



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SALINÓPOLIS
FACULDADE DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA



MEIRILENE DE SOUSA MONTEIRO

**GRAVITAÇÃO E INTRODUÇÃO A BURACOS NEGROS: UMA PROPOSTA
DIDÁTICA COM ANIMAÇÕES VIRTUAIS PARA O ENSINO DE FÍSICA NO
SEGUNDO ANO DO ENSINO MÉDIO**

Salinópolis - PA

2025

MEIRILENE DE SOUSA MONTEIRO

**GRAVITAÇÃO E INTRODUÇÃO A BURACOS NEGROS: UMA PROPOSTA
DIDÁTICA COM ANIMAÇÕES VIRTUAIS PARA O ENSINO DE FÍSICA NO
SEGUNDO ANO DO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para
obtenção do título de Licenciada em Física, pela
Faculdade de Física do Campus Universitário de
Salinópolis, Universidade Federal do Pará.
Orientadora: Prof^ª. Dra. Carolina Loureiro Benone
Coorientadora: Prof^ª. Dra. Lília Cristina dos Santos Diniz
Alves

Salinópolis - PA

2025

MEIRILENE DE SOUSA MONTEIRO

**GRAVITAÇÃO E INTRODUÇÃO A BURACOS NEGROS: UMA PROPOSTA
DIDÁTICA COM ANIMAÇÕES VIRTUAIS PARA O ENSINO DE FÍSICA NO
SEGUNDO ANO DO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso orientado pela Prof^ª.
Dra. Carolina Loureiro Benone e coorientado pela Prof^ª.
Dra. Lília Cristina dos Santos Diniz Alves, apresentado à
Faculdade de Física do Campus Universitário de
Salinópolis, Universidade Federal do Pará, para obtenção
do título de Licenciada em Física.

Data de Aprovação: 11 de julho de 2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



CAROLINA LOUREIRO BENONE

Data: 11/07/2025 16:40:24-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dra. Carolina Loureiro Benone (Orientadora)
Universidade Federal do Pará – Campus Salinópolis

Documento assinado digitalmente



LILIA CRISTINA DOS SANTOS DINIZ ALVES

Data: 12/08/2025 05:52:56-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dra. Lília Cristina Dos Santos Diniz Alves (Coorientadora)
Universidade Federal do Pará – Campus Salinópolis

Documento assinado digitalmente



DANIANA DE COSTA

Data: 16/07/2025 21:35:11-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dra. Daniana de Costa (Membro Interno)
Universidade Federal do Pará – Campus Salinópolis

Documento assinado digitalmente



CAIO FILIPE BEZERRA MACEDO

Data: 17/07/2025 10:04:27-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Caio Filipe Bezerra Macedo (Membro Interno)
Universidade Federal do Pará – Campus Salinópolis

Dedico este trabalho à minha família, amigos e professores, que foram meu alicerce, incentivo e inspiração ao longo desta jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me guiar com sabedoria e ser abrigo seguro nos momentos mais desafiadores da minha graduação.

À minha família, com especial carinho à minha mãe, Meriam Dias de Sousa, por todo incentivo, cuidado e amor. Sua força e dedicação foram minha maior inspiração para seguir em frente. Ao meu pai, Paulo César Dias Monteiro, por me oferecer suporte financeiro e com proteção e apoio.

Aos meus irmãos, Maria do Socorro, Paulo Antônio e Paulo Victor, por cada gesto de ajuda e pelas conversas que tantas vezes me fortaleceram. Aos meus sobrinhos, Diego Vinícius e Alicia, por despertarem em mim a alegria e a força necessárias para perseverar.

Aos colegas e amigos de curso, Solange Cardoso, Ketlyn Oliveira, Luiz Felipe Figueiredo, Waldemar Moura e Márcio Araújo, por compartilharem comigo não apenas momentos de estudo, mas também de amizade, colaboração, fé e alegria. Cada um foi essencial nesta caminhada.

À minha orientadora, Professora Dra. Carolina Loureiro Benone, por seu exemplo, sabedoria e constante preocupação com minha formação. À minha coorientadora, Professora Dra. Lilia C. S. D Alves, pelo conhecimento compartilhado e pela inspiração que representa. Ambas foram fundamentais para a realização deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento. O conhecimento é limitado. A imaginação circunda o mundo”.
Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho objetiva executar e avaliar uma sequência didática através da utilização do recurso de animações virtuais na aprendizagem de Física Moderna e Clássica. A pesquisa foi baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, organizando uma sequência didática para alunos do segundo ano do Ensino Médio de uma escola situada no município de Salinópolis, no estado do Pará. Foram abordados temas como Gravitação Universal, Relatividade Geral e Buracos Negros, conteúdos que geralmente apresentam alto grau de abstração e são pouco explorados nos materiais didáticos convencionais. A metodologia quali-quantitativa e descritiva incluiu quatro encontros com atividades interativas, uso de animações virtuais criadas no aplicativo *TweenCraft* e avaliações diagnóstica e final. Os resultados demonstraram que os estudantes conseguiram integrar novos conhecimentos aos seus saberes prévios, desenvolvendo habilidades de comunicação, raciocínio lógico e argumentação. A proposta evidenciou que recursos como animações facilitam a compreensão de fenômenos complexos, promovendo uma aprendizagem mais significativa, engajada e contextualizada com as necessidades do ensino de Física atual.

Palavras-chave: Animações virtuais; Ensino de Física; Aprendizagem Significativa; Gravitação; Buraco Negro.

ABSTRACT

This work aims to implement and evaluate a teaching sequence using virtual animations in the teaching of Modern and Classical Physics. The research was based on David Ausubel's Theory of Meaningful Learning, organizing a teaching sequence for second-year high school students at a school in the municipality of Salinópolis, Pará state. Topics such as Universal Gravitation, General Relativity, and Black Holes were addressed—subjects that usually present a high level of abstraction and are rarely explored in conventional teaching materials. The qualitative, quantitative, and descriptive methodology included four sessions with interactive activities, the use of virtual animations created in the *TweenCraft* app, and diagnostic and final assessments. The results demonstrated that the students were able to integrate new knowledge with their prior knowledge, developing communication, logical reasoning, and argumentation skills. The proposal showed that resources such as animations facilitate the understanding of complex phenomena, promoting more meaningful, engaging, and context-oriented learning aligned with the current needs of physics education.

Keywords: Virtual animations; Teaching Physics; Meaningful learning; Gravitation; Black Hole.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Imagem de capa do site <i>TweenCraft</i>	25
Figura 2 – Capa do Livro: Princípios Matemáticos da Filosofia Natural.....	28
Figura 3 – Ilustração da Lei da Gravitação Universal: representação da interação gravitacional entre dois corpos de massas diferentes e que possuem distância r entre seus centros.....	29
Figura 4 – Representação do aparato experimental da balança de torção utilizada por Henry Cavendish para determinar a constante gravitacional universal (G).....	29
Figura 5 – Estrutura de um BN de Schwarzschild.....	33
Figura 6 – Estrutura de um BN com rotação.....	34
Figura 7 – Estrela Anã Branca em destaque (círculo verde): remanescente estelar resultante do colapso gravitacional de estrelas de baixa e média massa.....	35
Figura 8 – Ilustração de uma Estrela de nêutrons, objeto compacto formado pelo colapso gravitacional de estrelas massivas.....	36
Figura 9 – Sombra do BN no centro da galáxia M87.....	36
Figura 10 – Sombra do BN no centro da galáxia Via Láctea.....	37
Figura 11 – Tela inicial do aplicativo TweenCraft.....	40
Figura 12 – Animação I: Introdução aos conceitos de Gravitação (LGU).....	43
Figura 13 – Animação I: Introdução aos Conceitos de Gravitação (CG).....	43
Figura 14 - Animação II: Introdução à Relatividade Geral de Einstein (TRG).....	44
Figura 15 – Animação II: Introdução à Relatividade Geral de Einstein (Cama Elástica).....	44
Figura 16 – Animação III: Formação e Características dos Buracos Negros (BNs).....	45
Figura 17 – Animação III: Formação e Características dos Buracos Negros (M87*).....	45
Figura 18 – Animação IV: Revisão da Gravitação e Buracos Negros.....	46
Figura 19 – Apresentação da pesquisa.....	51
Figura 20 – Aplicação da Avaliação Diagnóstica.....	51
Figura 21 – Exibição das animações sobre a introdução aos conceitos de gravitação.....	57
Figura 22 – Aplicação do questionário sobre a gravitação newtoniana.....	57
Figura 23 – Respostas dos alunos A , D , H e K , respectivamente.....	58
Figura 24 – Respostas dos alunos B e H	59
Figura 25 – Respostas dos alunos J e M , respectivamente.....	60

Figura 26 – Introdução aos conceitos de TRE, TRG e BN.....	61
Figura 27 – Exibição das animações sobre a introdução à TRG.....	62
Figura 28 – Respostas dos alunos <i>F</i> e <i>M</i>	63
Figura 29 – Respostas dos alunos <i>C</i> e <i>O</i>	64
Figura 30 – Respostas dos alunos <i>E</i> e <i>N</i>	66
Figura 31 – Respostas dos alunos <i>G</i> e <i>I</i>	67
Figura 32 – Respostas dos alunos <i>L</i> e <i>O</i>	68
Figura 33 – Exibição das animações de revisão.....	70
Figura 34 – Aplicação do questionário de validação.....	70
Figura 35 – Resposta do aluno <i>C</i>	73
Figura 36 – Resposta do aluno <i>M</i>	74
Figura 37 – Resposta do aluno <i>B</i>	74
Figura 38 – Respostas dos alunos <i>A</i> e <i>C</i>	77
Figura 39 – Respostas dos alunos <i>G</i> e <i>J</i>	77
Diagrama 1 – Critérios para a ocorrência da Aprendizagem Significativa.....	21
Diagrama 2 – Os tipos de Aprendizagem Significativa.....	22
Diagrama 3 – Processo de criação das animações virtuais.....	42
Quadro 1 – Tipos de Aprendizagem Significativa no ensino de Gravitação e BNs.....	23
Quadro 2 – Tipos de BNs.....	34
Quadro 3 – Organização da Sequência Didática.....	47
Gráfico 1 – Desempenho dos estudantes por conteúdo: Avaliação Diagnóstica e quantidade de acertos em porcentagem.....	53
Gráfico 2 – Desempenho dos alunos por conteúdo: Avaliação de validação e porcentagem de acertos.....	71
Gráfico 3 – Avaliação das animações: percentual das respostas de “sim” e “não”.....	75

LISTA DE ABREVIACOES

TICs	Tecnologias de Informao e Comunicao
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
TRG	Teoria da Relatividade Geral
TRE	Teoria da Relatividade Especial
BN	Buraco Negro
BNs	Buracos Negros
LGU	Lei da Gravitao Universal
CG	Constante Gravitacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL	18
2.1.1	Critérios para a ocorrência da Aprendizagem Significativa.....	19
2.1.2	Tipos de Aprendizagem Significativa.....	21
2.2	ANIMAÇÕES VIRTUAIS COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE FÍSICA	24
3	VISÃO GERAL DOS TÓPICOS DE FÍSICA.....	27
3.1	GRAVITAÇÃO NEWTONIANA	27
3.2	RELATIVIDADE GERAL DE EINSTEIN.....	30
3.3	BURACOS NEGROS	32
4	METODOLOGIA.....	38
4.1	ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....	38
4.2	LOCAL DA PESQUISA.....	39
4.3	FERRAMENTA UTILIZADA PARA A PRODUÇÃO DAS ANIMAÇÕES VIRTUAIS	40
4.4	DESENVOLVIMENTO DAS ANIMAÇÕES VIRTUAIS.....	41
4.5	ETAPAS E ESTRATÉGIAS DE COLETA DE DADOS	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1	AULA 1: APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA	50
5.2	AULA 2: ANIMAÇÕES VIRTUAIS SOBRE A INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE GRAVITAÇÃO.....	55
5.3	AULA 3: ANIMAÇÕES VIRTUAIS SOBRE A RELATIVIDADE GERAL E A FORMAÇÃO DOS BURACOS NEGROS	61
5.4	AULA 4: ANIMAÇÕES VIRTUAIS DE REVISÃO E AVALIAÇÃO DE VALIDAÇÃO	69
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
	REFERÊNCIAS.....	81
	APÊNDICE A – Roteiros.....	85
	APÊNDICE B – Planos de aula.....	100
	APÊNDICE C – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	118

1 INTRODUÇÃO

A Física é uma disciplina essencial no currículo do Ensino Médio para estimular o desenvolvimento do pensamento analítico e científico dos alunos. Para Alvarenga *et al.* (2022), diante das transformações tecnológicas, a última etapa da educação básica enfrenta grandes desafios, de forma que é preciso permitir aos estudantes acesso a teorias científicas e tecnologias atuais para entender a Física historicamente [1].

Nesse contexto, a Física Moderna enfrenta diversas lacunas que dificultam tanto a compreensão quanto o ensino de conceitos mais avançados. Como aponta Santana (2021, p. 18), “O ensino de Física Moderna e contemporânea é pouco explorado nas diretrizes do Ensino Médio. Há prevalência de tópicos relacionados à Física clássica” [2]. Dessa forma, conteúdos como a Física Relativística e temas como Buracos Negros acabam sendo negligenciados.

Segundo Ostermann e Moreira (2000), há inúmeras razões importantes para introduzir tópicos de Física Moderna, entre elas o estímulo à curiosidade dos alunos e atrair o interesse dos jovens pela carreira científica. Tanto a Física Moderna quanto a Clássica possuem suas abstrações, e cabe ao professor elaborar um material didático que seja estimulante e favoreça a compreensão dos conteúdos [3]. Para minimizar essas dificuldades no processo de ensino-aprendizagem, o uso de recursos didáticos, midiáticos e tecnológicos pode ser um importante aliado [4].

Na abordagem de vários conteúdos relacionados ao currículo da disciplina física, as imagens podem desempenhar um papel extremamente importante, justamente por suas propriedades de representação. Fotografias, vídeos, desenhos, gráficos, esquemas, entre outros, são elementos que constantemente podem ser vistos associados aos fenômenos físicos, como, por exemplo, em livros didáticos (Frederico; Gianotto, 2016, p. 119).

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) na educação desempenham a função de facilitar a aprendizagem. As TICs, segundo Pires e Veit (2006), visam aumentar a interação entre estudante, conhecimento e professor, através de recursos tecnológicos de informação e comunicação, como, por exemplo, as animações [5]. Animações podem simplificar processos difíceis de entender. Tavares (2004), explica que uma animação se destaca pela evolução temporal de um evento, de forma a ilustrar fenômenos complexos para estudantes com percepção visual e capacidade de abstração limitada [6].

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), aponta a importância da aprendizagem cosmológica e conhecimentos conceituais de astronomia, gravitação e mecânica Newtoniana. Para a BNCC, o tema em questão está na competência específica 2, que orienta o seguinte [7]:

Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. [...] Nessa competência específica, podem ser mobilizados conhecimentos conceituais relacionados a: [...] espectro eletromagnético; modelos atômicos, subatômicos e cosmológicos; astronomia; evolução estelar; gravitação; mecânica newtoniana; previsão do tempo; história e filosofia da ciência; entre outros (Brasil, 2022, p. 556).

Através desse documento oficial, o tema é impulsionado de forma a evidenciar a importância de conhecimentos sobre a gravitação a níveis cosmológicos, ou seja, a competência estimula habilidades. Todavia, como mencionado anteriormente, a gravitação de Einstein é pouco explorada em sala de aula. Essas dificuldades decorrem de diferentes razões, como explica Júnior *et al.* (2018), que incluem a formação inadequada dos professores ou os mesmos lecionarem disciplinas que diferem da qual foram formados, a falta de conteúdos sobre Astronomia na formação inicial, e a presença de erros conceituais, tanto entre alunos quanto docentes, repetidamente intensificados por livros didáticos [8].

A gravitação é fundamental para entender fenômenos cotidianos como a queda de objetos ou até mesmo fenômenos astronômicos como o colapso de estrelas. No entanto, a introdução a esses conceitos, devido à sua complexidade e abstração, apresenta desafios no ensino básico. Com base nas informações apresentadas, surge o problema da pesquisa: **Quais as implicações da utilização de animações virtuais, como recurso didático, para a aprendizagem da gravitação e dos buracos negros para alunos do segundo ano do Ensino Médio?**

A partir dessa problemática, foi realizada uma análise em livros didáticos atuais como “Diálogo: Ciências da Natureza e suas Tecnologias” da editora Moderna, através da qual foi constatado que não há uma sequência e hierarquia apropriada dos tópicos de gravitação newtoniana, relatividade geral e buracos negros. Além disso, os dois últimos tópicos mencionados são apresentados de forma superficial e curta. Sendo assim, é necessário desenvolver uma sequência didática para materiais que atendam ao uso de animações virtuais sobre tópicos relacionados à Física Moderna no Ensino Médio.

A sequência de ensino e aprendizagem, segundo Zabala (1998), é composta por um conjunto de atividades organizadas de maneira estruturada, nas quais os conteúdos são

definidos em conformidade aos objetivos educacionais [9]. Exemplificando, uma sequência didática é um conjunto de aulas planejadas, como introduzir a gravitação, explorar conceitos com animações e finalizar com uma atividade avaliativa.

A sequência didática deste trabalho está fundamentada na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (TAS), que, conforme Júnior *et al.* (2023), destaca que a aprendizagem deve ser baseada no conhecimento prévio (subsunçores), e o conteúdo precisa ser organizado de forma lógica, priorizando a criação de significados [10]. Com base na TAS, a série selecionada para a aplicação foi o segundo ano do Ensino Médio, pois, para o primeiro semestre do ano letivo, os alunos estariam com os subsunçores mais adequados para a introdução dos conceitos.

Portanto, a metodologia do presente trabalho seguiu uma abordagem de pesquisa de campo e de natureza quali-quantitativo, uma vez que os dados foram coletados diretamente dos alunos de uma turma do segundo ano do Ensino Médio da Escola Estadual Dr. Miguel de Santa Brígida, em Salinópolis, Pará. A atividade proposta foi organizada em etapas, fundamentadas em uma sequência didática da seguinte forma: apresentação da pesquisa e aplicação de uma avaliação diagnóstica; na segunda etapa foram utilizadas animações que introduzem os conceitos de gravitação; na terceira etapa foram expostos os conceitos e animações de relatividade de Einstein e buracos negros; e, na última etapa, foi realizada a exibição das animações de revisão e a aplicação da avaliação de validação.

A motivação de aplicação de animações virtuais como recurso didático para o ensino de conteúdos de Física Clássica e Moderna, como a lei da gravitação universal e buracos negros, surge como uma solução pedagógica inovadora para superar os desafios encontrados pelos alunos do ensino básico. Estes temas são complexos e existe um entrave de abordagens adequadas nos livros didáticos. A gravitação de Einstein, em particular, é explorada de forma escassa nos materiais didáticos do Ensino Médio, exigindo novas estratégias de ensino que favoreçam a compreensão desses conceitos.

Este trabalho visa aplicar e avaliar a sequência didática baseada na TAS, sugerindo o uso de animações virtuais desenvolvidas no aplicativo *TweenCraft*, como recurso pedagógico para o ensino de conteúdos referentes à gravitação no segundo ano do Ensino Médio. Conforme as exposições anteriores, os objetivos específicos são:

- i) Desenvolver uma sequência didática ajustada a TAS para produzir animações virtuais no aplicativo *TweenCraft* sobre os conceitos de gravitação e buracos negros;

- ii) Aplicar a sequência didática e animações virtuais no segundo ano do Ensino Médio;
- iii) Verificar evidências de Aprendizagem Significativa dos conceitos estudados com a utilização das animações virtuais;
- iv) Analisar a eficácia das animações virtuais na construção de significados e o entendimento dos conceitos de Física moderna e clássica pelos discentes.

Este trabalho é estruturado da seguinte forma: no capítulo 2, há a fundamentação teórica, abrangendo a teoria de aprendizagem significativa e no capítulo 3, teremos a abordagem geral dos Tópicos de Física. No capítulo 4, descrevemos a metodologia utilizada na produção e aplicação das animações. No capítulo 5, são apresentadas a aplicação e as análises dos resultados, seguidos das conclusões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será explorada a fundamentação teórica que sustentou a elaboração deste trabalho. Serão apresentadas as principais ideias de David Ausubel sobre a TAS, destacando aspectos como os subsunçores, o material potencialmente significativo e a motivação dos alunos. Prontamente, será exposto como as animações virtuais podem ser utilizadas como recurso didático para facilitar o ensino de Física.

2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel

Nascido em Nova Iorque, no ano de 1918, David P. Ausubel foi um psicólogo que ganhou destaque no campo da psicologia educacional. De acordo com Gomes *et al.* (2020), na década de 60, sua proposta de aprendizagem significativa procurava juntar e organizar de forma clara as informações, baseando-se no cognitivismo [11]. O cognitivismo é como aprender a montar um quebra-cabeça mental, que conecta novas ideias com o que já se sabe [12].

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 idéia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende (Moreira, 2012, p. 2).

Em outras palavras, a aprendizagem significativa ocorre quando o novo conhecimento se conecta de maneira não aleatória e possui significado lógico por meio de conhecimentos prévios dos alunos. Moreira (2012), exemplifica que esse conhecimento pode ser um símbolo, uma proposição, um modelo mental ou imagem [12].

As novas informações fazem sentido porque se ligam a algo que os estudantes entendem, e não são apenas decoradas ou repetidas sem algum significado, como ocorre na aprendizagem mecânica. De modo que, na aprendizagem mecânica, o aluno incorpora o conhecimento sem estabelecer conexão com seus conhecimentos prévios, caracterizando-se por uma retenção arbitrária e literal.

A aprendizagem significativa e mecânica são processos que intervêm na aprendizagem, como Frazzon (1999, p. 9), afirma: “O alcance destas duas dimensões de aprendizagem depende de dois aspectos, ou seja, da forma como o aluno incorpora a nova informação em sua estrutura e esquemas cognitivos e do tipo de estratégia ou metodologia de ensino adotada pelo professor” [13]. Esta afirmação ressalta a importância de o professor considerar o cotidiano, a cultura e os

aprendizados dos alunos para a construção de métodos e materiais que resultem na aprendizagem significativa. Para melhor compreender a TAS, estruturamos algumas abordagens que norteiam a pesquisa, como as condições para sua ocorrência e os seus tipos.

2.1.1 Critérios para a ocorrência da Aprendizagem Significativa

Para garantir o aprendizado significativo, as etapas são as seguintes: subsunçores adequados, relação do material utilizado com os subsunçores, e a predisposição dos estudantes para aprender. Essas condições trabalham juntas para garantir que o aprendizado não seja apenas uma repetição vazia de informações, mas sim uma construção de conhecimento profundo e duradouro.

A primeira etapa e base para que a aprendizagem seja significativa são os subsunçores dos estudantes. Valadares (2011), esclarece que Ausubel cunhou o termo "subsunçor", onde o verbo subsumir significa designar a incorporação de uma espécie em uma categoria ou a dedução de um conceito a partir de uma norma [14]. Para o entendimento de um novo conteúdo de forma clara, é necessário que esse conteúdo se relacione com informações já existentes.

