguinte endereço: [<https://www.youtube.com/watch?v=UnSA27a00To>,](EINSTEIN,). Esse momento audiovisual ocupará aproximadamente duas a três aulas.
- Situação-Problema: Nessa etapa, utilizaremos o quadro para escrever perguntas relacionadas ao tema. Alguns exemplos de perguntas incluem: o que é velocidade? O tempo é relativo? O que é o espaço? O que é espaço-tempo? Qual o conceito de gravidade? Essas perguntas serão discutidas em sala de aula, incentivando a participação dos alunos. O objetivo é retomar a discussão coletivamente como grupo, sem a necessidade de fornecer respostas para todas as perguntas de imediato. Além disso, serão distribuídos textos de apoio para leitura, e os alunos serão solicitados a fazer um pequeno resumo em tópicos

sobre os temas abordados, correlacionando-os com os textos. Durante essa etapa, os estudantes também realizarão um questionário diagnóstico 01 sobre o conteúdo apresentado até o momento. Essa fase ocupará aproximadamente duas a três aulas.

- **Revisão:** Iniciaremos com uma aula dialogada de revisão, na qual recapitularemos o conteúdo abordado nos textos de apoio. Essa etapa será dividida em até duas aulas.
- **Ampliando o conhecimento:** apresentaremos um produto educacional: um jogo de tabuleiro, mais especificamente um Boardgame. Esse jogo está diretamente relacionado ao tema central da sequência, o qual é o ensino da relatividade no ensino médio. O Produto Educacional como ferramenta didática: O jogo Boardgame é uma aventura exploratória que pode ser jogada por até 4 estudantes. O objetivo do jogo é explorar diferentes planetas com características semelhantes ao nosso planeta, em busca de recursos como minerais, água e gás. Durante essa etapa, os estudantes também responderão a um segundo questionário diagnóstico, abordando aspectos vistos durante a aplicação do jogo. Essa etapa ocupará até quatro aulas.
- **Avaliação somativa individual:** será realizada uma avaliação composta por dois questionários abertos sobre os aspectos da teoria da relatividade e sobre os aspectos da teoria abordados no jogo. Cada questionário será composto por 7 questões dissertativas.
- **Aula expositiva dialogada integradora final:** nessa parte, faremos uma revisão completa de todo o conteúdo trabalhado na Unidade de Ensino Potencialmente Significativo-UEPS, destacando pontos importantes e realizando uma breve revisão dos materiais, vídeos e textos em PDF. Essa exposição dialogada ocorrerá em sala de aula, junto aos estudantes. Essa parte da UEPS poderá ocupar até duas aulas.
- **Avaliação da aprendizagem na UEPS:** Essa avaliação será baseada nas atividades solicitadas pelo professor, como resumos e questionários. É importante destacar a participação do estudante durante todo o desenvolvimento das atividades.
- **Avaliação da própria UEPS:** Com base nos resultados das avaliações realizadas pelos estudantes, o professor deverá analisar e chegar a uma conclusão sobre a efetividade da aprendizagem. Caso seja necessário, poderá ser feita a reformulação de alguma atividade na UEPS.

Total de Horas-Aulas: A sequência de ensino e aprendizagem terá uma carga horária de 10 a 16 horas, considerando todas as etapas e avaliações mencionadas anteriormente.

B.10 Versão do jogo em papel A4, disponível para os estudantes.

Desenvolvido pelos autores do Jogo: Gravitation. PDF:
(<https://acesse.one/M1Tae>).