Gomes *et al.* (2020) confirmam que os subsunçores são importantes porque funcionam como uma ancoragem para o novo conteúdo. À medida que o aluno se aprofunda, essas ancoragens se tornam mais amplas e não será mais uma mera memorização, e sim uma construção de informações que fará sentido [11]. Ausubel percebeu que, quando as informações são organizadas de forma hierárquica, elas formam uma estrutura cognitiva no cérebro. Por exemplo, conceitos específicos, como o de força, servem como base (subsunçor) e estão conectados a conceitos mais gerais, como gravitação universal ou teoria da relatividade, possibilitando entendimento e assimilação de forma mais eficaz.

O uso de materiais potencialmente significativos é a segunda fase crucial para a aprendizagem significativa. Os recursos pedagógicos devem ser estruturados para simplificar o aprendizado de novos conceitos, tornando-os pertinentes e atraentes para os estudantes. O material didático precisa ser correto, estruturado e relacionado aos subsunçores dos alunos, evitando que eles se sintam sobrecarregados ou desvinculados do tema [14].

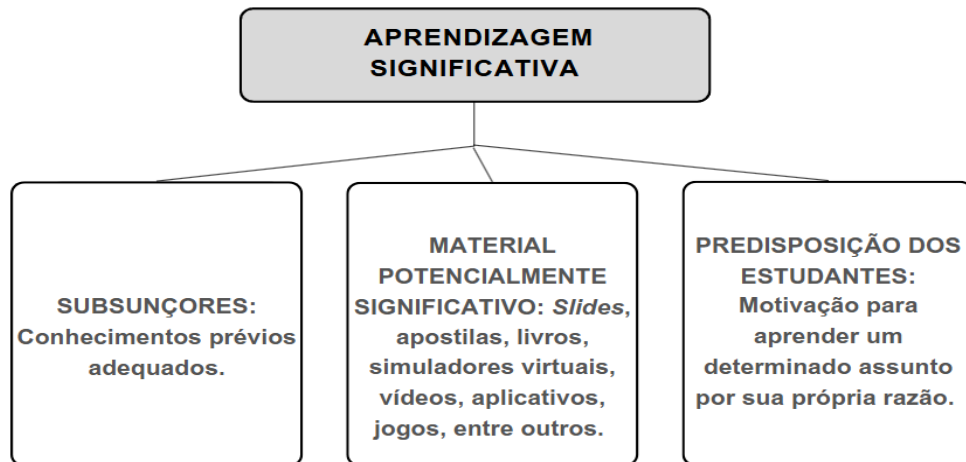
O material a aprender tem de possuir significado lógico, é claro, ser assimilável significativamente por quem tiver subsunçores adequados, mas se o aluno não possuir estes, o material não será potencialmente significativo para aquele aluno, podendo sê-lo para outro que disponha dos subsunçores adequados (Valadares, 2011, p. 37).

O essencial é que o conteúdo seja exposto de forma que o estudante consiga identificar sua importância. Da Silva (2020, p. 10), aponta que “O material utilizado pelo professor (*slides*, apostilas, livros, simuladores virtuais, vídeos, aplicativos, jogos, entre outros) deve ser planejado antecipadamente para atingir seus objetivos [15].” Por exemplo, se um estudante se interessa por astronomia, a análise de buracos negros pode ser mais relevante se for apresentada de uma forma que ligue as descobertas científicas a observações concretas e problemas contemporâneos, em vez de ser meramente descrita de maneira abstrata. Assim sendo, Moreira (2012), implica que o material de aprendizagem deve ser não arbitrário e não literal com qualquer estrutura cognitiva apropriada e relevante [12]. Isso evidencia que o professor deve selecionar e organizar os recursos de maneira a facilitar a aprendizagem, em vez de apenas fornecer informações desconectadas.

Em última análise, um fator crucial para a aprendizagem significativa acontecer é a predisposição dos alunos. A motivação do aluno para aprender desempenha um papel central na assimilação de novos conceitos. Valadares (2011, p. 38), afirma “Que o aprendente tenha uma atitude potencialmente significativa, ou seja, uma predisposição psicológica para aprender de maneira significativa” [14]. Dessa maneira, mesmo quando os subsunçores estão presentes e os materiais são organizados de maneira eficaz, sem a disposição para aprender, o aluno pode não ser capaz de integrar os novos conhecimentos de forma significativa. Moreira (2021), explica que a predisposição para aprender envolve a motivação intrínseca, que é a motivação para aprender um determinado assunto por sua própria razão, seu próprio objetivo, não apenas para atingir uma nota ou uma carreira [16].

Essas três etapas – subsunçores, material potencialmente significativo e predisposição dos estudantes – não atuam isoladamente, mas se inter-relacionam mutuamente. Quando o aluno já possui subsunçores, e o material de ensino é organizado de forma relevante, e ainda se ele está motivado a aprender, a aprendizagem significativa tem mais chances de ocorrer. O diagrama a seguir apresenta as etapas segundo o exposto acima.

Diagrama 1 – Critérios para a ocorrência da Aprendizagem Significativa.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

Para este trabalho, no capítulo 4, veremos a apresentação de uma animação virtual (material significativo) sobre a teoria da relatividade, com conceitos já relacionados aos conhecimentos prévios dos alunos (subsunçores), ao mesmo tempo em que engaja o aluno com questões interessantes (disposição para aprender). Portanto, essas etapas para ocorrência da aprendizagem significativa são fundamentais para criar um ambiente de ensino que favoreça a construção de conhecimento de maneira pertinente.

Na TAS, há três tipos de aprendizagem que são frequentemente mencionados: a representacional, de conceitos e proposicional. Estes tipos são fundamentais para a construção de um conhecimento mais robusto e interligado, e é importante entender como eles funcionam para facilitar a aprendizagem no contexto educacional.

2.1.2 Tipos de Aprendizagem Significativa

O primeiro tipo de aprendizagem significativa é a representacional, que implica na criação de representações de informações. Como explica Moreira (2021, 26-27), “Representacional é aquela na qual uma palavra, ou algum outro signo, representa objetos e eventos particulares” [16]. Nesta aprendizagem, o aluno é capaz de alterar sua experiência sensorial (simbólica, imagens, palavras ou gráficos) em algo que faça sentido.

O segundo tipo é a aprendizagem de conceitos. Nesta aprendizagem, o educando consegue identificar e compreender conceitos novos e agrupá-los de forma lógica e que faça sentido para ele. Como afirma Praia (2000), é um tipo particular de aprendizado

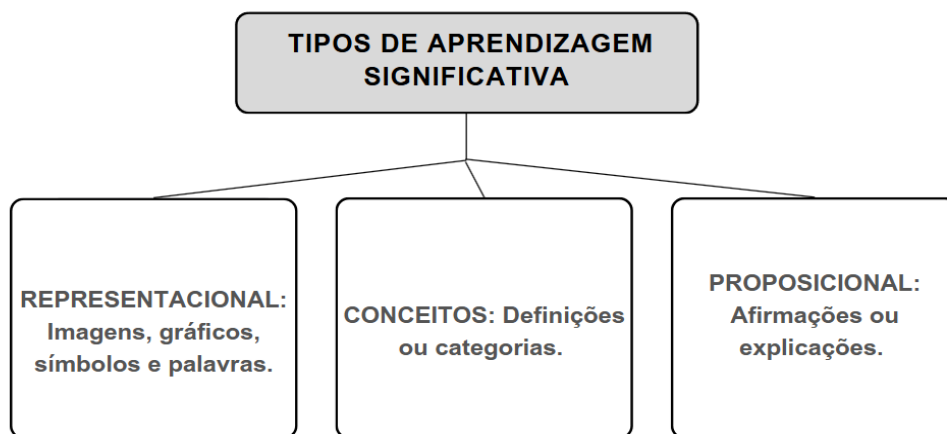
representacional, no qual conceitos e categorias abstratas são representados por meio de símbolos ou palavras, o que implica na compreensão significativa dos conceitos e na correlação entre as palavras e os próprios conceitos [17].

A aprendizagem proposicional é o terceiro tipo de aprendizagem significativa e se refere ao processo de aprender proposições ou afirmações. Nesta aprendizagem, o aluno tem a capacidade de entender e usar proposições para explicar fenômenos ou resolver problemas [18].

Na aprendizagem proposicional, contrariamente à aprendizagem representacional, a tarefa não é aprender significativamente o que palavras isoladas ou combinadas representam, mas sim, aprender o significado de idéias em forma de proposição. De modo geral, as palavras combinadas em uma sentença para constituir uma proposição representam conceitos. A tarefa, no entanto, também não é aprender o significado dos conceitos (embora seja pré-requisito), e, sim, o significado das idéias expressas verbalmente por meio desses conceitos sob forma de uma proposição, ou seja, a tarefa é aprender o significado que está além da soma dos significados das palavras ou conceitos que compõem a proposição (Moreira, 1999, p.157).

Segue um diagrama que ilustra a interação entre os três tipos de aprendizado significativo:

Diagrama 2 – Os tipos de Aprendizagem Significativa.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

A aprendizagem representacional serve como base para a aprendizagem de conceitos, o que, conseqüentemente, prepara o cenário para a aprendizagem proposicional. Para exemplificar melhor os tipos de aprendizagem, podemos utilizar diferentes contextos educacionais, especialmente no ensino de Física, com ênfase nos conceitos de gravitação e buracos negros. Aqui está um quadro ilustrativo que organiza os tipos de aprendizagem aplicados ao ensino de gravitação e buracos negros:

Quadro 1 – Tipos de Aprendizagem Significativa no ensino de Gravitação e Buracos negros.

TIPOS DE APRENDIZAGEM	DESCRIÇÃO	EXEMPLOS
Aprendizagem representacional	Representação mental de conceitos.	Visualização da atração gravitacional entre corpos e distorção do espaço-tempo por buracos negros.
Aprendizagem de conceitos	Definição de conceitos como gravidade e curvatura do espaço-tempo.	Compreensão da gravitação Newtoniana e conceito de curvatura do espaço-tempo causada por grandes massas como buracos negros.
Aprendizagem proposicional	Conexão de conceitos em proposições lógicas.	Relação entre massa e força gravitacional, e a proposição da relatividade geral na formação de buracos negros.

Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

De acordo com o ilustrado no quadro acima, na aprendizagem representacional, no âmbito da gravitação, o estudante pode ter contato com uma representação por meio de recursos como gráficos, simulações ou animações (virtuais ou não) que mostram a atração gravitacional. Na aprendizagem de conceitos, em relação aos buracos negros, os alunos compreendem que a existência de massa e energia modifica o espaço-tempo de forma que nada, nem mesmo a luz, pode escapar. No processo de aprendizagem proposicional, a relatividade geral resulta na descrição de eventos mais complexos, como a formação de buracos negros, se levarmos em conta a seguinte proposição: A curvatura do espaço-tempo é causada pela presença de massa e energia.

Ao entender de que modo quaisquer dos tipos de aprendizagem funcionam, professores são capazes de adotar estas abordagens no ensino. O uso de exemplos, como o estudo da gravitação e buracos negros, por meio de representações visuais, ajuda a mostrar como os conceitos podem ser assimilados de forma significativa para o entendimento dos alunos, possibilitando que eles desenvolvam sua compreensão de maneira metódica e relacionada. Desta forma, seguindo os tipos de aprendizagem e a condição de materiais potencialmente

significativos, podemos dar enfoque ao recurso didático desenvolvido para este trabalho, as animações virtuais.

2.2 Animações virtuais como recurso didático no ensino de Física

O ensino de Física é um dos campos mais desafiadores da educação básica. O ensino tradicional frequentemente enfrenta limitações ao ensinar conceitos básicos e complexos da Física, concentrando-se, muitas vezes, na transmissão de equações e fórmulas, sem proporcionar a visualização dos fenômenos. Como enfatiza Moreira (2021, p. 1), “Aprender Física não é decorar fórmulas para resolver problemas ou definições e leis para dar respostas corretas nas provas. É muito mais do que isso” [19].

O modelo de ensino tradicional, embora válido para alguns conteúdos de Física, apresenta dificuldades na exemplificação de conceitos mais abstratos, além de contribuir para a fragmentação desses conceitos em recursos didáticos, como os livros, nos quais muitas vezes não há uma progressão gradual na sua exposição. Mesmo que o aluno compreenda as teorias, ele necessita de meios alternativos ou inovadores para visualizá-las e compreendê-las de forma mais efetiva. Moreira (2021), aponta diversos desafios no ensino de Física, entre os quais podemos destacar: dedicar mais atenção aos conceitos do que às fórmulas, utilizar contextos significativos, considerar os subsunçores dos estudantes, despertar o interesse dos alunos pela disciplina e integrar tecnologias ao processo educativo [19].

Atualmente, as informações e a comunicação são mais acessíveis e ocorrem de forma quase instantânea. Os autores Geraldi e Bizelli (2015), afirmam que a internet contribuiu para o crescimento de uma cultura de uso das mídias, alterando as formas de pensar, criar, produzir e comunicar, o que evidencia que a contemporaneidade é marcada pela comunicação e pela gestão da informação [20]. No ensino, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) têm o objetivo de transformar a concepção tanto do professor quanto do aluno. Loureiro (2019), destaca as vantagens da utilização das TICs no ensino de Física, que podem ser aplicadas em diversos formatos, como animações, simulações, jogos, vídeos, textos e hipertextos, dependendo do objetivo a ser alcançado [21]. De modo geral, a tecnologia, quando utilizada como complemento, tende a transformar significativamente o ensino de Física.

Para fazer uso dessas vantagens no cenário educacional, em nosso trabalho, buscamos desenvolver conceitos de gravitação, relatividade geral e buracos negros por meio de um material didático que promovesse o interesse dos alunos. Em função disso, escolhemos as

animações virtuais para sensibilizar e ilustrar os tópicos relacionados. No contexto histórico das animações, o homem buscou exibir, de forma artística, o que sentia ou assistia [22]:

Em diversos exemplos temos sugestões de movimento ainda mais intenso, como animais pintados em cavernas ostentando bem mais patas do que têm na realidade. Leonardo da Vinci toca no problema da animação com seu famoso desenho *Proporções do corpo humano*, feito para ilustrar um texto de Vitruvius, na qual representa um homem exibindo o dobro de seus membros. Marcel Duchamp, com sua famosa pintura de inspiração futurista *Nu descendo uma escada*, evoca a dinâmica plástica do movimento numa sequência de posições de uma personagem no único quadro. E, desde a Antiguidade, verificamos uma forma popular de expressão através da “história figurada”, que vai mais tarde dar origem às histórias em quadrinhos, onde a ação se envolve em quadros separados, já sugerindo – a exemplo da animação propriamente dita – movimento no espaço e no tempo (Lucena Júnior, 2011, p. 29).

Na tentativa humana de contar histórias e com o desenvolvimento da ciência, as animações evoluíram. Essa evolução desencadeou invenções de aparelhos que são capazes de criar a sensação de movimento. Lucena Júnior (2011), assegura que o computador é um instrumento versátil e que, através da computação gráfica, é possível manipular imagens e produzir materiais em diversos formatos, como as animações [22]. A animação tradicional passa a ter um novo formato, chamado de animação digital, que pode ser criada em duas ou três dimensões. Na contemporaneidade, com fácil acesso a dispositivos móveis, como smartphones, tablets, entre outros, os programas de software ou sites podem ser desenvolvidos com o objetivo de produzir animações virtuais. A título de exemplo, temos o aplicativo 2D, *tweenCraft* (figura 1), utilizado neste trabalho para criar o recurso didático [23]. Este aplicativo é simples e de fácil manuseio. Por meio dele, as animações lúdicas em 2D, dependendo da fonte de produção, podem ser construídas por professores ou alunos no processo de ensino e aprendizagem.

Figura 1 – Imagem de capa do site *TweenCraft*.



Fonte: *TweenCraft*, 2025.

As animações virtuais no contexto educacional de Física podem ser atreladas a TAS, abrindo espaço para que os alunos construam ou visualizem representações dos processos físicos, em sentido de conectar conceitos prévios ao novo conhecimento, sendo este um possível material potencialmente significativo. Contudo, as animações virtuais não são meras

representações virtuais, mas sim, combinações de imagens e roteiros que, produzidos de forma adequada, são capazes de construir conhecimento.

Em resumo, ao escolher o conceito a ser trabalhado e conhecer os subsunçores dos estudantes, buscou-se um recurso tecnológico, como um aplicativo disponível para smartphones, capaz de criar animações apropriadas para o objetivo do estudo. Podemos, por fim, sintetizar os tópicos selecionados apresentados aos estudantes.

3 VISÃO GERAL DOS TÓPICOS DE FÍSICA

Neste capítulo, abordamos os conceitos fundamentais da Física Clássica e Moderna relacionados à gravitação, iniciando pela Lei da Gravitação Universal, formulada por Isaac Newton, até chegar à Teoria da Relatividade Geral, desenvolvida por Albert Einstein, a qual previu, entre outros fenômenos, a existência dos buracos negros.

3.1 GRAVITAÇÃO NEWTONIANA

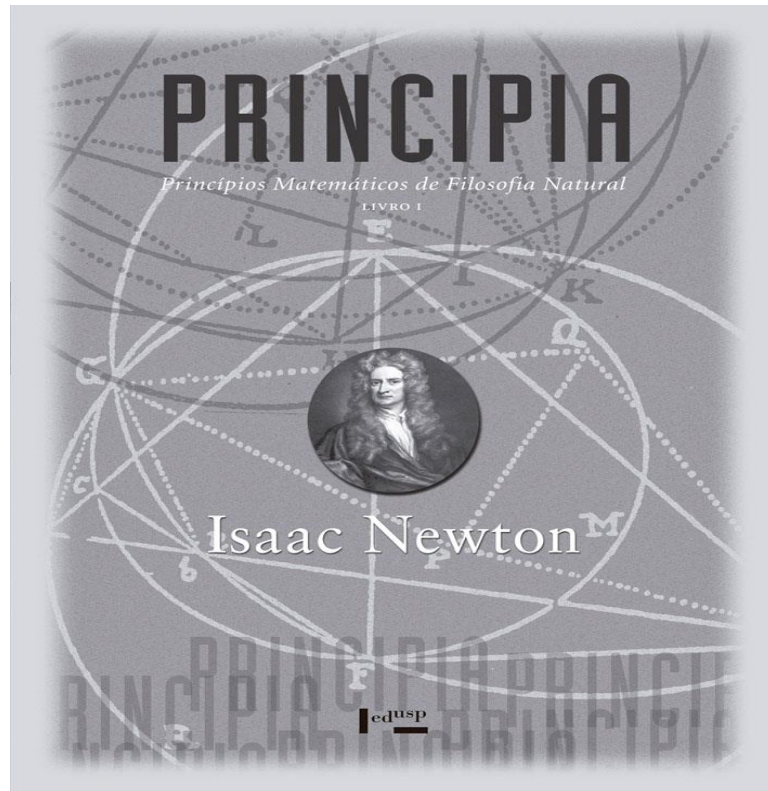
Existem na natureza quatro forças fundamentais, sendo elas gravitacional, eletromagnética, forte e fraca. Estamos interessados na força gravitacional. Sir Isaac Newton, segundo o físico brasileiro Nussenzveig (2002), foi quem apresentou de modo definitivo a Lei da Gravitação Universal [24]. De veracidade duvidosa, uma história é atribuída ao que motivaria o mesmo para tal estudo. Essa história, por muitas vezes, é conhecida como o caso da "maçã e a Lua". Newton, supostamente, questionou-se: se a maçã cai para a Terra, o que deveria ocorrer com a Lua? De forma análoga, o mesmo observou que a Lua também cai para a Terra. Isto é, a força da gravidade atua como uma força centrípeta, fazendo com que a Lua percorra um caminho circular, visto que, sem a gravidade, a Lua continuaria em movimento retilíneo uniforme. Newton publicou seus estudos em seu trabalho "Princípios Matemáticos da Filosofia Natural", em 1687 (figura 2) [25], no qual a gravitação é explorada no terceiro livro [24].

No livro I dos "Principia", Newton formula os princípios fundamentais da dinâmica (as 3 leis de Newton) e estuda diferentes tipos de órbitas possíveis de uma partícula sob ação de uma força do tipo da gravitacional (variando com o inverso do quadrado e da distância): órbitas elípticas, hiperbólicas e parabólicas; mostra também a relação com as leis de Kepler. Inclui ainda o tratamento da ação de uma esfera sobre um corpo externo. No livro II, discute o movimento de corpos num meio resistente e problemas de mecânica dos fluidos, inclusive a propagação de ondas num fluido. Finalmente, no livro III, intitulado o "sistema do mundo", aplica a lei da gravitação para discutir o movimento de satélites em torno dos planetas e dos planetas em torno do sol; mostra como calcular as massas dos planetas em termos da massa da terra; calcula o achatamento da Terra devido a sua rotação; calcula o efeito, conhecido como precessão dos equinócios, produzido sobre a órbita da Terra por esse achatamento; discute as perturbações do movimento da Lua devidas à ação do Sol; explica as marés; calcula as órbitas dos cometas (Nussenzveig, 2002, p. 201).

Conforme mencionado anteriormente, de forma concisa, a gravitação newtoniana foi desenvolvida a partir da observação da unificação do comportamento dos corpos terrestres e dos astros, que obedecem às mesmas leis. No entanto, a obra de Newton foi influenciada pelos

estudos de outros cientistas, como Ptolomeu, com o *Almagesto*; Copérnico, com o tratado *Sobre as Revoluções das Esferas Celestes*; e Kepler, com suas três leis: a lei das órbitas, a lei das áreas e a lei dos períodos.

Figura 2 – Capa do Livro: Princípios Matemáticos da Filosofia Natural.



Fonte: Edusp, 2022.

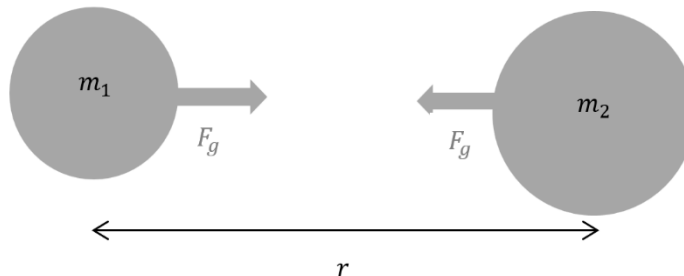
Assim sendo, Young e Freedman (2008, p. 1) enunciam a lei da gravitação universal, da seguinte forma: "Cada partícula do universo atrai qualquer outra partícula com uma força diretamente proporcional ao produto das respectivas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as partículas" [26]. Podemos expressar o enunciado resumidamente em uma equação matemática, considerando m_1 e m_2 as massas das partículas, separadas por uma distância r , de modo que o módulo da força gravitacional F_g será:

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}, \quad (1)$$

na qual G é uma constante da natureza, conhecida como constante gravitacional de Newton. Conforme a equação apresentada, a força gravitacional está relacionada a duas grandezas fundamentais: massa e distância. Esta relação expressa como a interação gravitacional varia de acordo com essas grandezas, evidenciando que a força atua mesmo à distância, sem a

necessidade de contato direto entre os corpos. Dessa forma, compreende-se que todos os corpos no universo exercem atração mútua entre si (figura 3).