Figura 41: Versão do jogo em papel A4, disponível para os estudantes

B.11 Versão do Gravitation em Papel

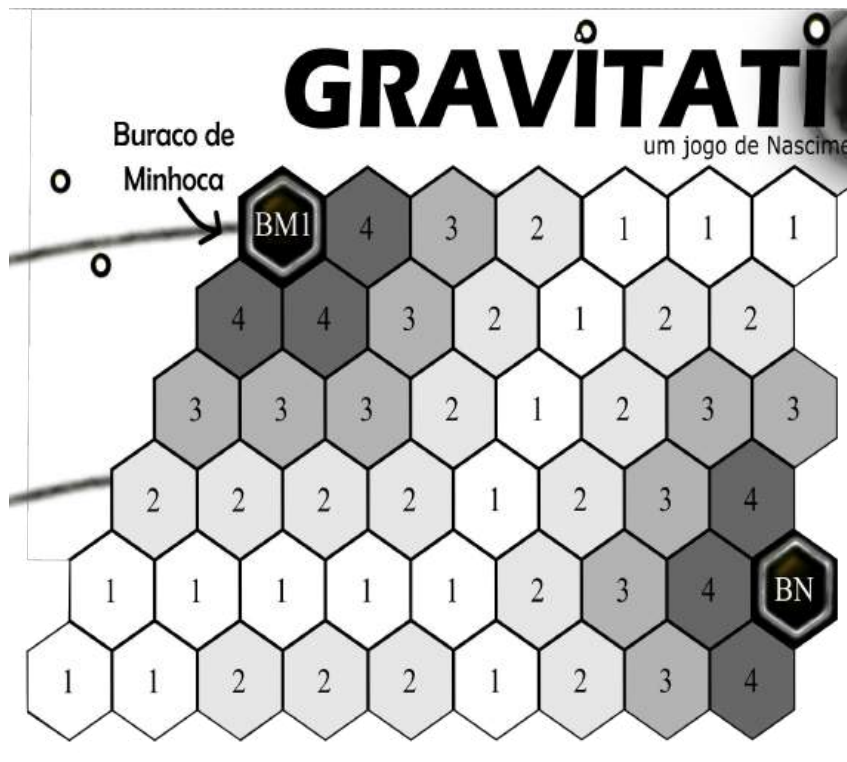


Figura 42: Superior Esquerda



Figura 43: Superior Direita

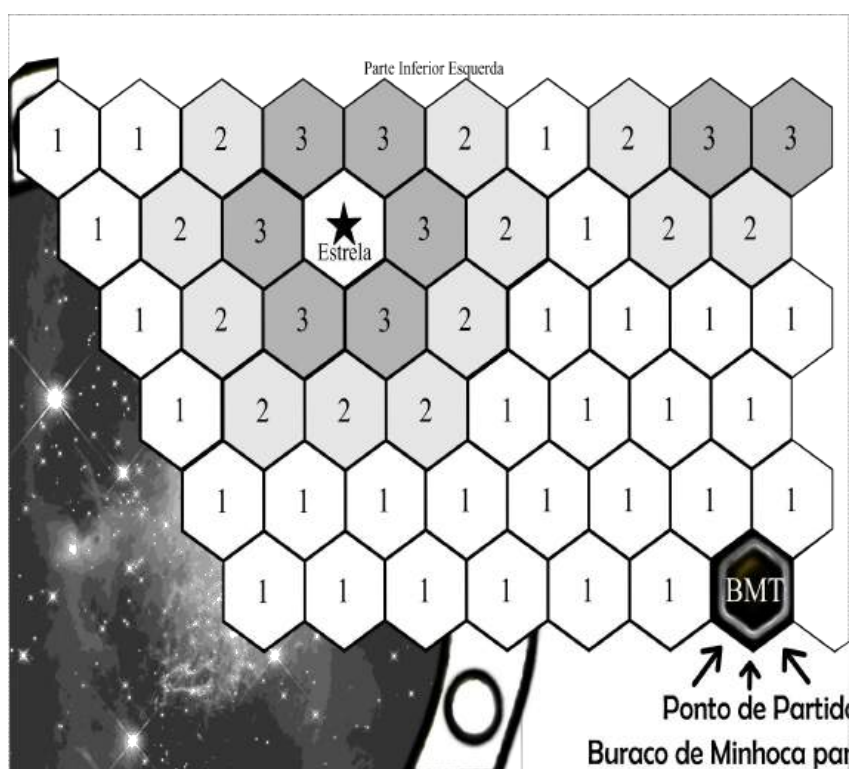


Figura 44: Inferior Esquerda

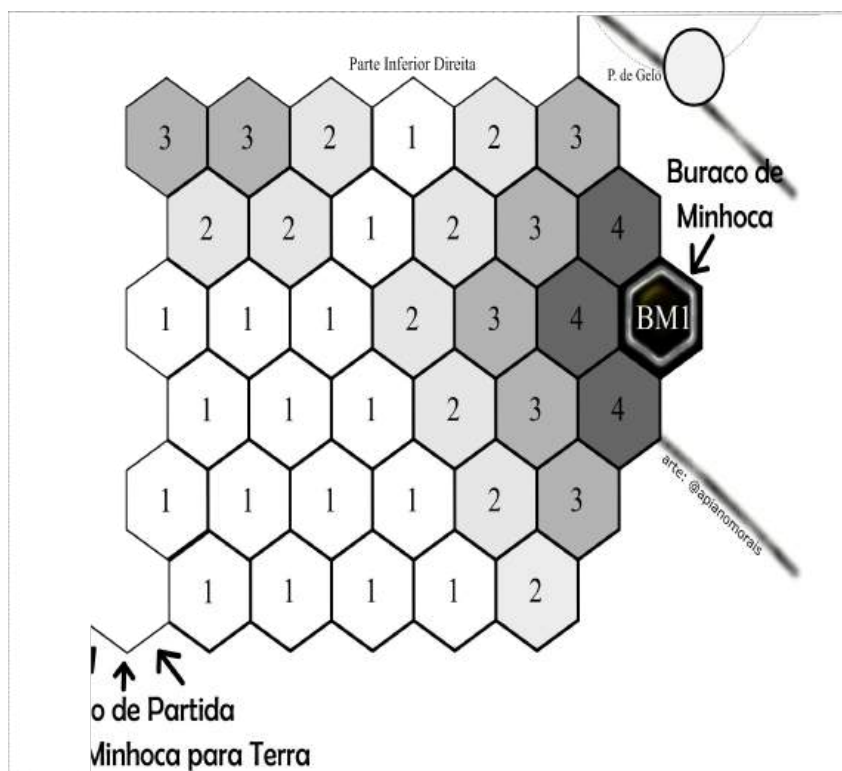


Figura 45: Inferior Direita

--	--	--	--	--	--	--	--	--

	Buraco Negro		
	Rochoso (1.6)	Gasoso (1.4)	Gelado (1.2)
Gás	3	2	4
Água	3	3	2
Minério	1	3	4

	Estrela	
	Rochoso (1.4)	Gasoso (1.2)
Gás	3	2
Água	3	4
Minério	2	4

	Buraco Negro		
	Rochoso (1.6)	Gasoso (1.4)	Gelado (1.2)
Gás	3	2	4
Água	3	3	2
Minério	1	3	4

	Estrela	
	Rochoso (1.4)	Gasoso (1.2)
Gás	3	2
Água	3	4
Minério	2	4

Figura 46: Planetas, Naves, Carta de Dificuldade



Figura 47: Contador de Tempo

Regras, instruções e regras do jogo versão de papel:

GRAVITATION - BOARDGAME, by Nascimento e Jardim

O jogo Gravitation, que significa “gravitação” em português, é um jogo de tabuleiro de mesa inspirado no filme “Interstellar” de 2014, sendo uma ficção científica/aventura (NOLAN,). No jogo, o planeta Terra está enfrentando escassez de recursos essenciais como água, gás e minerais para a produção de alimentos. A missão dos jogadores é explorar o cosmos para coletar esses recursos e auxiliar os habitantes da Terra.