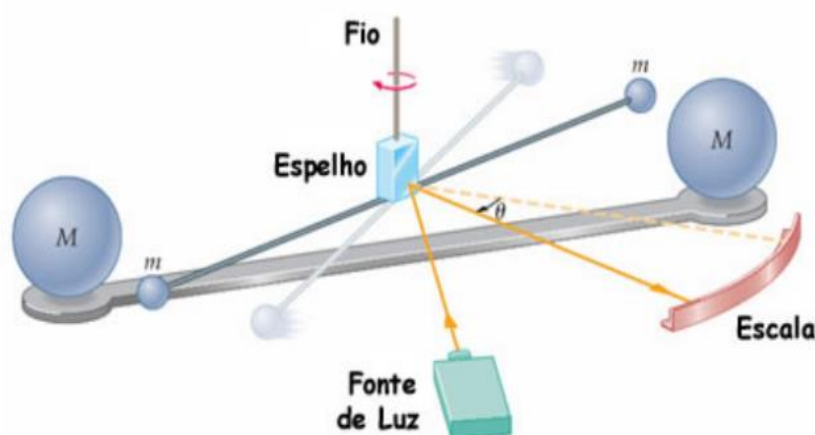
Figura 3 – Ilustração da Lei da Gravitação Universal: representação da força gravitacional entre dois corpos de massas diferentes e que possuem distância r entre seus centros.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

A determinação do valor da constante gravitacional ocorreu por meio de medições feitas em um experimento denominado “balança de torção” [27]. Realizado por Henry Cavendish, este experimento, segundo Nussenzveig (2002), consistiu em suspender duas pequenas esferas por meio de uma fibra de quartzo (figura 4), de elevada sensibilidade à torção. Em seguida, duas esferas maiores foram aproximadas, provocando uma pequena torção na fibra devido à atração gravitacional entre as massas. O desvio angular produzido foi registrado por um feixe de luz refletido em um espelho fixado ao fio, recurso que ampliava a detecção da deflexão. A partir desse ângulo de torção, tornou-se possível calcular com grande precisão a força gravitacional entre as massas [25]. O valor atualmente aceito para G é aproximadamente $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$.

Figura 4 – Representação do aparato experimental da balança de torção utilizada por Henry Cavendish para determinar a constante gravitacional universal (G).



Fonte: *Web Física*, 2020.

Embora eficiente, a gravitação newtoniana não consegue descrever fenômenos gravitacionais em situações extremas. Os autores Fabris e Veltron (2013), dizem que a mecânica e gravitação newtoniana foram dominantes até o início do século XX. Nesta época, foram observadas limitações na descrição correta do movimento de partículas no limite de campos fortes [28]. Uma nova teoria para situações de corpos em campos fortes reformulou a concepção de gravidade. Esta ficou conhecida como Teoria da Relatividade Geral.

3.2 RELATIVIDADE GERAL DE EINSTEIN

Na mecânica clássica, as equações fundamentais funcionam bem em referenciais inerciais (não acelerados). Em outros termos, as leis de movimento e a gravitação de Newton têm bom resultado nesses sistemas de referência. Enquanto isso, em referenciais não inerciais (acelerados), para casos extremos, como objetos compactos, a teoria da relatividade geral (TRG) sugerida por Albert Einstein se aplica de melhor maneira. Consequentemente, a TRG desempenha o papel de teoria mais abrangente da gravidade. A TRG de 1915 é uma extensão da teoria da relatividade especial (TRE).

No dia 30 de junho de 1905, Einstein submeteu aos *Annalen der Physik* o artigo “Acerca da eletrodinâmica dos corpos em movimento”, no qual surgiu a teoria especial da relatividade. Einstein formulou dois postulados que regem esta teoria, o primeiro é denominado de princípio da relatividade e o segundo é dito como o princípio da constância da velocidade da luz. Em ambos, o observador analisa por um sistema de referência inercial [29].

O primeiro postulado de Einstein, afirma que: as leis da física são as mesmas em qualquer sistema de referência inercial. [...] O segundo postulado de Einstein afirma: a velocidade da luz no vácuo é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial, e não depende da velocidade da fonte (Young; Freedman, 2009, p. 142).

As medidas de intervalos de tempo e de distância entre dois pontos passam a depender do referencial, variando entre dois sistemas inerciais que se movem com velocidade constante um em relação ao outro. Isso se deve ao segundo postulado da Teoria da Relatividade Especial de Einstein, que estabelece a existência de uma velocidade limite, a da luz no vácuo, que não pode ser atingida por um observador inercial. Em situações em que as velocidades envolvidas são muito pequenas comparadas à velocidade da luz, as transformações galileanas tornam-se uma boa aproximação para as coordenadas espaço-temporais. No entanto, conforme afirmam Young e Freedman (2009), essa hipótese deixa de ser válida em contextos relativísticos, pois

dois observadores em movimento relativo devem registrar medidas diferentes para o tempo e o espaço [29].

Portanto, o espaço e o tempo não são absolutos e invariantes. Eventos que ocorrem simultaneamente em um referencial inercial podem não ocorrer simultaneamente em outro referencial que se move em relação ao primeiro. As transformações galileanas assumem a simultaneidade como absoluta, por outro lado, a TRE introduz que a simultaneidade é relativa.

Uma generalização relativística das transformações galileanas são as transformações de Lorentz, levando em conta que, nos sistemas de referência onde as velocidades são comparáveis à da luz, as transformações de Lorentz garantem que a velocidade da luz seja a mesma para todos os observadores [29].

O espaço e o tempo tornam-se interligados; não podemos mais dizer que o espaço e o tempo possuem significados absolutos independente do sistema de referência. Por esse motivo referimo-nos ao tempo e às três dimensões de espaço coletivamente como uma entidade quadridimensional chamada espaço-tempo, e chamamos o conjunto (x, y, z, t) de coordenadas do espaço-tempo de um evento (YOUNG; FREEDMAN, 2009, p. 157).

Em resumo, a TRE trouxe resultados para simultaneidade, espaço, tempo, massa e energia. Não é à toa que, desses resultados, surgiu a equação mais famosa da Física:

$$E = mc^2, \quad (2)$$

onde E é energia, m é a massa e c é a constância da velocidade da luz, refletindo a equivalência entre massa e energia.

Entretanto, assim como a mecânica de Newton, a relatividade especial está incompleta, pois não considera a gravidade e referenciais não inerciais. Após uma década de pesquisa, Einstein sugeriu uma teoria mais abrangente, chamada de Teoria da Relatividade Geral. A TRG descreve a gravidade e os efeitos relativísticos em uma única estrutura matemática. Hobson *et al.* (2006), explica que Einstein propôs que a gravidade não é mais uma força, mas sim uma manifestação da curvatura do espaço-tempo, induzida pela presença de matéria [30]. Esta é a ideia central que sustenta a TRG. Para Einstein chegar a esta conclusão, o princípio da equivalência é considerado, que estabelece que, em uma região suficientemente pequena do espaço-tempo, não há experimento físico que permita distinguir entre os efeitos de um campo gravitacional uniforme e os efeitos de um referencial acelerado.

Embora essencial para a Teoria da Relatividade Geral, não é possível descrever o espaço-tempo curvo utilizando um único sistema de coordenadas global. Por isso, recorre-se ao

uso de espaços tangentes e à análise das variações de vetores nesses espaços. Para descrever matematicamente a curvatura do espaço-tempo, utilizam-se ferramentas como o tensor de Riemann, que fornece uma descrição completa da curvatura, e o tensor de Ricci, que é uma contração do tensor de Riemann e representa uma parte dessa curvatura, relacionada especificamente à deformação volumétrica do espaço-tempo. Já o escalar de curvatura é uma nova contração, desta vez do tensor de Ricci, e resume a curvatura em um único valor escalar.

Essas ferramentas matemáticas permitiram a formulação das equações de campo gravitacional, ou equações de Einstein, que relacionam a curvatura do espaço-tempo à distribuição de massa e energia nele contida:

$$G_{\mu\nu} = -\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}, \quad (3)$$

Na equação acima, à esquerda, está o tensor de Einstein $G_{\mu\nu}$, que representa a geometria. À direita, o tensor de energia-momento $T_{\mu\nu}$, que representa o conteúdo de matéria e energia.

Uma forma alternativa de representação matemática é,

$$R_{\mu\nu} = -\frac{8\pi G}{c^4} \left(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T \right), \quad (4)$$

onde $R_{\mu\nu}$, é o tensor de Ricci e T é a contração do tensor de energia-momento. As equações de Einstein ou equações de campo gravitacional são um conjunto de equações diferenciais parciais de segunda ordem para os coeficientes $g_{\mu\nu}$, do espaço-tempo, havendo uma relação entre massa, energia e curvatura. Essa abordagem geométrica da gravitação possibilitou avanços significativos, como a descrição precisa dos movimentos planetários e a previsão de fenômenos astronômicos. Dentre as previsões da TRG, podemos destacar os buracos negros.

3.3 BURACOS NEGROS

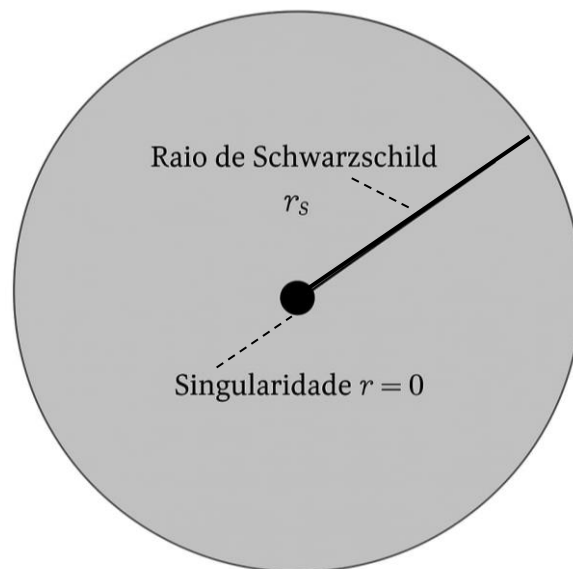
Mesmo que as equações de Einstein sejam complexas, em 1916, um ano após a sugestão da TRG, Karl Schwarzschild encontrou a primeira solução exata dessas equações. Esta solução descreve o espaço-tempo ao redor de uma distribuição esfericamente simétrica e estática de massa. Esta também foi a primeira solução e a mais simples para Buracos Negros (BNs). A seguir, a métrica de Schwarzschild é apresentada em termos de coordenadas esféricas (t, r, θ, ϕ) :

$$ds^2 = c^2 \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) dt^2 - \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2. \quad (5)$$

A métrica é singular em duas situações, quando $r = 0$, e $r_s = 2GM/c^2$. A primeira é uma singularidade física, que leva a curvatura do espaço-tempo a tornar-se infinita. O último é conhecido como raio de Schwarzschild, que representa o horizonte de eventos.

O raio de Schwarzschild r_s de um buraco negro, como ilustrado na figura 5, é equivalente à distância entre o horizonte de eventos e a singularidade.

Figura 5 – Estrutura de um BN de Schwarzschild.



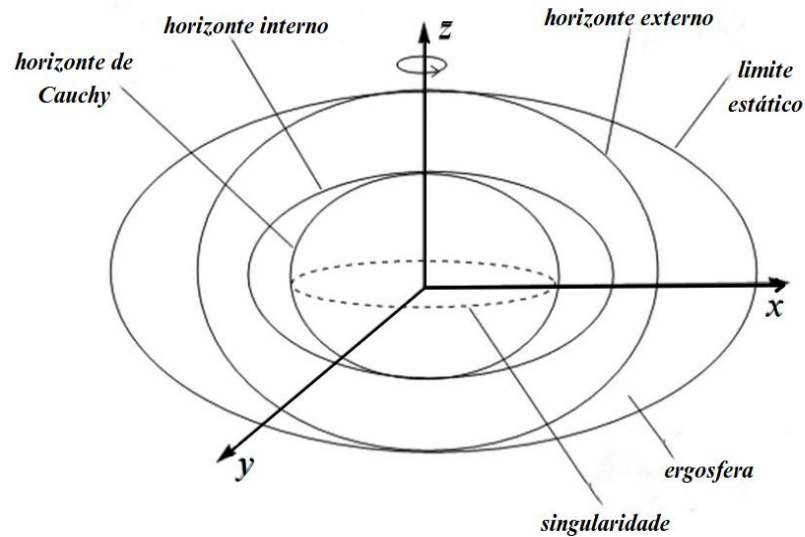
Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

Podemos afirmar que os BNs são objetos extremamente compactos e, de forma característica, possuem uma superfície de não retorno, denominada horizonte de eventos. Depois desta “fronteira”, nada pode escapar. Ultrapassando este limite, há uma singularidade, que é um ponto central do BN onde as leis da Física não são aplicáveis. Ao longo dos anos, outras soluções foram encontradas, que descrevem diversos tipos de BNs e que variam conforme os parâmetros considerados. Por exemplo, se o BN possuir rotação, a solução encontrada é a solução de Kerr. Se possuir carga elétrica, obtemos a solução de Reissner-Nordström. Já se o buraco negro possuir simultaneamente rotação e carga elétrica, a solução adequada é a solução de Kerr-Newman.

Há outras características para alguns destes BNs, como o horizonte de Cauchy que é uma superfície interna, onde a previsibilidade das leis da Física deixam de existir e a ergosfera uma região que está entre o horizonte de eventos é a superfície externa no limite estático de um BN rotativo, onde nenhum objeto pode permanecer em repouso em relação a um

observador distante, sendo arrastado pela rotação do buraco negro. Na figura 6, a seguir temos um BN rotativo com ergosfera e horizonte de Cauchy:

Figura 6 – Estrutura de um BN com rotação.



Fonte: Adaptado do autor Hobson, 2006.

Conforme a quadro abaixo, vemos os tipos de buracos negros previstos pela TRG, com base na presença ou ausência de rotação (momento angular) e carga elétrica:

Quadro 2 – Tipos de BNs.

Solução das Equações de Einstein	Rotação	Carga Elétrica	Outras características principais
Schwarzschild	Não	Não	Solução mais simples. Esférico.
Kerr	Sim	Não	Permite ergosfera e horizonte de Cauchy.
Reissner-Nordström	Não	Sim	Esférico. Possui horizontes de eventos e horizonte de Cauchy.
Kerr-Newman	Sim	Sim	Mais completo. Tem horizonte de eventos,

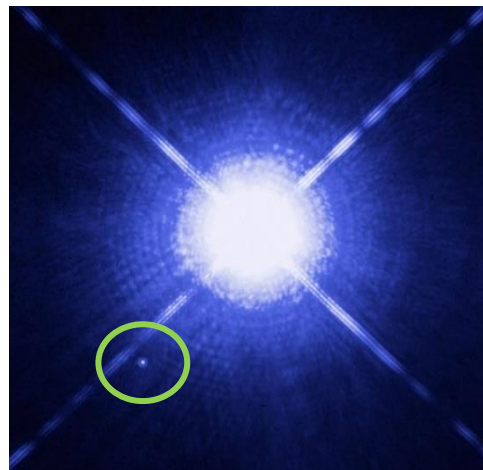
			horizonte de Cauchy, ergosfera e carga elétrica.
--	--	--	--

Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

BNs podem ser formados por meio do colapso gravitacional. O colapso gravitacional, de acordo com Hobson *et al.* (2006), ocorre quando todo o combustível nuclear de uma estrela se esgota. A estrela começa a esfriar e colapsa sob a sua própria gravidade. Este colapso pode ocasionar a formação de objetos compactos, como as anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros [30]. Estes objetos compactos são os produtos finais da evolução estelar e o fator determinante de qual objeto será formado ao final é a massa da própria estrela original.

As estrelas anãs brancas sustentam-se contra a gravidade pela pressão de elétrons degenerados. São estrelas que param de queimar combustível nuclear e esfriam gradualmente à medida que irradiam seu estoque restante de energia térmica. Chandrasekhar, em 1930, descobriu que nenhuma anã branca pode ter mais massa do que 1,4 massas solares (Limite de Chandrasekhar) [31].

Figura 7 – Estrela Anã branca em destaque (círculo verde): remanescente estelar resultante do colapso gravitacional de estrelas de baixa e média massa.

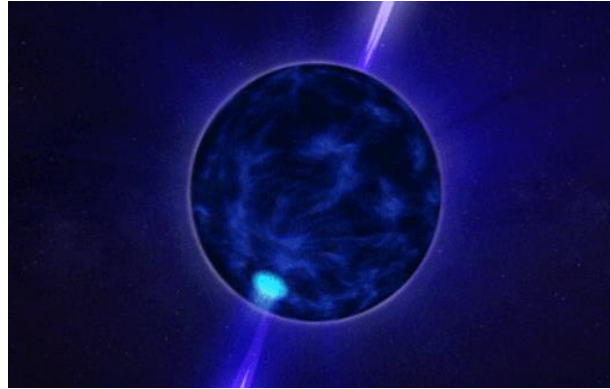


Fonte: Nasa, 2011 [31].

Acima do limite de massa suportado pela pressão de degenerescência dos elétrons, que dá origem às anãs brancas, forma-se uma nova classe de objetos conhecida como estrelas de nêutrons. No entanto, a pressão de degenerescência dos nêutrons também possui um limite, e não é suficiente para conter o colapso gravitacional em todos os casos. Oppenheimer e Volkoff, ao realizarem cálculos teóricos sobre a estrutura dessas estrelas, determinaram que o limite

máximo de massa para a estabilidade de uma estrela de nêutrons é aproximadamente 3 vezes a massa do Sol [32].

Figura 8 – Ilustração de uma Estrela de nêutrons, objeto compacto formado pelo colapso gravitacional de estrelas massivas.

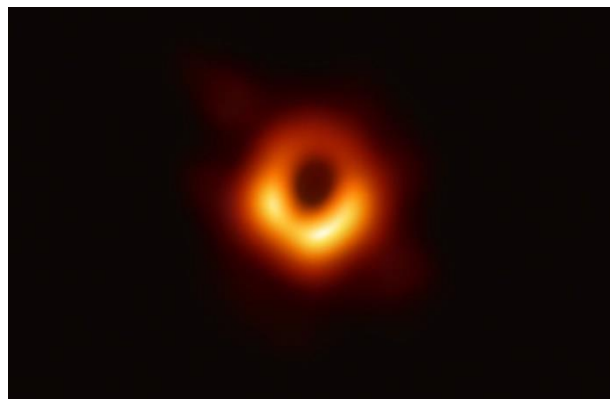


Fonte: Nasa, 2017 [32].

Estrelas com massa maior que o limite de Oppenheimer-Volkoff devem colapsar para formar os BNs. O corpo continua se contraindo até um ponto, onde é formada uma singularidade gravitacional.

Por outro lado, há BNs supermassivos, e de acordo com Bergmann (2009), possuem massas que variam de milhões a bilhões de massas solares. Após observações feitas através do telescópio espacial Hubble, os astrônomos concluíram que as galáxias, em sua maioria, apresentam BNs supermassivos no seu centro [33]. Em 2019, o telescópio Event Horizon Telescope (EHT) revelou a primeira imagem de um BN, localizado no centro da galáxia M87 [34].

Figura 9 – Sombra do BN no centro da galáxia M87.

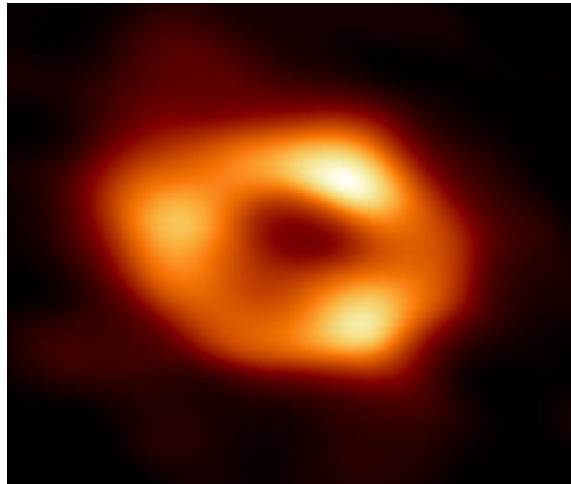


Fonte: EHT, 2019 [34].

Neves (2020), explica que a colaboração EHT usou oito estações com radiotelescópios espalhados ao redor da Terra. Com a utilização da interferometria de longa linha de base,

formou-se um grande radiotelescópio do tamanho do globo para mostrar a sombra do buraco negro [35]. Segundo o EHT, a sombra indica ser um candidato adequado ao BN de Kerr. Mais tarde, em 2022, o EHT capturou a primeira imagem do BN Sagittarius A* localizado no centro da nossa galáxia, a Via Láctea [36].

Figura 10 - Sombra do BN no centro da galáxia Via Láctea.



Fonte: EHT, 2022 [36].

Apesar dos avanços observacionais significativos nas últimas décadas, a pesquisa sobre esse objeto permanece intensa, buscando revelar aspectos ainda desconhecidos de sua natureza e do funcionamento de seu interior.

4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os aspectos metodológicos adotados na pesquisa, de natureza qualitativa e exploratória, voltada à aplicação de animações virtuais no ensino de Física. A proposta busca compreender, de forma interpretativa como os estudantes se relacionam com conceitos complexos como a gravitação e os buracos negros. A metodologia valoriza a criação de vínculos significativos com o conhecimento.

4.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

A pesquisa possui natureza quali-quantitativa, na qual busca compreender a eficácia da utilização das animações virtuais no processo de ensino-aprendizagem, verificando de forma estatística e interpretativa os resultados coletados no ensino de gravitação e buracos negros. De acordo com Flick (2013), a triangulação entre métodos qualitativos e quantitativos frequentemente se concretiza no nível dos resultados obtidos, evidenciando a possibilidade de integração entre distintas abordagens metodológicas [37].

Essa perspectiva indica que os dados gerados por meio de diferentes técnicas de investigação não apenas podem ser comparados, mas também oferecer subsídios complementares à compreensão dos fenômenos estudados. A articulação entre essas abordagens permite que os resultados obtidos possam convergir, reforçando interpretações similares; complementar-se, oferecendo diferentes ângulos de análise sobre o mesmo objeto; ou ainda divergir, revelando tensões, contradições ou limitações específicas de cada método.

O método quali-quantitativo, também conhecido como abordagem de métodos mistos, caracteriza-se por integrar procedimentos próprios das metodologias qualitativa e quantitativa em um único processo investigativo. Essa integração se manifesta, por exemplo, na etapa de coleta de dados, que pode abranger tanto instrumentos compostos por perguntas fechadas que geralmente associadas à mensuração e quantificação de variáveis, quanto por perguntas abertas, que buscam captar percepções, significados e interpretações mais subjetivas por parte dos participantes da pesquisa.

A análise dos dados, nessa abordagem possibilita a utilização conjunta de técnicas estatísticas, com o intuito de identificar padrões e de técnicas interpretativas, voltadas à compreensão mais profunda das dimensões qualitativas do fenômeno estudado. Assim, estabelece-se uma relação dialógica entre os dois métodos, em que a pesquisa qualitativa pode

enriquecer a compreensão dos dados quantitativos e o contrário. Em outro trabalho, Flick (2009) aponta as relações entre pesquisa qualitativa e quantitativa em diferentes níveis[38].

[...] epistemologia (e incompatibilidades epistemológicas) e metodologia; planos de pesquisa que combinem ou integrem o uso de dados e/ou de métodos qualitativos e quantitativos; métodos de pesquisa que sejam tanto qualitativos quanto quantitativos; vinculação das descobertas da pesquisa qualitativa às da quantitativa; generalização das descobertas; avaliação da qualidade da pesquisa – aplicação de critérios quantitativos à pesquisa qualitativa ou vice-versa. (Flick, 2009, p. 38).

O objetivo da pesquisa é classificado como descritiva, uma vez que promoveu uma descrição detalhada tanto do processo de aplicação da sequência didática quanto dos resultados observados. Conforme Gil (2008), a pesquisa descritiva tem como finalidade registrar, analisar e correlacionar características de determinados fenômenos, populações ou contextos educacionais, utilizando, para isso, técnicas padronizadas de coleta de dados [39]. Nesse sentido, a investigação aqui desenvolvida se insere nesse escopo ao descrever sistematicamente as etapas da intervenção pedagógica e suas repercussões na aprendizagem dos alunos.

O processo metodológico aderido configura-se como uma pesquisa de campo, ou seja, estudo aplicado em sala de aula, utilizando sequência didática sistematizada em quatro etapas, composta por aulas duplas consecutivas, envolvendo a apresentação da pesquisa e avaliação diagnóstica contendo questões de Física clássica e moderna, exposições dos conteúdos e animações virtuais, revisão dos conteúdos e aplicação de uma avaliação final de validação. Esta pesquisa dedica-se a investigar como as animações têm potencial de se tornar um recurso didático eficiente no processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos abordados, sendo fundamentada pela Teoria da Aprendizagem Significativa.

4.2 LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada na Escola Estadual de Ensino Médio Dr. Miguel de Santa Brígida, situada no endereço Travessa Nazaré, bairro São Vicente S/N, no município de Salinópolis, Pará. A instituição atua nas modalidades de ensino regular padrão e tempo integral, sendo que neste sistema, ingressam alunos residentes na zona rural e urbana. Os professores que atuam no ensino integral são estimulados a usar métodos de avaliação e trabalhos práticos por meio de projetos. Portanto, os alunos de uma turma do segundo ano do Ensino Médio com período integral, que era composta por 15 participantes, foram selecionados para serem sujeitos da pesquisa. A aplicação foi feita dentro da sala de aula da turma escolhida, a qual ocorreu durante quatro dias do ano de 2024, no primeiro semestre letivo, nos dias 22 de maio, 12 de

junho, 19 de junho e 26 de junho. As duas primeiras aplicações ocorreram no período vespertino e as duas últimas, no período matutino.

4.3 FERRAMENTA UTILIZADA PARA A PRODUÇÃO DAS ANIMAÇÕES VIRTUAIS

Como material potencialmente significativo, foi utilizado o recurso didático de animações produzidas no aplicativo 2D chamado *TweenCraft*. O aplicativo *TweenCraft* (figura 11) [40] é uma ferramenta digital voltada para a criação de vídeos animados, que se destaca por sua interface de fácil utilização, a qual nos possibilita a produção de conteúdos sem a necessidade de saber desenhar. Disponível gratuitamente para dispositivos móveis, o aplicativo permite a elaboração de vídeos curtos, *memes* e animações variadas, os quais podem ser compartilhados facilmente em plataformas digitais de mídias sociais. Embora funcione *online*, o aplicativo oferece uma experiência acessível e criativa tanto para iniciantes quanto para usuários mais experientes.

Figura 11 – Tela inicial do aplicativo *TweenCraft*.



Fonte: *TweenCraft*, 2025 [40].

Uma das principais características do *TweenCraft* é a sua diversidade de personagens e cenários predefinidos, além da possibilidade de personalizar elementos como planos de fundo, vozes e movimentos dos personagens. O usuário pode inserir efeitos sonoros, visuais, transições de cena, músicas e até mesmo imagens ou GIFs. Entretanto, como nem todos os formatos e tamanhos de mídia são compatíveis com a plataforma, às vezes é necessário recorrer a outras ferramentas de compressão para garantir a fluidez da animação. Isto se fez necessário para a criação das animações virtuais deste trabalho.

O aplicativo também se destaca pela sua comunidade criativa e engajada, que possibilita a partilha de ideias e a inspiração recíproca entre seus usuários. Esta característica favorece o aprimoramento da criatividade, expressividade e habilidade de narrar de quem faz uso do instrumento. Ademais, os componentes do aplicativo são liberados individualmente, o que

promove a exploração constante de suas funcionalidades e fomenta a melhoria das criações com o passar do tempo.

O *TweenCraft* se apresenta como um recurso promissor no processo de ensino-aprendizagem, particularmente em matérias que demandam uma maior visualização e contextualização dos conteúdos, como a Física. Auxilia no aprimoramento de competências cognitivas, comunicativas e tecnológicas, fomentando um ambiente de ensino mais interessante, inovador e em sintonia com as práticas educacionais atuais.

4.4 DESENVOLVIMENTO DAS ANIMAÇÕES VIRTUAIS

Durante o desenvolvimento das animações, foi preciso elaborar pré-roteiros e roteiros finais, considerando os conhecimentos prévios dos discentes. As animações foram finalizadas semanalmente, antes de cada aplicação, e ajustadas conforme a adequação dos roteiros. Por sua vez, foi verificada uma busca de imagens que correspondessem ao conteúdo proposto.

A seleção e estruturação dos tópicos com finalidade do ensino de Gravitação newtoniana e Física moderna procederam de uma observação cautelosa das lacunas no ensino atual. Levando em consideração que esses conceitos são complexos e abstratos, é indispensável uma organização progressiva do ensino. Para a aplicação desses conteúdos no primeiro semestre do ano de 2024, o segundo ano do Ensino Médio foi escolhido, pois os alunos estariam com os subsunçores mais adequados para a introdução dos conceitos.

A Gravitação newtoniana é um dos assuntos mais prestigiados no aprendizado da Física. No ano de 1687, conforme Dias *et al.* (2004, p. 266), "Newton compreendeu que, se o Sol atrai a Terra, a Terra deveria também atrair o Sol, com uma força de mesma intensidade" [41]. Esta teoria é o pilar para os outros conceitos mais avançados, como a relatividade geral. Ainda assim, no Ensino Médio, muitas vezes esse tema é abordado de forma superficial [42].

Apesar de sua relevância social, cultural e histórica, de sua relação com desenvolvimentos tecnológicos, como as tecnologias espaciais, que fazem parte do funcionamento da nossa sociedade, a gravitação não vem sendo trabalhada no ensino médio, o que descaracteriza a própria mecânica newtoniana, uma vez que este assunto constitui quase um terço do currículo de física nesse nível de ensino (Da Silva, 2002, p. 1).

Atualmente não é diferente, uma vez que os alunos têm dificuldades em aplicar a Lei da Gravitação Universal a diferentes contextos. A introdução da gravitação de Newton serve como uma fundação sólida para o entendimento da gravitação moderna. Antes da Lei da Gravitação Universal ser abordada, primeiro os estudantes foram avaliados sobre seus conhecimentos

prévios de Física básica, e assim se seguiu para a lei da gravitação universal, visto que a mesma fornece uma explicação inicial para os fenômenos gravitacionais que os estudantes já observam em seu cotidiano.

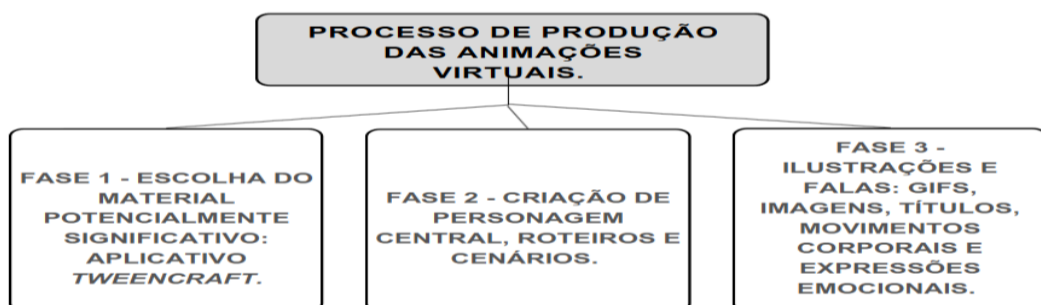
Para diversos alunos, a ideia de que o espaço-tempo pode ser curvado pela presença de massa é complicada de compreender sem uma base adequada. Nesse tópico, é expandido para as explicações mais abrangentes e precisas de Einstein. A teoria da relatividade geral é repetidamente negligenciada no currículo e livros do Ensino Médio, o que acaba em uma falha considerável na compreensão das leis que regem o universo em escalas muito grandes.

Os buracos negros correspondem a conceitos mais avançados e de difícil compreensão. No entanto, eles são interessantes para os estudantes devido ao seu encanto cultural e científico. Todavia, sua introdução desprovida de princípios dos conceitos antecedentes pode originar uma assimilação fracionada e incorreta. O entendimento da gravitação e da relatividade geral serve como preâmbulo para a compreensão da formação e efeitos dos buracos negros.

A Relatividade geral e Buracos negros são temas estudados em Física Moderna, que é uma área que sofre superficialidades e falta de aplicação prática nas abordagens do ensino de Física nas salas de aula, como discorrem Goulart e Leonel (2020, p.194): “A Física moderna desenvolvida, no século XX, embora bem consolidada, é um campo ainda preconizado se pensarmos no ensino de física desenvolvido na educação básica brasileira, nas últimas décadas” [43].

Após definir os tópicos e identificar as lacunas no ensino, utilizamos o aplicativo *TweenCraft* para produzir as animações virtuais em conformidade com a TAS. Primeiro, selecionamos Alicia como personagem central, representando o público-alvo; ela foi configurada como uma estudante, com timbre de voz suave. Foram criados quatro roteiros, em que combinamos ilustrações que acompanhassem as falas de Alicia, conectando os conceitos físicos a exemplos práticos do cotidiano dos alunos (diagrama 3).

Diagrama 3 – Processo de criação das animações virtuais.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

Essas combinações resultaram em quatro animações virtuais que estão hospedadas numa *playlist* do YouTube com o título de “Gravitação e Buracos Negros – Animações para o Ensino Médio”, que estão disponíveis através do *link*: <https://youtube.com/playlist?list=PL9C4ETQ5CMayPa8xG0pcBSk2kVxqAGait&si=wdLkBcISbTc15EQj>.

Obedecendo à sequência didática, na primeira animação (figura 12), intitulada “Introdução aos Conceitos de Gravitação”, apresentamos de forma resumida o Roteiro I (Apêndice A) que alinha a teoria de Newton a exemplos visuais, onde Alícia apresenta de forma didática a Lei da Gravitação Universal, iniciando com a famosa história da maçã de Newton e relacionando a força que faz a maçã cair àquela que mantém a Lua em órbita.

Figura 12 – Animação I: Introdução aos Conceitos de Gravitação (LGU).



Fonte: Autora da pesquisa, 2024¹.

Em seguida, ela enuncia a fórmula gravitacional, explicando a dependência da força em função das massas e da distância. Depois, descreve o experimento de Cavendish para medir a constante gravitacional G , ilustrando o funcionamento de uma balança de torção (figura 13). Por fim, Alícia destaca a aplicação prática desse conhecimento, como satélites e exploração espacial, e antecipa as próximas aulas sobre Relatividade Geral e buracos negros.

Figura 13 – Animação I: Introdução aos Conceitos de Gravitação (CG).



Fonte: Autora da pesquisa, 2024.

Durante o processo de criação, utilizamos GIFs e imagens para ilustrar diversos conceitos: estrelas em galáxias; Isaac Newton com a maçã caindo sobre a cabeça; a força

¹ Animação I disponível em: <https://youtu.be/iTxahKbkQN4?feature=shared>.

centrípeta agindo entre Lua e a Terra; o sistema planetário; a balança de torção; satélites em órbita da Terra; e o lançamento de objetos, entre outros. Em cada tópico, adicionamos legendas para facilitar a interpretação do conteúdo e fizemos ajustes de movimento para compor fluidez nas transições de cenas. Ao final, a animação tem exatamente 4 minutos e 49 segundos de duração.

Na segunda animação (figura 14), com o tema “Introdução à Relatividade Geral de Einstein”, apresentamos de forma resumida um Roteiro II (Apêndice A) que apresenta a teoria de Einstein a exemplos visuais, onde Alícia apresenta a transição da Física Newtoniana para as teorias de Einstein, explicando primeiro a Relatividade Especial (velocidade constante, dilatação de tempo e contração de comprimento) e sua famosa equação $E = mc^2$.

Figura 14 – Animação II: Introdução à Relatividade Geral de Einstein (TRG).



Fonte: Autora da pesquisa, 2024².

Em seguida, ela introduz a Relatividade Geral, que descreve a gravidade como curvatura do espaço-tempo usando a analogia da cama elástica (figura 15). A narrativa aborda ainda a importância de sistemas de referência acelerados e prepara o terreno para discutir resultados históricos, como o eclipse de 1919 que confirmou a curvatura da luz. Por fim, Alícia antecipa que, nos próximos encontros, explorará de forma mais aprofundada buracos negros e outras previsões da relatividade.

Figura 15 – Animação II: Introdução à Relatividade Geral de Einstein (Cama Elástica).



Fonte: Autora da pesquisa, 2024.

No decorrer da produção, utilizamos GIFs e imagens para ilustrar diversos conceitos: Einstein e suas ideias; uma bola de boliche sobre uma cama elástica; um objeto distorcendo o

² Animação II disponível em: <https://youtu.be/6rpf1mjEdYg?feature=shared>.

espaço-tempo; eclipse solar, entre outros. Em cada tópico, adicionamos legendas para facilitar a interpretação do conteúdo. Ao final, a animação tem exatamente 8 minutos e 24 segundos de duração.

A terceira animação (Figura 16), denominada “Formação e Características dos Buracos Negros”, apresenta de forma resumida, conforme o Roteiro III (Apêndice A), o colapso gravitacional e a estrutura dos BNs. A personagem Alicia guia o espectador pelo ciclo de vida estelar que leva à formação de buracos negros, explicando como o colapso gravitacional ocorre quando uma estrela massiva esgota seu combustível nuclear e sofre contração extrema, podendo resultar em anãs brancas, estrelas de nêutrons ou, se a massa for suficientemente grande, em buracos negros.

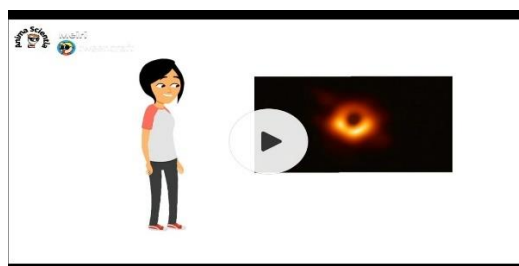
Figura 16 – Animação III: Formação e Características dos Buracos Negros (BNs).



Fonte: Autora da pesquisa, 2024³.

Depois, define buracos negros como objetos de densidade infinita, cuja atração gravitacional impede até mesmo a luz de escapar, e apresenta sua estrutura básica: singularidade e horizonte de eventos. Alicia usa analogias visuais, como a cama elástica e as cataratas do Niágara, para mostrar como o espaço-tempo se curva e estica objetos que se aproximam demais. Por fim, ela cita descobertas recentes, como as imagens de M87* e Sagittarius A*, demonstrando como observações modernas confirmam a teoria de Einstein e revelam os mistérios do universo (figura 17).

Figura 17 – Animação III: Formação e Características dos Buracos Negros (M87*).



Fonte: Autora da pesquisa, 2024.

³ Animação III disponível em: <https://youtu.be/5evHJYD5cT8?feature=shared>.

Para criar esta animação, incorporamos diversos elementos visuais que ilustram as etapas finais da evolução estelar: desde estrelas supermassivas em colapso até as formações resultantes, as anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros. Ao todo, a terceira animação tem duração de 8 minutos e 12 segundos.

A última animação (figura 18), com o título “Gravitação e Buracos Negros”, corresponde ao Roteiro IV (Apêndice A) e tem como objetivo promover uma revisão dos principais conceitos relacionados à gravitação. Por meio de uma abordagem didática e interativa, a animação retoma os fundamentos da gravitação universal, conectando-os ao processo de formação dos buracos negros, reforçando os conteúdos explorados anteriormente e consolidando o aprendizado dos estudantes.

Figura 18 – Animação IV: Revisão de Gravitação e Buracos Negros.



Fonte: Autora da pesquisa, 2024⁴.

Nesta última animação da sequência, alguns elementos visuais utilizados nas produções anteriores foram selecionados, adaptados e reaproveitados de forma estratégica, para a coesão estética e didática da narrativa. Com duração de 5 minutos e 19 segundos, a animação oferece reforço na continuidade do aprendizado.

Em síntese, o desenvolvimento das animações representou uma proposta inovadora e estratégica para o ensino da Gravitação Universal e da Física Moderna no Ensino Médio. A articulação entre recursos visuais, narrativas didáticas e a aplicação da Teoria da Aprendizagem Significativa possibilitou a construção de um material acessível.

4.5 ETAPAS E ESTRATÉGIAS DE COLETA DE DADOS

A organização sequencial dos tópicos segue um método que procura desenvolver o conhecimento de forma sequencial, iniciando com conceitos básicos, a gravitação newtoniana, e avançando para as complexas, a relatividade geral e buracos negros, isso significa uma sequência didática. Como Ugalde e Roweder (2020) definem, uma sequência didática bem

⁴ Animação IV disponível em: <https://youtu.be/1CF2MOJXwa8?feature=shared>.

elaborada contribui para a aprendizagem dos alunos, ajustando primeiro conteúdos simples e, em seguida, os complexos [48]. A sequência foi sistematizada ao longo de 4 encontros ou 4 etapas, somando 8 aulas. O quadro a seguir dispõe a organização integral da sequência didática que foi feita através de planos de aula (Apêndice B).

Quadro 3 – Organização da Sequência Didática.

Etapas	Descrição	Instrumentos de coletas de dados	Aulas	Objetivos
1º A Etapa – Apresentação e prospecção.	Apresentação da pesquisa e aplicação da Avaliação Diagnóstica.	O instrumento utilizado foi um questionário com perguntas abertas e fechadas.	2	Apresentar a pesquisa educacional e seus objetivos, e identificar os subsunçores básicos de Física clássica, relatividade geral e buracos negros.
2º A Etapa – Introdução aos conceitos de Gravitação.	Revisão de conceitos básicos de Física, introdução e exibição das animações sobre conceitos de gravitação.	As respostas dessa etapa foram registradas em questionário com duas perguntas abertas.	2	Promover a compreensão dos princípios fundamentais da gravitação universal de Newton.
3º A Etapa – Introdução à Relatividade Geral e Buracos Negros.	Introdução e exposição das animações que introduzem os conceitos de Relatividade Geral e Buracos Negros.	As respostas dessa etapa foram registradas em questionário contendo três perguntas sobre relatividade e duas perguntas sobre Buracos negros, ambas perguntas abertas.	2	Viabilizar conhecimento dos conceitos fundamentais da relatividade especial e geral. Fornecer aos alunos a formação e as características dos buracos negros.

4ª Etapa – Gravitação e a Introdução a Buracos Negros (uma revisão).	Revisão dos conceitos por intermédio das animações, seguida pela aplicação da Avaliação de Validação.	As respostas dessa etapa foram registradas em um questionário com perguntas abertas e fechadas, que foram divididas em duas; primeiro para os conceitos abordados durante a pesquisa e segundo para avaliar as animações.	2	Recapitular a Gravitação Universal, Teoria da Relatividade Geral e Buracos Negros. Identificar a aprendizagem final e eficácia das animações.
--	---	---	---	---

Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

As descrições a seguir apresentam os procedimentos metodológicos adotados e as estratégias utilizadas para a coleta de dados ao longo da pesquisa:

- A primeira etapa – A aula 01 teve início com a apresentação do contexto da pesquisa educacional, explicando aos alunos os objetivos do estudo e como sua participação contribui para o desenvolvimento de novas abordagens de ensino e a relevância do tema abordado. Em seguida, a execução da avaliação diagnóstica que contém 14 questões, sendo elas de múltipla escolha e discursivas. Nessa atividade, espera-se que os alunos demonstrem seus conhecimentos prévios sobre conceitos fundamentais como força, trajetórias elípticas e retilíneas, queda livre, aceleração centrípeta, peso e massa, além de avaliar sua familiaridade com temas mais avançados como gravitação, relatividade geral e buracos negros.
- Esta segunda etapa – correspondente à aula 02, iniciou com uma breve revisão dos conceitos básicos de Física. Em conformidade com os organizadores prévios, a Lei da Gravitação Universal foi introduzida no segundo momento. Na sequência, foi apresentada a animação virtual desenvolvida com o objetivo de auxiliar na visualização dos conceitos abordados. Ao final dessa abordagem, o aluno deve demonstrar seus conhecimentos sobre a relação entre a força gravitacional e o movimento de objetos, como a maçã e a Lua, além de explicar a determinação do valor da constante gravitacional.
- Esta terceira etapa – a aula 03 teve início com explicações introdutórias sobre a Teoria da Relatividade Geral (TRG) e os buracos negros. Em seguida, foram exibidas duas

animações virtuais, cada uma relacionada a um dos conteúdos abordados. Ao final, o aluno deve compreender o que afirmam os pressupostos da Teoria da Relatividade Especial, o que define a Teoria da Relatividade Geral, o conceito de curvatura do espaço-tempo segundo essa teoria, bem como entender o que ela descreve sobre a força gravitacional e sobre o horizonte de eventos de um buraco negro.

- A quarta e última etapa – a aula 04 iniciou com a exibição das animações virtuais de revisão dos conteúdos estudados ao longo da pesquisa. Na fase final, uma avaliação de validação foi executada, na qual os alunos responderam a questões para certificar a aprendizagem significativa dos conteúdos e a eficácia das animações virtuais como ferramenta didática.

A sequência foi preparada considerando desde os estudos de mecânica newtoniana à relatividade geral, para que haja melhor compreensão da interação gravitacional e está inteiramente alinhada com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, por relacionar novos conhecimentos aos subsunçores dos alunos ao introduzir conceitos de forma contextualizada e progressiva, através do uso de animações virtuais como ferramenta didática. Seguindo este raciocínio a seguir vamos explorar, descrever e analisar os dados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta uma análise qualitativa dos dados coletados ao longo das quatro aulas desenvolvidas com os alunos do segundo ano do Ensino Médio. Cada seção descreve as etapas da proposta didática, desde a apresentação da pesquisa e aplicação da avaliação diagnóstica, até a utilização de animações virtuais como recurso didático. As aulas foram organizadas para promover a compreensão progressiva dos conceitos de Gravitação, TRG e BNs. As respostas dos alunos e suas participações foram analisadas com base na aprendizagem significativa. A seguir, detalha-se o percurso didático e os principais resultados observados.