- Regras, instruções e regras do jogo são as seguintes:

O jogo pode ser jogado por até 4 jogadores. Cada jogador tem até duas ações por turno. Ação mover-se duas zonas no tabuleiro. Ação permite realizar uma exploração de recurso em um planeta. É importante lembrar que o jogo possui um objetivo, que será apresentado posteriormente. Um dos jogadores deve ficar responsável por marcar o tempo que passa na Terra, utilizando o marcador de tempo e o último jogador deve realizar as translações dos planetas em suas respectivas órbitas.

Objetivo do Jogo: O objetivo do jogo é fazer uma viagem interestelar pelo cosmo, saindo de um buraco de minhoca vindo do planeta Terra e retornando com recursos em menor tempo possível.

- Regras Básicas e Instruções:

1. Tabuleiro: O tabuleiro é composto por um buraco negro, três buracos de minhoca e uma estrela supermassiva. Orbitando a estrela e buraco negro, há cinco planetas em seus respectivos sistemas, cada um com características rochosas, geladas ou gasosas.

2. Naves: Para esta missão, existem quatro naves de cores diferentes, todas com o mesmo objetivo: explorar os recursos dos planetas em menor tempo possível em relação à Terra. Cada nave precisa voltar com um total de 3 unidades de cada recurso, sendo que cada nave possui um contêiner que comporta apenas 9 recursos.

3. Recursos: Os recursos disponíveis para exploração são minerais, água e gás.

4. Dificuldade de Exploração: A dificuldade de exploração em cada planeta varia de acordo com uma tabela disponível para cada jogador. Será lançado um dado D6 para verificar se a exploração do recurso é bem sucedida ou não.

5. Ações por Turno: Cada jogador tem direito a realizar duas ações por turno. É importante destacar que o tempo passará, mesmo que o jogador não realize nenhuma movimentação no tabuleiro. O tempo será contado segundo a zona em que o jogador está localizado.

6. Ações por Jogador: Cada jogador pode escolher entre mover-se em até duas zonas do tabuleiro ou coletar 2 vezes o recurso. Caso esteja em um planeta, o jogador pode optar por mover-se em apenas uma zona ou coletar o recurso uma vez. Para cada movimento nas zonas de cor azul do tabuleiro, o jogador receberá um marcador de tempo (1 unidade de tempo).

7. Órbitas: Os planetas estão em órbitas representadas pelas cores amarelo, laranja e vermelho. O tempo passa de forma diferente em cada cor, devido à influência da gravitação do corpo dominante do sistema, conforme previsto pela Teoria da Relatividade Geral. Para cada ação realizada ou mesmo que o jogador não se mova na zona em que está localizado, passará um intervalo de tempo: cor azul: 1 unidade de tempo; cor amarela: 1,2 unidades de tempo; cor laranja: 1,4 unidades de tempo; cor vermelha: 1,6 unidades de tempo.

8. Buracos de Minhoca: Caso a nave entre em um buraco de minhoca atravessável com sinalização verde, a passagem do tempo será de 1,8 unidades.

9. Vitória: A nave que chegar de volta à Terra em menor tempo, marcado pelo contador, e com 3 unidades de cada recurso em seu contêiner.

10. Empate: Caso as naves cheguem à Terra com tempos iguais e com 3 unidades de cada recurso, ocorrerá um empate no jogo.

11. Exploração de Recursos: Caso o jogador queira explorar algum recurso, ele precisa anunciar antes qual recurso pretende explorar/minerar e, somente depois, fazer o lançamento do dado D6 para determinar se a exploração foi bem sucedida ou não.

12. Translação dos Planetas: O último jogador terá a responsabilidade de movimentar os planetas no tabuleiro.

- OBSERVAÇÃO:

Sugestões de peças alternativas para a versão em papel do jogo:

Contador de tempo: botões de camisa de diferentes cores: preta, vermelha, branca e verde.

Recursos: botões de camisa de cores diferentes, sendo azul para água, cor escura para minério e branca para gás.

Dado de seis faces, versão de papel, disponível em: (<https://acesse.one/neRv8>).

QRcod.