5.1 AULA 1: APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

No dia 22 de maio de 2024, foi apresentada aos alunos a proposta da pesquisa e realizada uma avaliação diagnóstica. Esta etapa consistiu em informá-los de que seriam convidados a revisar os conceitos da Gravitação Newtoniana. Posteriormente, em outros encontros, foram introduzidos aos fundamentos da Teoria da Relatividade Geral, com foco na discussão sobre buracos negros, com o auxílio de um produto educacional, como: as animações virtuais.

No primeiro momento deste encontro, para garantir os princípios éticos do estudo, foi disponibilizado aos alunos um documento assegurando a confidencialidade e o anonimato de suas informações pessoais, garantindo que seus nomes não seriam divulgados (Apêndice C). Em seguida, os discentes foram apresentados ao tema central da pesquisa e convidados a refletir sobre a relevância do estudo dos conteúdos abordados, compreendendo como esses conhecimentos contribuem para a ampliação da compreensão sobre o universo, o desenvolvimento do pensamento científico, o despertar do interesse por carreiras na área científica e a valorização da trajetória histórica da gravitação na construção do saber científico. Em conformidade com a BNCC [7]:

Na mesma direção, a contextualização histórica não se ocupa apenas da menção a nomes de cientistas e a datas da história da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura (Brasil, 2022, p.550).

Ainda no primeiro momento, de forma mais detalhada, foram apresentados aos estudantes o aplicativo *Tweencraft* e seus respectivos recursos: como a transição entre telas, a criação ou seleção de personagens, o uso de acessórios animados, a gravação de diálogos e a representação de emoções pelos personagens. De acordo com Moreira (2012), uma condição

necessária para a ocorrência da aprendizagem significativa é que o material de aprendizagem deve fazer sentido por si só e se conectar de forma clara e compreensível com os conhecimentos que o aluno já possui, sem ser algo confuso ou apenas decorativo [12]. As animações virtuais, aliadas aos conteúdos abordados e aos conhecimentos prévios dos alunos, devem compor um material potencialmente significativo para a aprendizagem. A figura 19 mostra o primeiro momento de apresentação da pesquisa para os alunos.

Figura 19 – Apresentação da pesquisa.



Fonte: Autora da pesquisa, 2024.

No segundo momento (figura 20) deste encontro, os 15 alunos participantes colaboraram respondendo a uma avaliação diagnóstica, com o objetivo de verificar os conhecimentos prévios (subsunçores) relacionados ao conteúdo que foi estudado nas próximas etapas. Os conteúdos prévios investigados foram: definição de força, trajetórias elípticas e retilíneas, queda livre, aceleração centrípeta, peso e massa, força gravitacional, terceira lei de Newton e buraco negro. Outro critério para aprendizagem significativa, segundo Moreira (2012, p. 8), é “que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado [12].”

Figura 20 – Aplicação da Avaliação Diagnóstica.



Fonte: Autora da pesquisa, 2024.

As respostas às questões de múltipla escolha foram contabilizadas e representadas graficamente, com o intuito de identificar quais conteúdos previamente mencionados

demandam maior atenção na elaboração de materiais didáticos mais adequados. Essa análise considerou os subsunçores apresentados pelos alunos, contribuindo também para orientar possíveis revisões conceituais mais aprofundadas, respeitando o ritmo e as necessidades de aprendizagem do grupo.

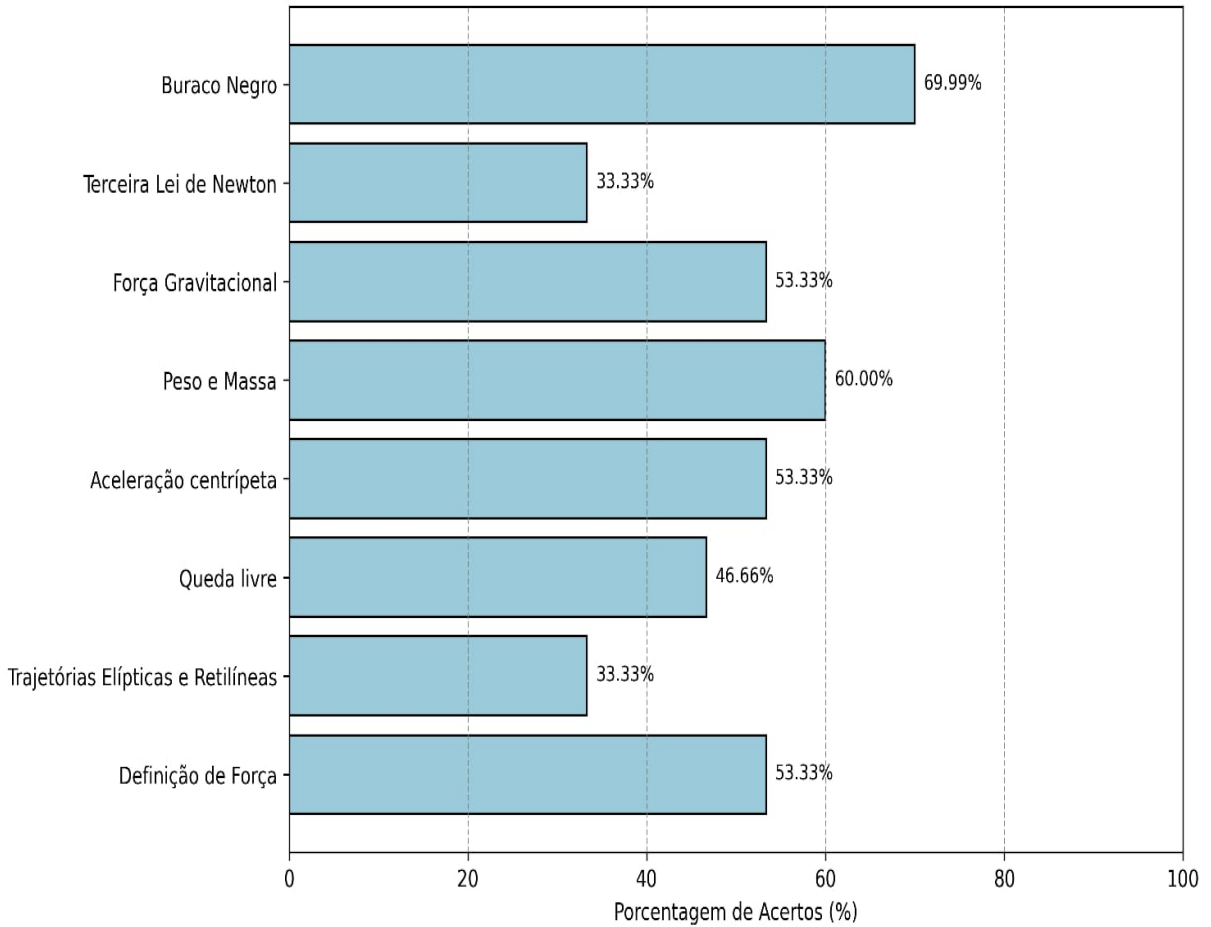
Os dados obtidos a partir da aplicação do questionário junto aos 15 alunos do segundo ano do Ensino Médio revelam aspectos importantes sobre os conhecimentos prévios e compreensões conceituais dos discentes em relação aos temas abordados. No total, foram aplicadas 14 questões, das quais nove eram de múltipla escolha (questões 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 13 e 14) com foco na compreensão de conceitos fundamentais relacionados à Física clássica e moderna. O plano de aula 01 do apêndice B contém este questionário.

Observa-se no gráfico 1 que as questões referentes à definição de força, aceleração centrípeta e força gravitacional obtiveram um percentual médio de 53,33% de acertos, demonstrando que metade dos alunos possui uma noção inicial adequada desses conceitos, embora ainda haja margem para aprofundamento. Esse resultado é relevante, uma vez que tais conceitos são estruturantes para a compreensão de fenômenos mais complexos, como o movimento dos corpos celestes. Por outro lado, temas como as trajetórias elípticas e retilíneas e a terceira lei de Newton apresentaram um percentual de acertos de apenas 33,33%, indicando a necessidade de ativar ou construir os subsunçores, por meio de estratégias como revisão de conteúdos. Estes resultados podem estar relacionados à ausência de vivências significativas anteriores.

A questão relacionada ao conceito de queda livre, cuja alternativa correta indicava que esse tipo de movimento é caracterizado por uma aceleração constante, apresentou um índice de acertos de 46,66%. Esse resultado sugere que quase metade dos alunos apresenta ausência no entendimento desse conceito, o que evidencia a necessidade de reforçar o conteúdo por meio de estratégias didáticas mais acessíveis, como exemplos retirados do cotidiano. Tais abordagens podem contribuir para tornar o conceito mais concreto e facilitar a aprendizagem significativa.

Por outro lado, a questão que abordava a diferença entre massa e peso obteve 60% de acertos. Esse percentual pode ser considerado um dado positivo, sobretudo porque essa distinção é, muitas vezes, fonte de confusão entre os estudantes; no senso comum, ambos os termos costumam ser usados como sinônimos.

Grafico 1 – Desempenho dos estudantes por conteúdo: Avaliação Diagnóstica e quantidade de acertos em porcentagem.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

No que se refere aos buracos negros, foram aplicadas duas questões: uma sobre a definição do fenômeno e outra sobre a identificação de sua representação visual. Foi realizada média aritmética e ambas alcançaram um índice de 69,99% de acertos, o que evidencia um elevado nível de interesse e assimilação por parte dos alunos. Esse resultado aponta para o potencial motivador que conteúdos como este possuem no processo de ensino-aprendizagem.

Isto se comprova com a aplicação das questões 6 e 7 do questionário, que buscou investigar o grau de familiaridade dos estudantes no que se refere aos objetos compactos como: protoestrelas, supergigantes, supernovas, estrelas de nêutrons e buracos negros. Os dados revelam que 60% dos 15 alunos participantes afirmaram já ter ouvido falar sobre ao menos um dos termos listados. Dentre esse grupo, todos os estudantes mencionaram os buracos negros como o termo com o qual tinham mais familiaridade, o que evidencia o destaque que esse fenômeno desperta no imaginário coletivo e no interesse dos jovens.

Quando questionados sobre a origem desse conhecimento, os alunos apontaram majoritariamente a internet como principal fonte de informação. Isso demonstra a forte presença das mídias digitais na construção dos saberes informais, especialmente entre adolescentes que, muitas vezes, têm seu primeiro contato com temas científicos por meio de vídeos, documentários, redes sociais e plataformas de streaming. Loureiro (2019), revela que há vantagens em utilizar as tecnologias de informação e comunicação no ensino de Física, essas vantagens são a utilização de recursos como as animações virtuais [21].

Apesar disso, nenhum dos alunos relatou já ter participado de cursos ou palestras sobre gravitação e buracos negros, seja no ambiente escolar ou em espaços de divulgação científica. Esse dado é significativo, pois revela uma lacuna entre o interesse espontâneo pelo tema, estimulado pela curiosidade e pelo acesso a conteúdos digitais, e a falta de oportunidades formais de aprofundamento e discussão crítica desses conhecimentos no contexto escolar. Visto que Moreira (2021), evidencia que há diversos desafios no ensino de Física sendo importante despertar o interesse dos alunos pela disciplina [19].

A questão 8 do questionário teve como objetivo verificar o grau de interesse dos estudantes em aprender sobre o universo e seus fenômenos, buscando identificar a disposição afetiva e cognitiva dos alunos em relação ao estudo da Astronomia e da Física Moderna. Os resultados foram expressivos: 80% dos 15 alunos participantes assinalaram a alternativa “a”, indicando interesse em estudar o universo, seus mistérios e descobertas. Esse dado revela uma importante abertura dos discentes à exploração de conteúdos científicos que, embora muitas vezes não estejam diretamente ligados ao cotidiano escolar, despertam curiosidade, encantamento e desejo de compreender a realidade que nos cerca. Em concordância com Moreira (2021), uma das variáveis para ocorrência de Aprendizagem Significativa é a predisposição para aprender, que podemos enunciar numa linguagem cotidiana dizendo que “aprendemos se queremos”.

As questões 11 e 12 do questionário buscaram avaliar o conhecimento prévio dos estudantes sobre a TRG. Essa etapa teve como objetivo verificar se os alunos já haviam tido contato com esse conceito e, caso afirmativo, se conseguiam identificar corretamente um de seus principais aspectos. Os resultados revelaram que 66,66% dos alunos afirmaram nunca ter ouvido falar sobre a TRG. Por outro lado, 33,33% dos alunos declararam ter algum conhecimento prévio sobre o assunto. Dentre esses, apenas um aluno (representando cerca de 6,66% do total) conseguiu identificar corretamente que a teoria sugere que a massa de um objeto pode alterar a geometria do espaço-tempo ao seu redor.

De forma geral, os dados analisados permitem compreender quais conceitos já se encontram relativamente consolidados entre os discentes e quais ainda exigem reforço. Essa análise contribui diretamente para a elaboração de materiais didáticos mais eficazes e personalizados, respeitando os subsunçores existentes e favorecendo a aprendizagem significativa conforme proposto por Ausubel. Além disso, os resultados reforçam a importância de abordagens interativas e visualmente atrativas, como o uso de animações virtuais, para facilitar a compreensão de temas complexos.

5.2 AULA 2: ANIMAÇÕES VIRTUAIS SOBRE A INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE GRAVITAÇÃO

O dia 12 de junho de 2024, 20 dias após a aula 1, foi marcado pela realização do segundo encontro entre os estudantes e a pesquisadora. Esta etapa da pesquisa foi estruturada em quatro momentos distintos, que buscaram promover uma experiência de aprendizagem significativa e contínua. Inicialmente, realizou-se uma breve revisão dos conceitos fundamentais investigados na avaliação diagnóstica. Em seguida, foi apresentada uma explicação introdutória sobre o tema principal do encontro. No terceiro momento, as animações virtuais construídas com base nos subsunçores identificados foram aplicadas como recurso central da proposta. Por fim, foi aplicado um questionário discursivo composto por duas questões.

No primeiro momento do encontro, foi realizada uma revisão introdutória dos conteúdos fundamentais com o objetivo de facilitar a construção de novos aprendizados. A estratégia adotada partiu da premissa de que a retomada de saberes prévios, especialmente quando contextualizada com exemplos e analogias do cotidiano, contribui significativamente para o desenvolvimento de uma aprendizagem mais significativa, conforme os princípios da teoria de Ausubel.

Foram abordados temas como:

- Trajetória elíptica e retilínea, iniciando pela definição geral de trajetória, seguida da distinção entre os dois tipos, cada qual ilustrada por situações concretas do dia a dia.
- Em seguida, trabalhou-se o conceito de queda livre, suas características principais e exemplos que facilitam sua visualização no contexto da rotina dos estudantes.
- Na sequência, exploraram-se os conceitos de massa e peso, enfatizando suas diferenças, definições e aplicações práticas no cotidiano.

- O tema força e movimento também foi retomado, com foco na definição de força e nas Leis de Newton: a Primeira Lei (Lei da Inércia), a Segunda Lei (Relação entre força e aceleração) e a Terceira Lei (Ação e Reação), todas contextualizadas com exemplos acessíveis aos alunos.
- Por fim, foram introduzidos os conceitos de aceleração centrípeta e força centrípeta, também acompanhados de exemplos para facilitar a compreensão.

Essa revisão não teve o intuito apenas de retomar conteúdos, mas de possibilitar uma compreensão mais clara e articulada dos conceitos que servirão de base para o aprofundamento posterior. O reforço desses fundamentos representa uma etapa essencial no processo de construção de um conhecimento duradouro e integrado. Portanto, obdecemos os três critérios para a ocorrência de aprendizagem significativa que segundo Moreira (2021), são [16]:

[...] 1. conhecimentos prévios adequados, especificamente relevantes, para dar significado a novos conhecimentos; 2. predisposição para aprender, intenção de aprender, querer aprender; 3. materiais instrucionais potencialmente significativos, que fazem sentido para o aprendiz e podem despertar seu interesse (Moreira, 2021, p. 29).

No segundo momento do encontro, os estudantes foram introduzidos ao conteúdo central da aula: a Lei da Gravitação Universal de Newton. A abordagem adotada teve como objetivo promover a compreensão conceitual e contextualizada. Durante a explicação, foi destaque a relação entre a gravitação e o movimento dos corpos celestes, evidenciando que as trajetórias dos planetas ao redor do Sol são elípticas. Neste contexto, a força centrípeta foi trabalhada como elemento essencial para a manutenção dos corpos em órbita, conectando os conceitos de força e aceleração centrípeta à atuação da gravidade.

A gravitação newtoniana foi então apresentada de forma gradual. Inicialmente, discutiu-se seu enunciado e sua importância para a compreensão dos fenômenos gravitacionais, seguida da ilustração de sua aplicação em exemplos práticos. Em seguida, a fórmula da lei foi introduzida, com atenção especial à constante gravitacional G , seu significado e valor. Essa etapa da aula teve como propósito não apenas transmitir informações, mas despertar a curiosidade dos alunos e estimular o pensamento crítico sobre os princípios que regem o universo, valorizando o processo de construção ativa do conhecimento científico.

No terceiro momento, foram exibidas animações virtuais (figura 21) com o título de “Introdução aos conceitos de gravitação”. Esse material foi desenvolvido de forma cautelosa com base nos resultados da avaliação diagnóstica aplicada anteriormente, no primeiro encontro, permitindo que a construção do conteúdo considerasse os subsunçores identificados, ou seja,

os conhecimentos prévios dos alunos, conforme propõe a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

Figura 21 – Exibição das animações sobre a introdução aos conceitos de gravitação.



Fonte: Autora da pesquisa, 2024.

No último momento deste encontro, os 15 estudantes discentes (figura 22) foram convidados a responder a um questionário composto por duas questões discursivas, com o objetivo de avaliar possíveis progressos na aprendizagem sobre os conceitos da gravitação newtoniana. Essa etapa foi pensada como um espaço de reflexão e expressão individual, permitindo que os alunos articulassem, com suas próprias palavras, os conhecimentos adquiridos ao longo da atividade. O questionário está disposto no plano de aula 02 do apêndice B.

Figura 22 – Aplicação do questionário sobre a gravitação newtoniana.



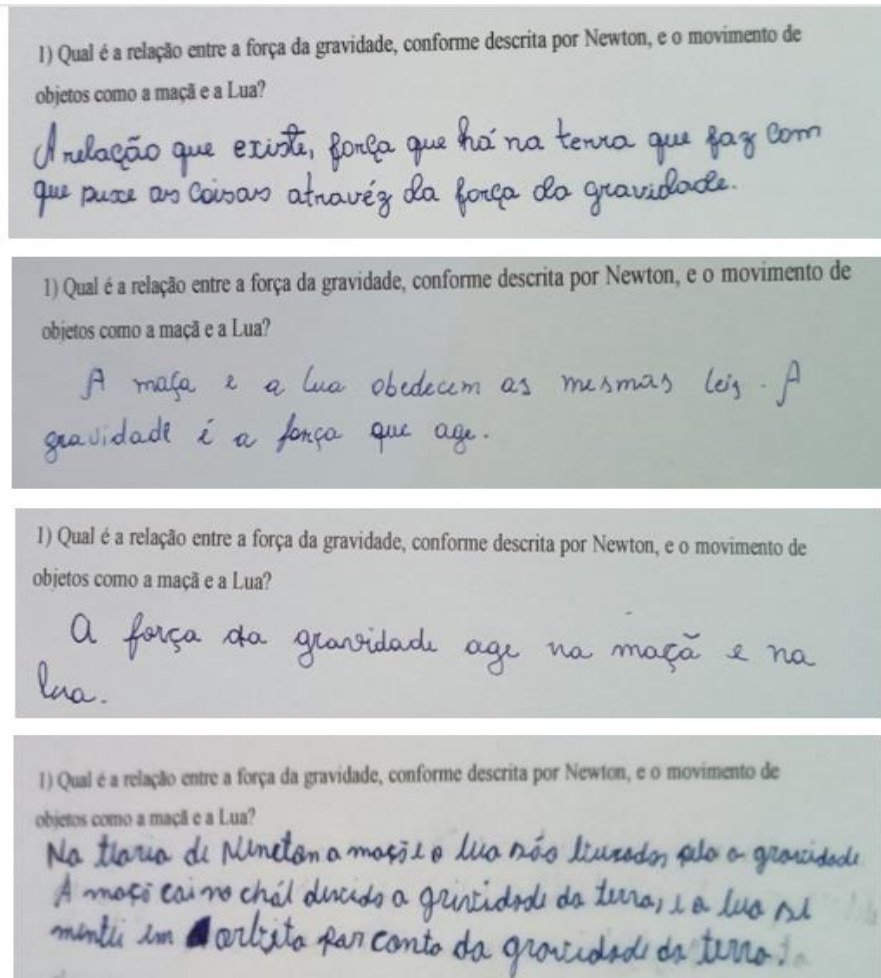
Fonte: Autora da pesquisa, 2024.

As respostas foram analisadas de forma qualitativa, com base em evidências de tipos de aprendizagem significativa e os alunos serão identificadas por meio das letras A a O, correspondendo às quinze primeiras letras do alfabeto latino, de modo a preservar a confidencialidade dos participantes.

- Questão 1: Qual é a relação entre a força da gravidade, conforme descrita por Newton, e o movimento de objetos como a maçã e a Lua?

A maioria dos alunos demonstrou ter assimilado o princípio fundamental da gravitação proposto por Newton, reconhecendo que a mesma força gravitacional atua tanto sobre objetos próximos à superfície terrestre (como a maçã) quanto sobre corpos celestes (como a Lua). As respostas, embora diversas na formulação, apresentaram uma compreensão aproximada (figura 23).

Figura 23 – Respostas dos alunos *A*, *D*, *H* e *K*, respectivamente.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

O aluno *A* afirmou que existe uma força na Terra que puxa os objetos por meio da gravidade, enquanto o aluno *D* destacou que "a maçã e a Lua obedecem às mesmas leis". Já a aluna *H* escreveu que "a força da gravidade age na maçã e na Lua", e a resposta do aluno *K* fez alusão direta à teoria newtoniana ao apontar que "a maçã cai no chão devido à gravidade da Terra e a Lua se mantém em órbita pela mesma força gravitacional". Essas colocações sugerem que os estudantes conseguiram articular os conceitos aprendidos durante as aulas e as animações com exemplos do cotidiano e com fenômenos astronômicos, reconhecendo a universalidade da gravidade segundo a perspectiva newtoniana. Além disso, a resposta do aluno

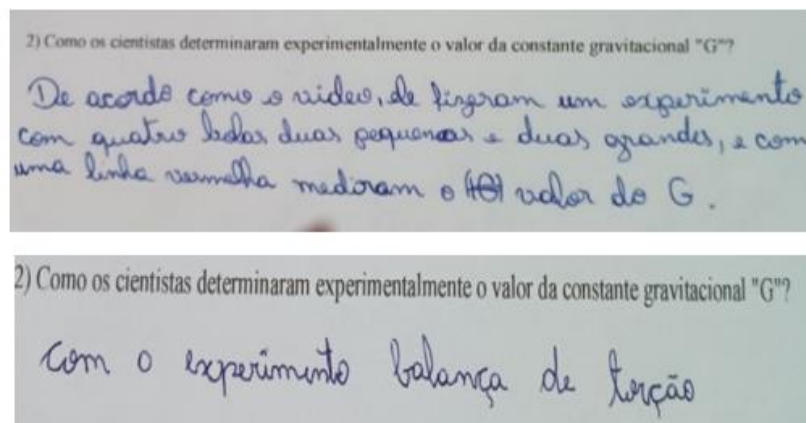
K , indica que compreendeu a universalidade da gravitação e conectou conceitos físicos a situações concretas (queda de objetos e órbita da Lua. Conforme explica Moreira (1999), estas respostas são clara manifestações da aprendizagem significativa do tipo conceitual sobre a gravidade [18].