Figura 48: Game Player Vídeos

Link Game Player: <https://encurtador.com.br/mmruD>

REFERÊNCIAS

- [Alencar 2023]ALENCAR, G. *Alice no País da Relatividade: Teoria da Relatividade para o Ensino Médio*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2023. ISBN 987-65-5563-322-1.
- [Brasil 1998]BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais: recursos didáticos em sala de aula*. Brasília, 1998.
- [Caruso e Oguri 2006]CARUSO, F.; OGURI, V. *Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. ISBN 9788535218787.
- [CARVALHO 2015]CARVALHO, C. V. D. Aprendizagem baseada em jogos-game-based learning. In: *II World Congress on Systems Engineering and Information Technology*. Vigo: COPEC, 2015. p. 176–181.
- [DANTAS 2011]DANTAS, C. R. d. S. *As TICs e a Teoria da Aprendizagem Significativa: uma proposta de intervenção no Ensino de Física*. 144 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) — Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.
- [Einstein]EINSTEIN, H. Documentário, *Albert Einstein DUBLADO DOCUMENTÁRIO COMPLETO*. [S.l.]: History Channel Brasil.
- [Inkscape]INKSCAPE. Software, *Inkscape 0.92.3*. (Acesso em: 03 de março 2023). Disponível em: <https://inkscape.org/release/0.92.3/>.
- [Kapp 2013]KAPP, S. Direito ao espaço cotidiano: moradia e autonomia no plano de uma metrópole. *Cadernos Metrópole*, v. 14, n. 28, p. 463–483, abr. 2013. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/metropole/article/view/14818>.
- [McGonigal 2017]MCGONIGAL, J. *A realidade em jogo*. Best Seller, 2017. ISBN 9788546500383. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=IqAuDwAAQBAJ>.
- [Moreira 2011]MOREIRA, M. A. Potentially meaningful teaching units–pmtu. *Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS*, 2011.
- [Nolan]NOLAN, C. *Interestelar*. [S.l.]: Paramount Pictures, Warner Bros. e Legendary Pictures.
- [Nussenzveig 2013]NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica: Mecânica (vol. 1)*. São Paulo: Editora Edgar Blücher LTDA, 2013. ISBN 85-212-0298-9.
- [Nussenzveig 2014]NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica: Ótica, relatividade, física quântica (vol. 4)*. São Paulo: Editora Edgar Blücher LTDA, 2014. ISBN 85-212-0163-x.
- [Papert 1994]PAPERT, S. *A máquina das crianças: repensando a escola na era da informática*. Porto Alegre: Artes Medicas, 1994. ISBN 9788573070071.
- [Pietruchinski et al. 2011]PIETRUCHINSKI, M. H. et al. Os jogos educativos no contexto do sbie: uma revisão sistemática de literatura. In: *In: Brazilian Symposium on Computers in Education*. [S.l.: s.n.], 2011.

[Prensky 2001]PRENSKY, M. *Digital Game-Based Learning*. Nova York: McGraw-Hill, 2001. ISBN 0071454004.

[RAMOS 2014]RAMOS, M. N. *História e política da educação profissional*. Curitiba: Instituto Federal do Paraná, 2014. (Coleção formação pedagógica; v. 5). ISBN 978-85-8299-031-5.

[Riyis 2013]RIYIS, M. T. *RPG e Educação*. 2013.

[SANTOS, DOMINGUES e PEIXOTO 2021]SANTOS, L. R. D.; DOMINGUES, K. C. C. M.; PEIXOTO, M. A. P. Aprendizagem baseada em jogos e aspectos metacognitivos. In: *In: XIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XIII ENPEC ENPEC EM REDES*. Campina Grande: Realize Editora, 2021.

[Tinkercad]TINKERCAD. Site, *Tinkercad*. (Acesso em: 04 de março 2023). Disponível em: <https://www.tinkercad.com>.

[ZANETTE 2017]ZANETTE, M. S. Pesquisa qualitativa no contexto da Educação no Brasil. *Educar em Revista*, v. 65, p. 149–166, 2017.