- Questão 2: Como os cientistas determinaram experimentalmente o valor da constante gravitacional "G"?

A segunda questão discursiva propôs aos estudantes a reflexão sobre um aspecto importante da Física experimental: como os cientistas determinaram o valor da constante gravitacional universal (G). Este conceito, frequentemente pouco explorado em sala de aula, envolve o entendimento do experimento realizado por Henry Cavendish, conhecido como o experimento da balança de torção.

Entre os 15 alunos participantes, quatro se destacaram ao apresentar respostas que, embora com diferentes níveis de aprofundamento e precisão, indicam uma compreensão básica da metodologia científica utilizada para se obter o valor da constante gravitacional. O aluno B , por exemplo (figura 24), mencionou as animações e descreveu que o experimento foi realizado com “quatro bolas, duas pequenas e duas grandes”, utilizando uma “linha vermelha” para medição. Apesar da imprecisão nos termos, a resposta revela que o aluno compreendeu a estrutura básica do experimento, ainda que de forma descritiva e com base em recursos audiovisuais.

Figura 24 – Respostas dos alunos B e H .



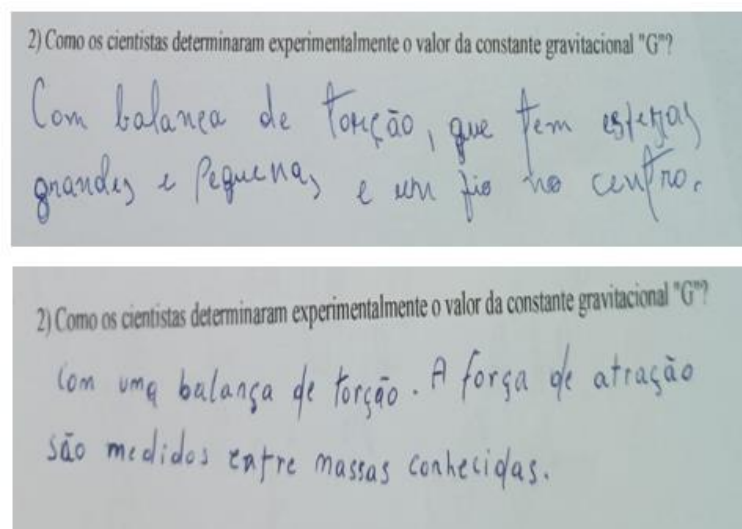
Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

O aluno H (figura 24) foi objetivo ao afirmar que a determinação foi feita por meio de uma “balança de torção”, evidenciando familiaridade com o nome do experimento, mesmo sem detalhamento do procedimento. Moreira (2021), caracteriza a aprendizagem significativa do

tipo representacional como a visualização de símbolos e objetos [16]. Ambos os alunos em suas respostas demonstram a criação de uma representação simbólica concreta a partir da visualização da animação, apontando a evidência de aprendizagem representacional.

Os alunos *J* e *M* (figura 25) foram os que mais se aproximaram de uma explicação conceitualmente precisa. O aluno *J* descreveu o experimento como uma balança com esferas grandes e pequenas ligadas por um fio, enquanto o aluno *M* mencionou explicitamente que a “força de atração é medida entre massas conhecidas”, o que demonstra compreensão tanto da lógica experimental quanto da relação entre massa, distância e força gravitacional. Essa afirmação demonstra que o aluno entendeu o princípio experimental da medição da força gravitacional, utilizando proposições que articulam os conceitos de força, massa e método científico, o que segundo Moreira (1999), é característica essencial da aprendizagem proposicional [18].

Figura 25 – Respostas dos alunos *J* e *M*, respectivamente.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

Essas respostas indicam que, embora o conceito de constante gravitacional não seja intuitivo, as estratégias didáticas adotadas, como o uso de animações virtuais (material potencialmente significativo), foram eficazes para gerar curiosidade e promover uma compreensão inicial entre os estudantes. Os alunos demonstraram possuir subsunçores ativados e motivação para aprender. As respostas discursivas evidenciaram compreensão, integração e expressão dos conceitos aprendidos. Em resumo, esta aula indicou a ocorrência de aprendizagem significativa, conforme os três critérios propostos por Ausubel.

5.3 AULA 3: ANIMAÇÕES VIRTUAIS SOBRE A RELATIVIDADE GERAL E A FORMAÇÃO DOS BURACOS NEGROS

O terceiro encontro ocorreu no dia 19 de junho de 2024. Nesta ocasião, os estudantes participaram de três momentos que foram organizados com o objetivo de promover uma aprendizagem mais significativa sobre o tema da gravitação. A princípio, buscou-se introduzir os conceitos fundamentais da Teoria da Relatividade Geral e a noção de buracos negros. Em um segundo momento, foram apresentadas animações virtuais desenvolvidas especialmente para tornar os conteúdos mais concretos e acessíveis, para favorecer a visualização dos fenômenos discutidos. Por fim, os alunos participaram de um questionário composto por cinco questões discursivas.

No primeiro momento da atividade, os alunos foram informados sobre os objetivos da aula (figura 26), com foco na compreensão de conceitos fundamentais relacionados à gravitação, iniciando pela gravitação newtoniana. Destacou-se, nesse contexto, a LGU, conduzindo os estudantes a refletirem se a explicação proposta por Newton seria suficiente para descrever todos os fenômenos gravitacionais. A partir dessa provocação, foram introduzidos os fundamentos da TRE e, posteriormente, da TRG, culminando com a apresentação de um dos objetos teóricos resultantes dessa Teoria: o buraco negro.

Figura 26 –Introdução aos conceitos de TRE, TRG e BN.



Fonte: Autora da pesquisa, 2024.

Durante a explanação sobre a TRE, os alunos foram inicialmente apresentados à noção de referencial inercial, seguida do primeiro postulado da teoria, cuja definição foi acompanhada de exemplos cotidianos para facilitar sua compreensão. Em seguida, abordou-se o segundo postulado, também contextualizado com situações do dia a dia, incluindo a introdução da equação $E = mc^2$, da qual a aplicação foi ilustrada com exemplos simples para os estudantes. Na sequência, explorou-se a TRG. Os alunos puderam compreender sua definição por meio de explicações e imagens que ilustravam a curvatura do espaço-tempo, como representada

visualmente por uma cama elástica deformada que auxiliou como base para a explicação das definições de espaço e tempo, também contextualizadas com situações do cotidiano.

Ao final, os alunos foram introduzidos ao conceito de buracos negros. Sendo discutidos o que são e como se formam a partir do colapso gravitacional, além de qual é a estrutura básica que os compõe, sempre com o cuidado de relacionar os conteúdos a exemplos e linguagens próximas da realidade dos estudantes.

No segundo momento, os alunos foram convidados a assistir duas animações virtuais. A primeira, intitulada “Introdução à Relatividade Geral”, destacando de forma acessível e visual o conceito de curvatura do espaço-tempo (figura 27). A segunda animação, denominada “Formação e Características dos Buracos Negros”, que abordou de maneira gradual o processo de formação e suas propriedades fundamentais, como horizonte de eventos e singularidade.

Figura 27 – Exibição das animações sobre a introdução à TRG.



Fonte: Autora da pesquisa, 2024.

Essas animações foram produzidas com base nas respostas fornecidas pelos estudantes nas questões discursivas aplicadas anteriormente, cujo foco foi a LGU. A análise qualitativa dessas respostas permitiu identificar o nível de compreensão dos alunos e suas concepções prévias sobre os temas abordados. A partir dessa leitura, foi possível alinhar o conteúdo das animações aos subsunçores identificados, de acordo com os princípios da TAS, respeitando o ritmo e a diversidade cognitiva da turma.

No terceiro e último momento deste encontro, os 15 estudantes puderam responder a um conjunto de cinco questões discursivas elaboradas de forma a avaliar sua compreensão dos conteúdos abordados ao longo dos encontros. As três primeiras questões abordaram aspectos fundamentais das teorias da relatividade especial e geral, enquanto as duas últimas foram direcionadas ao tema dos buracos negros, incluindo sua formação e características.

As respostas foram examinadas por meio de uma análise qualitativa, pautada na identificação de indícios de aprendizagem significativa e seus tipos. No plano de aula 03 do apêndice B, o questionário está disponível.

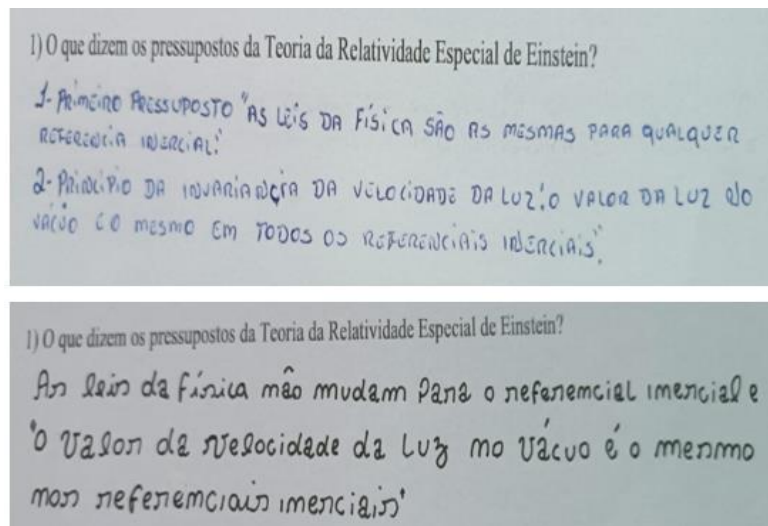
I - Introdução à Relatividade Geral de Einstein

- Questão 1: O que dizem os pressupostos da Teoria da Relatividade Especial de Einstein?

A aplicação da questão sobre os pressupostos da TRE teve como finalidade verificar a compreensão conceitual dos alunos após a mediação didática. As respostas revelaram o nível de acertos dos conteúdos apresentados ao longo dos encontros. A seguir, destacam-se dois resultados obtidos pelos alunos *F* e *M* (figura 28).

A resposta do aluno *F* demonstra um bom nível de apropriação conceitual dos dois principais postulados da TRE de Einstein. Há evidências de aprendizagem significativa, pois o aluno demonstra ter assimilado os dois pressupostos fundamentais, mesmo que com uma linguagem ainda próxima da oralidade. Este apresentou os dois pressupostos com estrutura e articulação, demonstrando compreensão conceitual e capacidade de organizar os fundamentos em forma de proposições.

Figura 28 – Respostas dos alunos *F* e *M*.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

O aluno *M* também apresenta os dois pressupostos principais da teoria, ainda que de forma mais sintética. A resposta demonstra compreensão dos pontos centrais, indicando os fundamentos da Relatividade Especial. A explicação, embora mais enxuta, está conceitualmente correta e demonstra um nível razoável de internalização dos conteúdos e evidência de aprendizagem de conceitos.

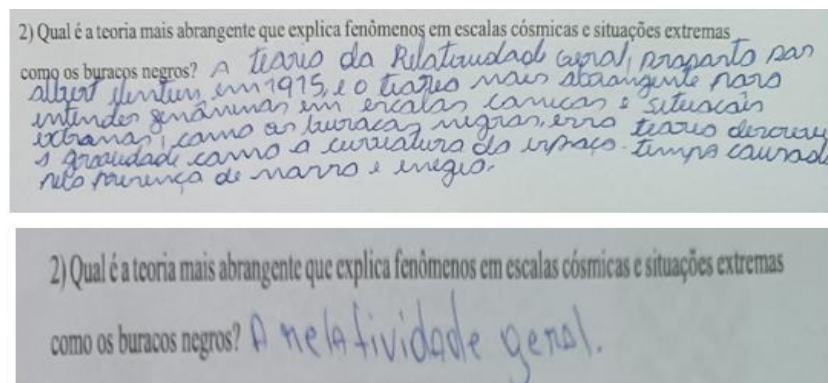
O aluno *F* apresenta uma resposta mais estruturada e próxima do formato tradicional encontrado em livros didáticos, enquanto o aluno *M* oferece uma síntese precisa, embora menos detalhada. Em ambos os casos, as respostas estão corretas do ponto de vista conceitual, indicando que ambos os alunos assimilaram os conteúdos de maneira significativa, ainda que com diferentes níveis de profundidade e clareza. Como Moreira (1999), define a aprendizagem conceitual como a compreensão significativa dos conceitos e aprendizagem proposicional como a capacidade de entender proposições [18].

De forma geral, 13 dos 15 estudantes responderam corretamente, demonstrando não apenas domínio conceitual, mas também clareza na expressão das ideias. Isso indica que a abordagem adotada favoreceu uma aprendizagem significativa. O envolvimento dos alunos refletiu o sucesso da proposta pedagógica ao tornar acessível um conteúdo de alta complexidade.

- Questão 2: Qual é a Teoria mais abrangente que explica fenômenos em escalas cósmicas e situações extremas como os buracos negros?

A proposta desta questão teve como propósito analisar se os estudantes conseguiram compreender, de forma geral, qual teoria explica fenômenos extremos como os buracos negros. A questão buscava avaliar o reconhecimento da TRG como resposta. A seguir, destacam-se dois resultados obtidos pelos alunos *C* e *O* (figura 29).

Figura 29 – Respostas dos alunos *C* e *O*.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

A resposta do aluno *C* está completa, correta e conceitualmente precisa. O estudante nomeou adequadamente a teoria, contextualizou historicamente sua origem, explicou seu campo de aplicação e descreveu corretamente sua principal proposta: a gravidade como curvatura do espaço-tempo. Além de demonstrar domínio conceitual, a resposta está bem estruturada, evidenciando uma aprendizagem significativa e uma apropriação sólida do

conteúdo.

Embora a resposta do aluno *O* esteja correta em termos de conteúdo, ela é breve e limitada. O estudante identifica a teoria certa, mas não apresenta nenhuma justificativa. Ainda assim, o fato de ter mencionado corretamente a teoria mostra que há pelo menos uma associação básica entre o conteúdo estudado e a questão proposta.

O aluno *C* apresenta uma resposta clara e contextualizada, com forte evidência de aprendizagem significativa. O aluno *O* apresenta uma resposta correta sobre a teoria e direta, apesar de não haver justificativa, ainda assim indicando uma aprendizagem significativa. Essa comparação evidencia a importância de estimular os alunos a desenvolverem suas respostas de forma mais elaborada. No entanto, estas qualidades de acordo com Moreira (2021), em ambos indicam uma aprendizagem conceitual sobre a TRG [16].

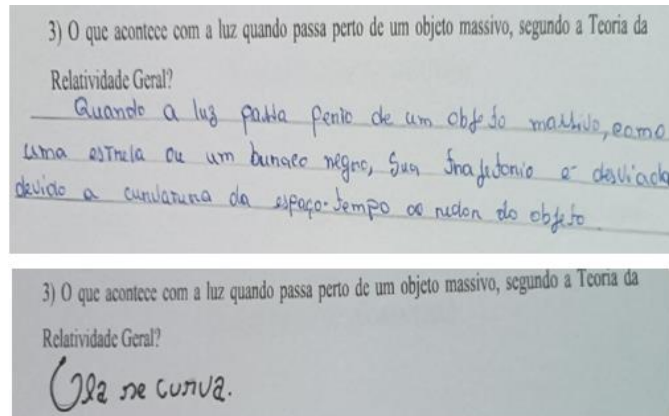
Todos os 15 alunos responderam corretamente, identificando a TRG como a teoria mais abrangente para situações em escalas cósmicas. Isso demonstra que, mesmo em um tema complexo, os estudantes conseguiram assimilar o conteúdo de forma clara. O resultado é um indicativo positivo de que houve aprendizado significativo nesse ponto específico da atividade, respeitando os três critérios para a sua ocorrência.

- Questão 3: O que acontece com a luz quando passa perto de um objeto massivo, segundo a Teoria da Relatividade Geral?

A questão proposta teve como alvo avaliar a compreensão dos estudantes sobre um dos efeitos fundamentais da Teoria da Relatividade Geral: o desvio da luz ao passar próximo a objetos massivos. Esse conceito é central para entender a natureza da gravidade em grandes escalas. As respostas permitiram observar diferentes níveis de apropriação do conteúdo.

A resposta do aluno *E* (figura 30) está conceitualmente correta, bem elaborada e tecnicamente precisa. O estudante citou exemplos relevantes de objetos massivos, explicou que a trajetória da luz é desviada e associa corretamente esse desvio à curvatura do espaço-tempo. Essa resposta demonstra aprendizagem significativa, pois o aluno não apenas identificou o fenômeno corretamente (desvio da luz), como também articulou a explicação com os fundamentos da teoria de Einstein. Este relacionou imagens com proposição, integrando representação simbólica (curvatura), conceito físico (gravidade) e explicação verbal.

Figura 30 – Respostas dos alunos *E* e *N*.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

A resposta do aluno *N* (figura 30) está correta e é breve. O estudante identifica o fenômeno central (a luz se curva), o que indica que compreendeu um dos efeitos da Relatividade Geral. Aluno *N* identificou a ideia central, porém sem desenvolver, mas evidencia aprendizagem representacional.

O aluno *E* demonstrou domínio do conteúdo, com uma resposta bem estruturada, conectando o fenômeno da curvatura da luz aos princípios da TRG, este apresentou os três tipos de aprendizagem significativa. O aluno *N* apresentou uma resposta correta e direta, com características de aprendizagem do tipo mais básico: a representacional. Ambos indicam que assimilaram a ideia central do fenômeno, mas em níveis distintos de profundidade.

Cerca de metade dos alunos demonstrou dificuldade em expressar com clareza ou correção o conceito de desvio da luz causado pela curvatura do espaço-tempo. Isso indica a necessidade de reforçar esse ponto por meio de estratégias mais visuais e contextualizadas. Ainda assim, o interesse pelo tema se manteve, e as respostas mostram potencial para aprofundamento com mediação adequada.

Os conteúdos de TRE e TRG nesta etapa da pesquisa foram compreendidos de forma satisfatória, apontando qualidade na identificação inicial dos conhecimentos prévios e animações virtuais como material potencialmente significativo. Além de indicativos de aprendizagem significativa, os três tipos principais apresentados por Ausubel foram identificados.

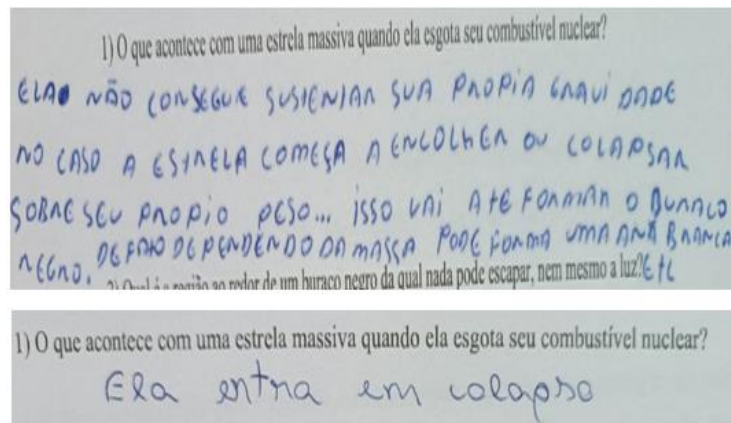
II - Introdução a Buracos Negros

- Questão 1: O que acontece com uma estrela massiva quando ela esgota seu combustível nuclear?

A questão sobre o destino final de uma estrela massiva após o esgotamento de seu combustível nuclear teve como intuito verificar a compreensão dos alunos acerca do colapso gravitacional. Esse fenômeno é essencial para entender a formação de objetos como estrelas de nêutrons e buracos negros. A seguir, destacamos as respostas dos alunos *G* e *I* (figura 31).

A resposta do aluno *G* está conceitualmente correta e mostra bons sinais de compreensão do processo físico envolvido, no qual reconheceu que, sem combustível nuclear, a estrela não consegue mais equilibrar sua gravidade interna, usou os termos “colapsar” e “encolher”, que estão corretos dentro do contexto e citou a possibilidade de diferentes destinos estelares (buraco negro ou anã branca). A resposta demonstra uma tentativa bem estruturada de articular o conceito, com vocabulário pertinente e raciocínio coerente. Pode-se considerar que o aluno compreende o fenômeno em linhas gerais, ainda que precise de ajuste na distinção entre tipos de estrelas e seus colapsos finais.

Figura 31 – Respostas dos alunos *G* e *I*.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

A resposta do aluno *I* está correta, mas sucinta. A frase identifica o conceito central do processo, o colapso gravitacional, que de fato ocorre quando uma estrela esgota seu combustível nuclear. No entanto, a resposta não desenvolve o raciocínio. Essa resposta indica uma compreensão pontual.

O aluno *G* demonstrou uma compreensão razoável e articulada do processo de colapso estelar, e o aluno *I* apresentou uma resposta tecnicamente correta, mas breve, sem aprofundamento ou contextualização. Ambas as respostas indicam que os estudantes tiveram contato com o conceito, mas o nível de compreensão varia, mas ambos evidenciam uma aprendizagem conceitual, na qual Praia (2000), explica a aprendizagem de conceitos como um processo onde novos conceitos se relacionam de forma significativa com os subsunçores [17].

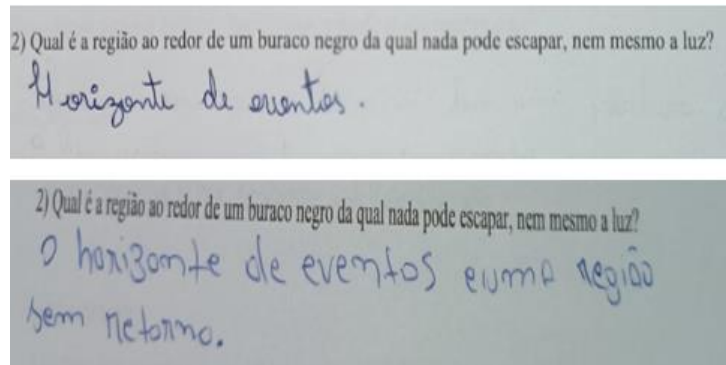
Em geral, os alunos demonstraram um conhecimento razoável sobre o processo de colapso gravitacional, com alguns mostrando domínio mais detalhado do tema. Apesar de pequenas imprecisões, é possível perceber que a maioria compreendeu a ideia central e corresponderam a uma aprendizagem significativa. O interesse e a participação refletem uma base sólida para aprofundamentos futuros.

- Questão 2: Qual é a região ao redor de um buraco negro na qual nada pode escapar, nem mesmo a luz?

A questão sobre a estrutura do buraco negro teve como objetivo avaliar o entendimento dos alunos em relação a um dos conceitos mais importantes da astrofísica: o horizonte de eventos. Este é um ponto fundamental para compreender o comportamento extremo da gravidade. As respostas revelaram o nível de familiaridade dos estudantes com o tema.

A resposta do aluno *L* (figura 32) está correta e direta. Ao identificar o termo "horizonte de eventos", o estudante demonstra familiaridade com a nomenclatura essencial da estrutura de um buraco negro. No entanto, por ser uma resposta curta e sem explicação adicional. Mesmo assim, a resposta cumpre o objetivo da questão, indicando que o aluno associou corretamente o nome da região à sua função, portanto há existência de aprendizagem significativa conceitual.

Figura 32 – Respostas dos alunos *L* e *O*.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

A resposta do aluno *O* (figura 32) está correta e levemente elaborada em relação ao aluno *L*. Além de identificar corretamente o horizonte de eventos, o aluno acrescenta a expressão "região sem retorno", que é uma descrição conceitualmente precisa e didaticamente adequada. Esse complemento demonstra que o aluno reconhece o termo técnico e entende seu significado físico da estrutura, o que é um forte indicativo de aprendizagem significativa conceitual e representacional.

Ambos os alunos responderam corretamente à questão. O aluno *L* forneceu uma resposta

direta e correta, mas sem contextualização. O aluno *O* demonstrou um nível de compreensão mais aprofundado ao explicar brevemente o conceito. As duas respostas indicam que os alunos assimilaram o conteúdo de forma satisfatória. O uso do termo técnico correto por ambos revela que a mediação sobre a estrutura dos BNs foi bem recebida, e que o horizonte de eventos é um conceito que os estudantes conseguiram reconhecer com clareza.

A maioria dos estudantes foi assertiva em suas respostas, demonstrando que compreenderam corretamente a função e o significado do horizonte de eventos. Essa assimilação indica um bom aproveitamento das atividades didáticas e aprendizagem significativa. O envolvimento com um conteúdo tão desafiador mostra o potencial dos alunos para aprofundamentos futuros sobre os BNs.

5.4 AULA 4: ANIMAÇÕES VIRTUAIS DE REVISÃO E AVALIAÇÃO DE VALIDAÇÃO

Este último encontro, correspondente à etapa final da proposta didática que foi realizado no dia 26 de junho de 2024. Na ocasião, os alunos participaram de dois momentos fundamentais para a identificação de validação de aprendizagem significativa, conforme os pressupostos teóricos de Ausubel. No primeiro momento, foram exibidas animações virtuais que retomaram e reforçaram os principais conceitos abordados ao longo da pesquisa, com o objetivo de promover uma melhor consolidação do conteúdo. Em seguida, os estudantes tiveram a oportunidade de demonstrar e avaliar seus conhecimentos por meio de atividades reflexivas, permitindo uma análise qualitativa de sua compreensão sobre os temas trabalhados. O envolvimento dos discentes revelou progresso cognitivo, interesse e motivação em compreender fenômenos complexos da Física.

No primeiro momento deste encontro (figura 33), os alunos assistiram às animações virtuais que reuniam, todo o conteúdo abordado ao longo da pesquisa. As animações foram elaboradas com ênfase nos conceitos que apresentaram menor índice de compreensão nas avaliações discursivas anteriores, como os efeitos da TRG, especialmente o desvio da luz por corpos massivos e o processo de formação dos buracos negros. Apesar dos ótimos resultados obtidos nas questões relacionadas à LGU, optou-se por revisá-la também, a fim de reforçar o conhecimento prévio e favorecer uma aprendizagem mais sólida e significativa.

Figura 33 – Exibição das animações de revisão.



Fonte: Autora da pesquisa, 2024.

No segundo momento deste encontro (figura 34), foi aplicado o questionário final, com o objetivo de verificar a ocorrência de aprendizagem significativa entre os alunos e identificar seus diferentes tipos, conforme a teoria de Ausubel. Além disso, o questionário incluiu uma parte dedicada à avaliação das animações utilizadas ao longo da proposta didática, buscando compreender se esses recursos despertaram maior interesse pelo conteúdo e contribuíram para facilitar sua compreensão. Os questionários utilizados nesta etapa encontram-se disponíveis no Apêndice B, inseridos no Plano de Aula 04.

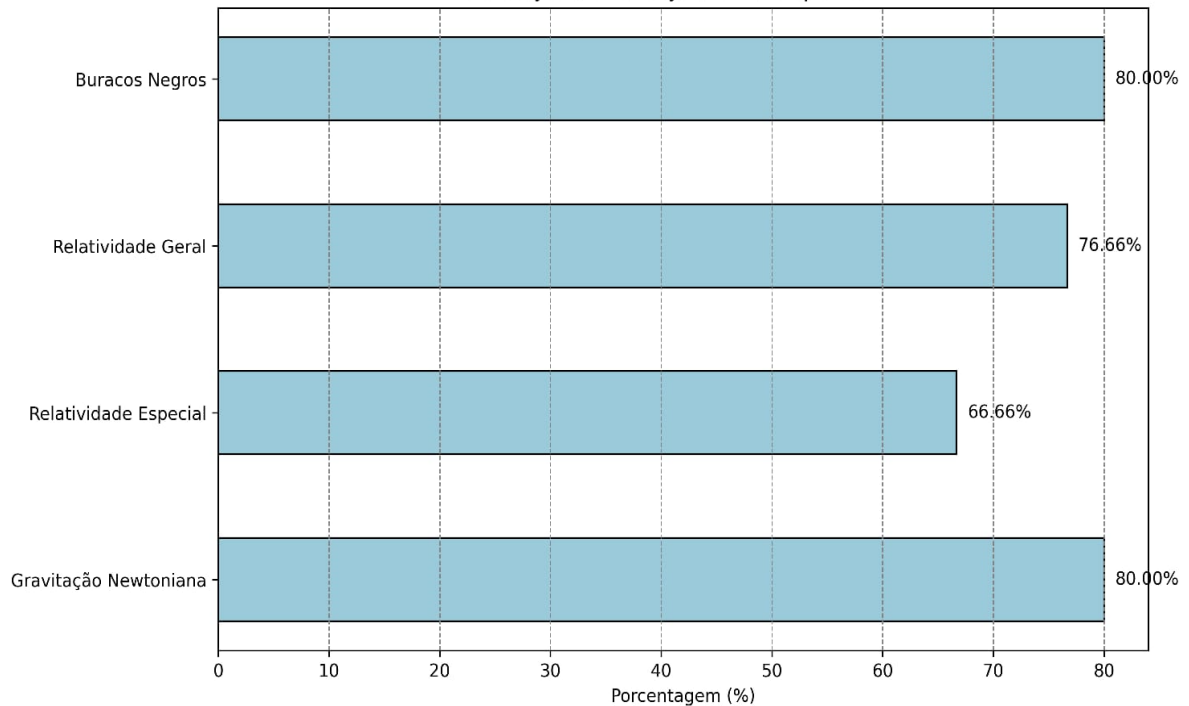
Figura 34 – Aplicação do questionário de validação.



Fonte: Autora da pesquisa, 2024.

A primeira parte da avaliação de validação foi composta por sete questões objetivas, cada uma com até quatro alternativas, seguidas de uma questão discursiva. As duas primeiras perguntas abordaram conteúdos relacionados à Gravitação Newtoniana, enquanto a terceira questionava aspectos da TRE. Já a quarta e a quinta questões focaram na TRG, e as duas últimas trataram dos conceitos fundamentais sobre BNs. A questão discursiva, por sua vez, permitiu que os estudantes expressassem livremente o que haviam compreendido ao longo da sequência didática. O gráfico 2, apresentado a seguir, exibe a distribuição percentual dos resultados obtidos pelos alunos em relação a cada um dos conteúdos abordados ao longo da pesquisa.

Grafico 2 – Desempenho dos alunos por conteúdo: Avaliação de validação e porcentagem de acertos.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

A análise do Gráfico 2 permite observar:

- Os resultados das duas questões sobre a Gravitação Newtoniana obtiveram ambas um índice de acerto de 80%. Indicam uma compreensão consolidada dos conceitos fundamentais da LGU e do experimento de Cavendish por parte da maioria dos estudantes. Na primeira questão, os alunos demonstraram entender corretamente a formulação da LGU proposta por Newton. Eles foram capazes de reconhecer que a força gravitacional atua entre dois corpos, é proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Na segunda questão, os alunos indicaram que compreenderam o propósito e a importância do experimento de Cavendish, que permitiu determinar a força gravitacional entre duas massas e calcular a constante gravitacional.

No geral, durante toda a pesquisa foram observados os três tipos de aprendizagem significativa sobre o conteúdo de gravitação newtoniana: a conceitual, na compreensão clara de conceitos físicos (força gravitacional, constante G), a proposicional, na percepção das relações entre conceitos (massa, distância e força) e entre fenômenos (queda e atração gravitacional) e representacional, no caso da descrição do experimento, as animações permitiram criar imagens mentais para representar os elementos envolvidos.

- O resultado da questão sobre a TRE obteve um índice de acerto de 66,66% e indica que a maioria dos alunos conseguiu identificar corretamente os dois pressupostos fundamentais da TRE de Einstein. Essa taxa de acerto, acima da média, mas não total — sugere que parte da turma foi capaz de estabelecer uma conexão lógica e significativa entre os conteúdos abordados nas animações e as formulações da teoria de Einstein, demonstrando um nível de compreensão conceitual sólido. Em todo o trajeto da pesquisa, para o conteúdo da TRE, apenas um tipo de aprendizagem significativa foi verificada: a conceitual, na definição dos postulados e sua aplicação em diferentes contextos.
- O índice de acerto de 76,66% indica um desempenho bastante satisfatório dos estudantes na compreensão dos conceitos centrais da TRG de Albert Einstein. Os alunos demonstraram compreender que a TRG interpreta a gravidade como uma manifestação geométrica: a presença de massa e energia deforma o tecido do espaço-tempo, e os corpos se movem seguindo essas curvas e que o espaço e tempo não são entidades separadas. Este entendimento exige o abandono de concepções clássicas intuitivas e a reconstrução do conceito de gravidade com base em uma nova estrutura teórica.

No percurso da pesquisa sobre o tema de TRG foram identificados os três tipos de aprendizagem: a conceitual, na noção de conceitos abstratos como espaço-tempo e curvatura gravitacional, a proposicional, com as formulações que explicam como a massa deforma o espaço-tempo e afeta o movimento dos corpos e representacional, com o uso de analogias visuais (como as animações com cama elástica) facilitou a formação de representações mentais que será apresentada na última questão desta primeira parte da avaliação final.

- O percentual de acerto de 80% demonstra que os estudantes desenvolveram uma compreensão satisfatória sobre os aspectos fundamentais da formação e estrutura dos BNs. Os discentes entenderam o processo físico mais comum de formação dos buracos negros: quando estrelas com grande massa esgotam seu combustível nuclear, elas não conseguem mais sustentar sua gravidade interna, entrando em colapso gravitacional. Além disso, assimilaram corretamente a estrutura de um BN segundo a TRG. O alto índice de acerto nesta questão mostra que os estudantes entenderam os principais elementos estruturais de um buraco negro. Isso evidencia que a utilização de recursos como animações virtuais facilitam a visualização e abstração desses conceitos.

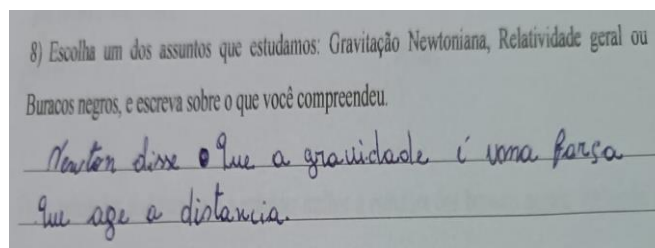
Portanto, foram observados dois tipos de aprendizagem significativa: a conceitual, através da compreensão do processo de colapso estelar e da estrutura física de um buraco negro e representacional, na criação de imagens sobre a formação e funcionamento dos buracos negros com base nos recursos visuais.

A partir da análise do Gráfico 2, foi possível identificar indícios concretos de aprendizagem significativa dos conceitos abordados, evidenciando que o uso das animações virtuais contribuiu positivamente para o processo de ensino e aprendizagem. Esse resultado reafirma o cumprimento do terceiro objetivo específico, consolidando o êxito da proposta desenvolvida.

A última questão da primeira parte da avaliação foi de natureza discursiva, permitindo que os alunos expressassem livremente suas percepções e compreensões acerca dos conteúdos abordados ao longo da pesquisa. Essa abordagem teve como objetivo proporcionar um espaço de reflexão individual e espontânea sobre os temas explorados. A seguir, são apresentadas algumas das respostas fornecidas pelos estudantes divididas por tema.

A resposta do aluno *C* (figura 35) aponta uma tentativa de resgatar o conceito fundamental da Gravitação Newtoniana, segundo o qual a gravidade é uma força que atua à distância entre dois corpos com massa. É possível perceber que o aluno assimilou, ainda que de forma incipiente, a ideia de que a gravidade, segundo Newton, não requer contato físico para se manifestar.

Figura 35 – Resposta do aluno *C*.

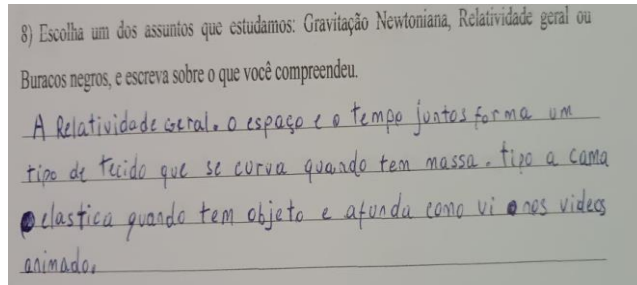


Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

A resposta do aluno *M* (figura 36) demonstra uma compreensão significativa dos conceitos centrais da TRG. Ao mencionar que “o espaço e o tempo juntos formam um tipo de tecido que se curva quando tem massa”, o estudante expressa corretamente a noção de espaço-tempo e sua deformação causada por corpos massivos. A comparação com a “cama elástica” é uma analogia que foi utilizada nos materiais para esta pesquisa e foi mencionada pelo aluno, o

que indica que ele conseguiu estabelecer uma ponte entre o conteúdo abstrato e uma representação visual acessível.

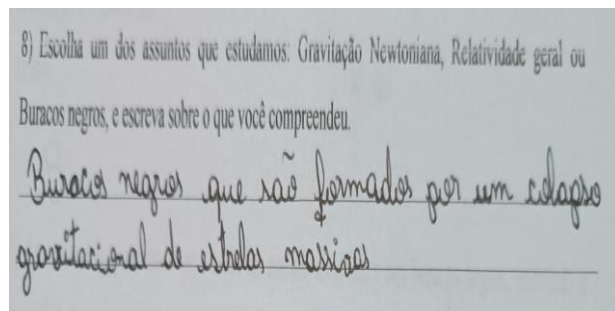
Figura 36 – Resposta do aluno *M*.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

A resposta do aluno *B* (figura 37) indica uma compreensão objetiva e correta sobre o processo de formação dos buracos negros, ao afirmar “que são formados por um colapso gravitacional de estrelas massivas”. Essa explicação demonstra que o aluno assimilou um dos principais conceitos discutidos durante a pesquisa, especialmente no que diz respeito à evolução estelar e ao destino de corpos celestes muito massivos.

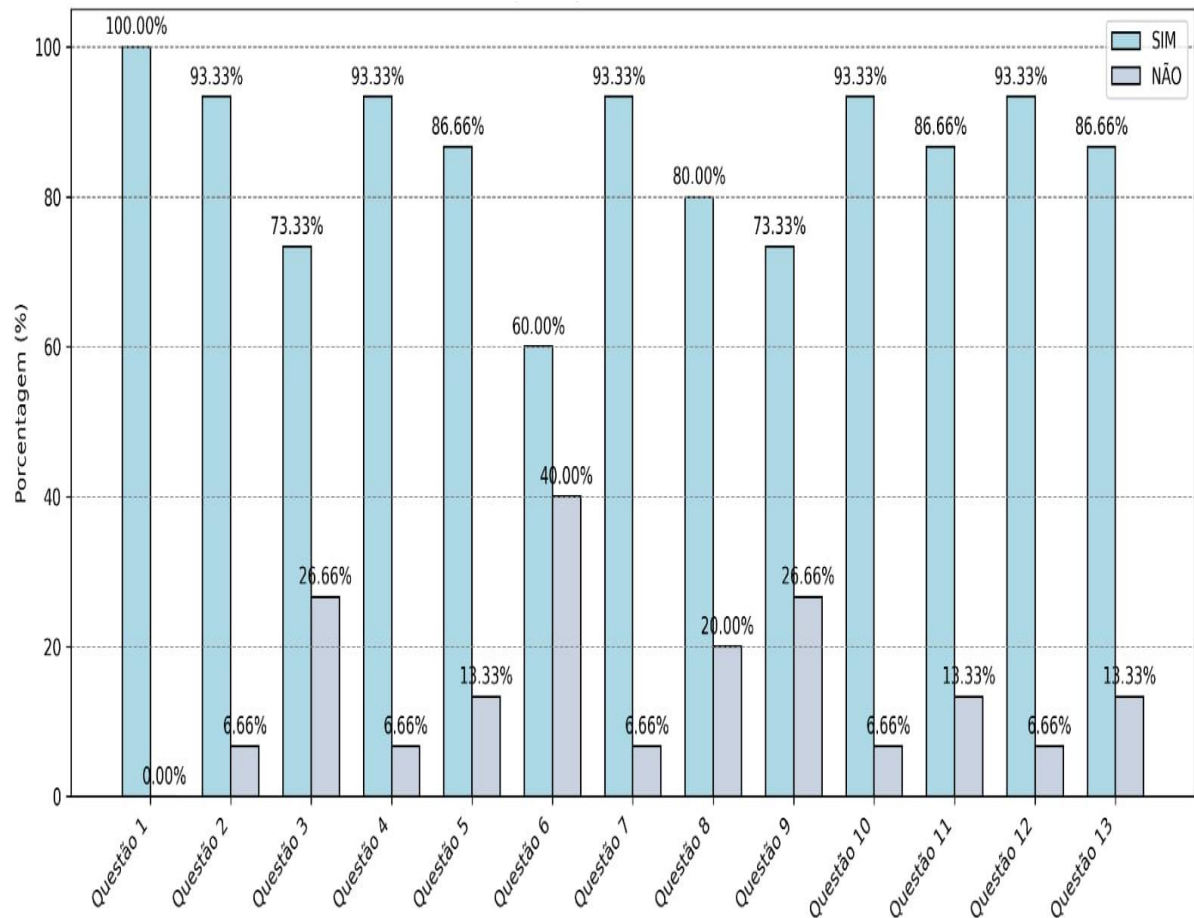
Figura 37 – Resposta do aluno *B*.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

A segunda parte da avaliação final foi dedicada à análise do recurso didático utilizado durante a pesquisa: as animações virtuais. Nessa etapa, os estudantes foram convidados a responder a um questionário composto por 14 questões, das quais 13 apresentavam alternativas do tipo "sim" ou "não", permitindo uma avaliação direta e objetiva sobre o impacto das animações em seu processo de aprendizagem. As respostas das questões objetivas foram organizadas e representadas graficamente, conforme apresentado a seguir no gráfico 3.

Gráfico 3 – Avaliação das animações: percentual das respostas de “sim” e “não”.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

A análise dos resultados obtidos na segunda parte da avaliação revela uma recepção bastante positiva por parte dos alunos quanto ao uso das animações como recurso didático, atendendo ao objetivo específico IV. A primeira questão, que investigou se as animações facilitaram a compreensão das leis da gravitação newtoniana, obteve 100% de respostas afirmativas, demonstrando unanimidade na percepção da eficácia desse recurso na explicação de conceitos fundamentais. A segunda e quarta questões também se destacaram, com 93,33% de "sim", apontando que a contextualização com o cotidiano e a clareza na apresentação de conceitos complexos como os da Relatividade Geral foram amplamente reconhecidas pelos estudantes.

A questão 3, que abordou a integração de novos conhecimentos com saberes prévios sobre forças, obteve 73,33%, revelando que uma parcela dos alunos ainda enfrenta dificuldades em articular novos conteúdos com estruturas cognitivas já existentes. A sexta questão, com 60% de respostas positivas, apresentou o menor índice entre todas, sugerindo que a compreensão da

inter-relação entre espaço e tempo, conceito abstrato e central à Relatividade Geral, pode exigir abordagens ainda mais interativas ou complementares às animações.

As questões 5 e 7 do questionário indicam que as animações contribuíram significativamente para a compreensão de conceitos complexos como a curvatura do espaço-tempo, com porcentagem de 86,66%, e a estrutura dos buracos negros (93,33%). Esses resultados mostram que os recursos visuais facilitaram a assimilação de conteúdos abstratos. As representações animadas ajudaram a construir imagens mentais claras, promovendo maior entendimento. Além disso, reforçaram o interesse dos alunos pelos temas abordados.

Nas questões 8 e 9, em relação ao engajamento e ao interesse despertado pelos conteúdos, os resultados também foram bastante satisfatórios: 80% afirmaram que sentiram interesse ao assistir às animações, e 73,33% indicaram que esse interesse se estendeu ao desejo de explorar outros conteúdos da Física. Isso sinaliza que o recurso, além de didático, teve potencial motivacional.

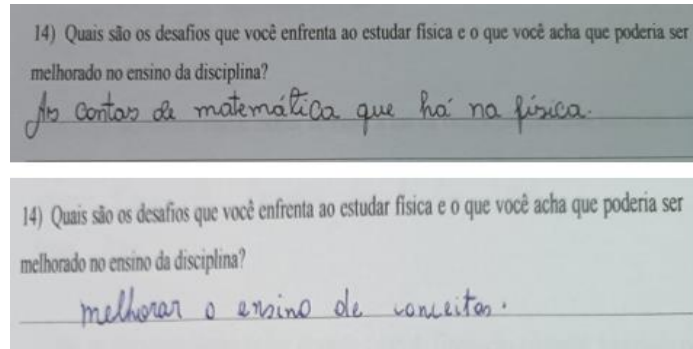
Outras questões como a 10, 11, 12 e 13, que investigaram a clareza proporcionada pelas tecnologias educacionais, a compreensão da relatividade a partir da revisão da gravitação, o uso de exemplos do cotidiano e a comparação com métodos tradicionais, obtiveram altos percentuais de aprovação (acima de 86%), reforçando a ideia de que a aprendizagem promovida pelas animações foi percebida como mais significativa e envolvente.

Em síntese, os dados revelam respostas positivas, ou seja as animações demonstraram ser um recurso altamente eficaz no processo de ensino-aprendizagem, atuando como um material potencialmente significativo. Facilitaram a compreensão de conceitos abstratos e complexos e despertaram o interesse, favoreceram a construção de imagens mentais e estimularam o desejo de aprofundamento dos conteúdos. Esses resultados confirmam que o uso de recursos audiovisuais bem planejados pode enriquecer significativamente a experiência educacional, e, conseqüentemente, promover uma aprendizagem mais envolvente e prolongada.

A última questão (figura 38), de caráter discursivo, ofereceu espaço para que os alunos expressassem suas percepções de forma mais livre e reflexiva sobre os principais obstáculos enfrentados no processo de aprendizagem da disciplina de Física. Além disso, busca-se compreender sugestões e percepções sobre possíveis melhorias nas práticas pedagógicas, metodologias e recursos utilizados no ensino. A seguir estão as respostas fornecidas pelos alunos *A*, *C*, *G* e *J* que evidenciam diferentes perspectivas e níveis de envolvimento com o

processo de aprendizagem da Física, refletindo os principais padrões observados entre os 15 participantes da pesquisa.

Figura 38 – Respostas dos alunos *A* e *C*.

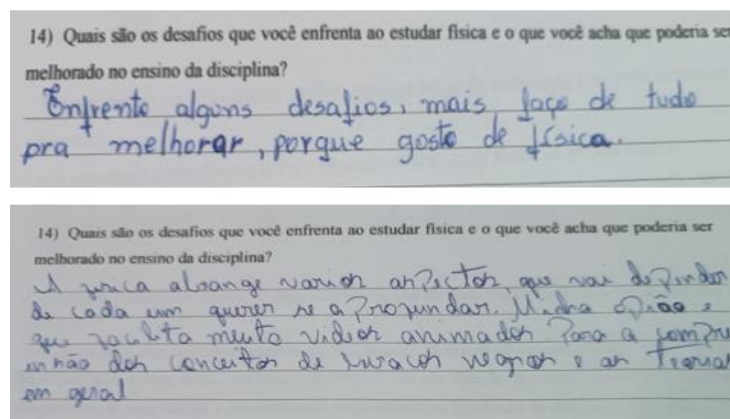


Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

O aluno *A* destaca a dificuldade com os cálculos matemáticos presentes na disciplina, um obstáculo comum que pode afastar estudantes do conteúdo físico quando este não é bem contextualizado. O aluno *C* aponta para a necessidade de melhorar o ensino dos conceitos, sugerindo uma carência de clareza na abordagem teórica, o que reforça a importância de metodologias mais acessíveis e contextualizadas (figura 38).

Por outro lado, o aluno *G* revela uma postura positiva diante das dificuldades, indicando motivação para superar os desafios, o que é um indicativo de engajamento e interesse pela área. O aluno *J* reconhece a complexidade da Física, mas valoriza o uso de recursos didáticos como vídeos animados para facilitar a compreensão, sobretudo em temas abstratos como buracos negros e teorias Físicas avançadas (figura 39).

Figura 39 – Respostas dos alunos *G* e *J*.



Fonte: Autora da pesquisa, 2025.

Esses relatos mostram a pluralidade de experiências dos estudantes, ressaltando a importância de estratégias pedagógicas diversificadas que contemplem tanto o

desenvolvimento conceitual quanto o apoio nas dificuldades com os cálculos. Ao mesmo tempo, reforçam o papel fundamental de recursos visuais ou interativos no estímulo ao interesse e à construção significativa do conhecimento em Física. São falas que nos convidam a ouvir mais de perto nossos alunos e repensar, com sensibilidade e criatividade, o modo como ensinamos e aprendemos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo aplicar e avaliar uma sequência didática baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, utilizando animações virtuais criadas no aplicativo *TweenCraft*, como recurso pedagógico para o ensino de conteúdos de Física Moderna e Clássica, com foco na Gravitação Universal, Relatividade Geral e Buracos Negros. A proposta metodológica, de natureza quali-quantitativa e descritiva, foi aplicada em uma turma do segundo ano do Ensino Médio, na qual os estudantes participaram de quatro encontros estruturados com atividades progressivas, revisão de conceitos, exibição de animações e avaliações diagnóstica e de validação.

Os resultados obtidos evidenciaram que os critérios de ocorrência da aprendizagem significativa segundo Moreira (2021), presença de subsunçores, o uso de materiais potencialmente significativos e a predisposição dos alunos para aprender, foram atendidos em diversos momentos da pesquisa. As respostas discursivas, os altos índices de acertos nas avaliações objetivas e a análise das animações apontam que os estudantes foram capazes de compreender conceitos abstratos e complexos, conectando-os a situações cotidianas e desenvolvendo habilidades de argumentação, raciocínio lógico e comunicação científica.

A pesquisa sustentou-se fortemente na TAS e seus tipos (representacional, conceitos e proposicional), que orientou desde a escolha dos conteúdos até a produção das animações, permitindo a construção de significados de forma contextualizada. A prática docente foi ressignificada ao promover um papel mediador e estimulador da curiosidade científica dos discentes, superando a lógica tradicional de ensino centrado na memorização e na resolução mecânica de problemas.

As animações virtuais foram criadas com o propósito de alinhar-se aos conhecimentos prévios dos alunos e provaram ser materiais potencialmente significativos, ou seja, ferramentas eficazes na promoção de um ambiente de aprendizagem mais visual e acessível. Elas despertaram o interesse dos alunos, facilitaram a abstração de ideias complexas e reforçaram o processo de internalização de novos conceitos, como evidenciado nos percentuais elevados de aprovação das questões avaliativas sobre seu uso (muitas acima de 80%). O uso de animações virtuais no ensino de conteúdos de Física, como gravitação e buracos negros, pode contribuir para diminuir as dificuldades de compreensão e suprir a carência desses temas nesse nível de ensino.

Diferente de abordagens centradas apenas na exposição oral ou no uso de livros didáticos, as animações possibilitaram a construção de imagens mentais, a contextualização com situações cotidianas e a superação de concepções alternativas persistentes. Em outros estudos relatados na literatura, observa-se que recursos visuais também auxiliam no engajamento e na motivação dos discentes, mas aqui a integração sistemática das animações com a identificação dos conhecimentos prévios revelou-se particularmente eficaz. Este recurso didático pode ser ampliado para outras áreas da Física e até mesmo para disciplinas afins.

A metodologia, fundamentada na TAS, demonstrou potencial para ser adaptada a conteúdos que tradicionalmente apresentam alto nível de abstração e dificuldade de assimilação pelos alunos, como eletromagnetismo, óptica ou mecânica quântica. Além disso, há a possibilidade de desenvolver materiais mais interativos, explorando simulações computacionais e ambientes virtuais de aprendizagem que permitam ao discente manipular variáveis e visualizar fenômenos em tempo real, ampliando a autonomia e a participação ativa no processo de aprendizagem. Tais extensões não apenas fortaleceriam a compreensão conceitual, mas também poderiam ser aplicadas em projetos de formação docente, contribuindo para práticas pedagógicas mais inovadoras em conformidade às demandas contemporâneas do ensino de Ciências.

Dessa forma, conclui-se que a proposta foi bem-sucedida ao transformar os conhecimentos prévios dos alunos em saberes científicos estruturados, promovendo não apenas a compreensão dos conteúdos de Física Moderna, mas também o desenvolvimento de competências necessárias à alfabetização científica. O trabalho reafirma o potencial de metodologias que utilizem recursos tecnológicos, como as animações, na construção de uma educação significativa, crítica e cidadã.

REFERÊNCIAS

- [1] ALVARENGA, Flávio Gimenes; NETO, José Izaías Moreira Scherrer; COELHO, Geide Rosa. Processo de validação de uma sequência de ensino investigativa para o ensino de física moderna e contemporânea: da gravitação aos buracos negros. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 2, p. 66-90, 2022.
- [2] SANTANA, Wanessa Santos. **O processo de construção de práticas epistêmicas e científicas no ensino de física moderna e contemporânea**. Dissertação de mestrado – Centro de Ciências exatas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021.
- [3] OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa " física moderna e contemporânea no ensino médio". **Investigações em ensino de ciências**. Porto Alegre. Vol. 5, p. 23-48, 2000.
- [4] FREDERICO, Fernando Temporini; GIANOTTO, Dulcinéia Ester Pagani. Imagens eo ensino de física: implicações da Teoria da Dupla Codificação. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 18, n. 3, p. 117-140, 2016.
- [5] PIRES, Marcelo Antonio; VEIT, Eliane Angela. Tecnologias de Informação e Comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio. **Revista Brasileira de ensino de Física**, v. 28, p. 241-248, 2006.
- [6] TAVARES, Romero. Aprendizagem significativa. **Revista conceitos**, v. 10, n. 55, p. 55-60, 2004.
- [7] BRASIL. BNCC. Base Nacional Comum Curricular, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf. Acesso em: 08 fer. 2025.
- [8] JÚNIOR, Edio da Costa et al. Divulgação e ensino de Astronomia e Física por meio de abordagens informais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, p. e5401, 2018.
- [9] Zabala, Antoni. A prática educativa: como ensinar; tradução Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: Artmed,. 1998. 224 p.
- [10] JÚNIOR, João Fernando Costa et al. Um olhar pedagógico sobre a Aprendizagem Significativa de David Ausubel. **Rebena-Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem**, v. 5, p. 51-68, 2023.

- [11] GOMES, Érica Cupertino; FRANCO, Xaieny Luiza de Souza Oliveira; ROCHA, Alexsandro Silvestre da. **Uso de simuladores para potencializar a aprendizagem no ensino da física**. Araguaína, Tocantins: EDUFT, 2020.
- [12] MOREIRA, Marco Antonio. ¿ Al afinal, qué es aprendizaje siginificativo?. **Qurriculum: revista de teoría, investigación y práctica educativa. La Laguna, Espanha. No. 25 (marzo 2012), p. 29-56**, 2012.
- [13] FRAZZON, Lúcia Morosini. Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. **Revista Pedagógica**, v. 1, n. 3, p. 07-32, 1999.
- [14] VALADARES, Jorge. A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 1, p. 36-57, 2011.
- [15] DA SILVA, João Batista. A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel: uma análise das condições necessárias. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e09932803-e09932803, 2020.
- [16] MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa em ciências: condições de ocorrência vão muito além de pré-requisitos e motivação. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista–ENCITEC**, v. 11, n. 2, p. 25-35, 2021.
- [17] PRAIA, João Félix. Aprendizagem significativa em D. Ausubel: Contributos para uma adequada visão da sua teoria e incidências no ensino. **Teoria da aprendizagem significativa. Peniche, Portugal**, p. 121-134, 2000.
- [18] MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora pedagógica e universitária, 1999.
- [19] MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200451, 2021.
- [20] GERALDI, Luciana Maura Aquaroni; BIZELLI, José Luís. Tecnologias da informação e comunicação na educação: conceitos e definições. **Revista on line de Política e Gestão Educacional**, n. 18, 2015.
- [21] LOUREIRO, Bruna Cristina Oliveira. O uso das tecnologias da informação e comunicação como recursos didáticos no ensino de Física. **Revista do Professor de Física, Brasília**, v. 3, n. 2, p. 93-102, 2019.

[22] LUCENA JUNIOR, Alberto. **Arte da animação: técnica e estética através da história**. Editora Senac São Paulo, 2019.

[23] TWEENCRAFT CARTOON VIDEO MAKER. Tweencraft, 2025. Disponível em: <https://twencraft.in/>. Acesso em: 12 março. 2025.

[24] NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica, 1: Mecânica**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

[25] EDUSP. **Principia, Livro I: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural**. 2022. Disponível em: <https://www.edusp.com.br/livros/principia-livro-1/>. Acesso em: 17 abril. 2025.

[26] YOUNG, H. D; FREEDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

[27] WEB FÍSICA. Curso de Física Básica: Lei da gravitação universal. 2020. Disponível em: <https://www.webfisica.com/fisica/curso-de-fisica-basica/aula/3-28>. Acesso em: 01 maio. 2025.

[28] FABRIS, J. C.; VELTEN, H. E. S. Cosmologia neo-newtoniana: um passo intermediário em direção à relatividade geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, p. 4302, 2013.

[29] YOUNG, H. D; FREEDMAN, R. A. **Física IV: Ótica e Física Moderna**. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

[30] HOBSON, Michael Paul; EFSTATHIOU, George P.; LASENBY, Anthony N. **General relativity: an introduction for physicists**. Cambridge university press, 2006.

[31] NASA. **Medindo uma estrela anã branca**. 2011. Disponível em: <https://www.nasa.gov/image-article/measuring-white-dwarf-star/>. Acesso em: 04 abril. 2025.

[32] NASA. **Estrelas de nêutrons são estranhas!** 2017. Disponível em: <https://science.nasa.gov/universe/neutron-stars-are-weird/>. Acesso em: 04 abril. 2025.

[33] BERGMANN, Thaisa Storchi. Buracos negros supermassivos: os monstros que se escondem no centro das galáxias. **Ciência e Cultura**, v. 61, n. 4, p. 38-42, 2009.

[34] EHT. **Comunicado de imprensa (10 de abril de 2019): Astrônomos capturam a primeira imagem do buraco negro**. 2019. Disponível em: <https://eventhorizontetelescope.org/press-release-april-10-2019-astronomers-capture-first-image-black-hole>. Acesso em: 18 abril. 2025.

[35] NEVES, Juliano. O buraco negro e sua sombra. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. e20200216, 2020.

[36] EHT. **Astrônomos revelam a primeira imagem do buraco negro no coração da nossa galáxia**. 2022. Disponível em: <https://eventhorizontetelescope.org/blog/astronomers-reveal-first-image-black-hole-heart-our-galaxy>. Acesso em: 04 abril. 2025.

[37] FLICK, Uwe. **Introdução à metodologia de pesquisa: um guia para iniciantes**. Tradução: Magda Lopes; revisão técnica: Dirceu da Silva. **Porto Alegre: Penso**, p. 256, 2013.

[38] FLICK, Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Tradução: Joice Elias Costa. 3 ed. Artmed editora, p. 405, 2009.

[39] GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. Editora Atlas SA, 2008.

[40] TWEENCRAFT. *TweenCraft: Cartoon Video Maker Animation App*. Softonic, 2022. Loja: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kk.chimpoon&hl=pt_BR. Acesso em: 24 abril. 2025.

[41] DIAS, Penha Maria Cardoso; SANTOS, Wilma Machado Soares; SOUZA, Mariana Thomé Marques de. A gravitação universal: um texto para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, p. 257-271, 2004.

[42] DA SILVA, Henrique César. **Discursos escolares sobre gravitação newtoniana: textos e imagens na física do ensino médio**. 2002. Tese de Doutorado. [sn].

[43] GOULART, Guilherme Salgueiro; LEONEL, André Ary. Revisão da literatura sobre o Ensino de Física Moderna Contemporânea no Ensino de Médio: potencialidades a partir da aprendizagem significativa. **Revista Dynamis**, v. 26, n. 1, p.192-215, 2020.

APÊNDICE A – Roteiros

Roteiro I: Introdução aos Conceitos de Gravitação

Personagem: Alícia

Plano de fundo: Branco

Cena 1: Apresentação da Curiosa Alícia

Alícia entra em cena, cumprimenta os alunos e começa a falar.

- Olá, pessoal! Meu nome é Alícia.
- Que tal explorarmos um tema que nos leva às estrelas?
- Devemos começar pela gravitação!
- Vocês sabiam que as primeiras investigações em física começaram com perguntas simples sobre o céu noturno?
- Vocês já ouviram falar sobre como a maçã caiu na cabeça de Isaac Newton, certo?
- Newton se perguntou por que a maçã cai para a terra e não flutua pelo espaço?
- Essa é a história que contam para explicar como Newton formulou a Lei da Gravitação Universal.

Cena 2: Maçã e a Lua

- Newton percebeu que a gravidade é a força que atrai objetos uns em direção aos outros.
- De acordo com a teoria de Newton, a Terra puxa objetos próximos à sua superfície, fazendo-os acelerar para baixo.
- A mesma força, a gravidade, atua na Lua. Neste caso, a gravidade atua como força centrípeta, mantendo a lua presa em órbita em torno da Terra.

- Lembrando que a força centrípeta é a força que mantém um objeto se movendo em um caminho circular, puxando-o constantemente para o centro do círculo.

- Imagine que você está girando uma pedra amarrada a uma corda. A força que você sente puxando a pedra para o centro do círculo é a força centrípeta.

- Essa força é o que impede a pedra de sair voando em linha reta e a mantém em movimento circular.

- Dessa forma, sem a gravidade, quando lançada no ar, uma maçã continuaria em movimento retilíneo uniforme, seguindo uma trajetória retilínea a uma velocidade constante, de acordo com a primeira lei do movimento de Newton, a menos que outras forças agissem sobre ela.

- Portanto, a gravidade é o que faz a maçã cair de volta para a Terra.

- Da mesma forma, na ausência de gravidade (ou outras forças) a lua continuaria ao longo de uma linha reta em velocidade uniforme, mas a gravidade puxa-a, acelerando a lua em direção à Terra.

- Então reparem que o movimento da maçã e da lua obedecem às mesmas leis. Os corpos celestiais não se comportam de formas diferentes dos terrestres.

- Daí o nome: gravitação universal.

Cena 3: Enunciado da Lei da Gravitação Universal

- Por isso, Newton formulou a lei da gravitação universal que diz:

“A força gravitacional entre duas massas M e m é diretamente proporcional ao produto dessas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.”

*Garantir a fórmula na cena.

- Isso significa que quanto maior a massa dos objetos, maior será a força de atração entre eles, e quanto mais distantes estiverem, menos atração sentirão.

- A gravitação universal é responsável por manter a lua em órbita ao redor da Terra, os planetas em órbita ao redor do Sol, e até mesmo os astros em suas galáxias.

- Este G na fórmula é uma constante da natureza que indica quão forte é a força gravitacional.

Cena 4: Determinação da Constante Gravitacional

- Para medir G , você teria que realizar um experimento para medir a atração entre duas massas conhecidas.

Alicia entra em cena, mostrando um modelo simplificado da balança de Cavendish.

- Para medir a força gravitacional entre duas massas conhecidas, Henry Cavendish usou uma balança especial chamada de balança de torção.

- Nessa balança, duas pequenas esferas são suspensas por uma fibra de quartzo, e duas esferas maiores são aproximadas para causar uma pequena torção na fibra.

- Um raio laser é usado para medir essa torção.

- Quando a fibra se torce, o raio laser é desviado e incide em uma escala, permitindo que os cientistas meçam o ângulo de torção causado pela força gravitacional.

- Após calibrar a balança, os cientistas conseguem medir as forças gravitacionais e determinar o valor de G .

- O valor atualmente aceito é aproximadamente $6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$.

- Com essa técnica, os cientistas puderam entender melhor a força da gravidade e como ela funciona entre os corpos no universo.

Cena 5: Fim

- A gravidade é uma força fundamental e atua da mesma forma entre todos os corpos no universo.

- Hoje, nosso conhecimento da mecânica celeste nos permite colocar satélites em órbita da Terra e enviar naves espaciais a outros planetas.

- Além disso, entender a Lei da Gravitação Universal é fundamental para compreendermos diversos fenômenos do universo, desde o movimento dos planetas até a formação de buracos negros.

- Nos próximos encontros, vamos explorar mais a Relatividade Geral de Einstein e a formação de Buracos negros. Até lá!

Roteiro II - Relatividade Geral de Einstein

Personagem: Alícia

Plano de fundo: Branco

Cena 1: Apresentação da Curiosa Alícia

Alícia entra em cena, cumprimenta com um sorriso animado.

- Olá, Pessoal!

- Hoje vamos falar sobre uma das Teorias mais fascinantes da física: a Teoria da Relatividade Geral de Einstein.

- Vocês viram anteriormente sobre Isaac Newton, certo? Ele nos deu as leis do movimento e da gravitação que funcionam muito bem em nosso dia a dia.

- Mas, quando pensamos em escalas cósmicas ou em situações extremas, como os buracos negros, precisamos de uma teoria mais abrangente.

- A Relatividade Geral de Einstein é essa teoria mais abrangente.

- Mas antes da Teoria da Relatividade Geral de 1915, em 1905, Albert Einstein criou a Teoria da Relatividade Especial.

Cena 2: Introdução à Teoria da Relatividade Especial de Einstein

Alícia entra em cena, segurando um livro de Einstein

- Einstein formulou dois pressupostos que levaram a resultados surpreendentes!

- Para o Primeiro Pressuposto da Relatividade Especial, Einstein disse que a teoria se aplica a sistemas que se movem a uma velocidade constante um em relação ao outro.

- Imagine uma pessoa sentada em um trem que se move suavemente.

- Se o trem estiver se movendo em velocidade constante, dentro do trem não há como saber se ele está parado ou em movimento.

- O segundo pressuposto é sobre a luz.
- A velocidade da luz é sempre a mesma, não importa se quem a emite está se movendo ou parado.
- Isso é diferente de objetos em movimento, onde a velocidade depende do observador.
- As Consequências da Teoria são, por exemplo, se duas pessoas se movem uma em relação à outra, elas medirão o comprimento de um objeto de maneira diferente.
- Além disso, a medição do tempo entre eventos pode variar.
- Isso significa que conceitos como distância, tempo e simultaneidade são relativos, dependendo do movimento do observador.
- Uma das conclusões mais famosas da teoria de Einstein é a famosa equação $E = mc^2$.
- Isso significa que massa e energia são equivalentes.
- Uma pequena quantidade de massa pode se transformar em uma enorme quantidade de energia, como vemos em processos nucleares.
- A teoria da relatividade especial mudou nossa compreensão do universo, mostrando que espaço e tempo não são absolutos, como pensava Newton.
- E nos mostrou que massa e energia estão intrinsecamente ligadas.
- Uma revolução na ciência que ainda nos fascina até hoje!
- Mas a relatividade especial de Einstein tinha limitações.
- Ela só funcionava para sistemas em movimento constante, ou seja, em sistemas de referência onde um objeto não acelerado permanece em seu estado de movimento constante ou repouso, de acordo com a primeira lei de Newton. Assim, obedecendo o primeiro postulado da relatividade especial.
- Portanto, não abrangia referenciais acelerados.
- Além disso, não considerava a gravidade.
- Einstein queria uma teoria que superasse essas limitações.
- Após dez anos de pesquisa, ele criou a relatividade geral.
- Nela, a gravidade não é mais uma força, mas uma curvatura do espaço-tempo.

Cena 3: Introdução à Teoria da Relatividade Geral de Einstein

- E o que a teoria da relatividade tem a nos dizer?
- A relatividade geral nos diz que a gravidade não é uma força misteriosa que age à distância, como Newton imaginou, mas sim a curvatura do espaço-tempo causada pela presença de matéria e energia.
- Isso significa que objetos em movimento livre seguem trajetórias que são curvadas pela presença de matéria.
- É como se a massa criasse uma “depressão” no espaço-tempo, e os objetos se movem ao longo dessas depressões.
- Imagine uma bola de boliche em cima de uma cama elástica, deformando o material e fazendo objetos menores deslizarem em sua direção.
- Assim se aplica o efeito da gravidade. Ou seja, a teoria da relatividade geral de Einstein diz que os objetos distorcem o espaço-tempo que os rodeia.

Cena 4: O Conceito de Espaço-Tempo Curvo

- Em outras palavras, Einstein nos mostrou que o espaço e o tempo não são entidades separadas, mas sim partes de uma única entidade chamada espaço-tempo.
- O espaço é o "onde" das coisas. É o palco onde tudo acontece.
- Imagine uma sala vazia. O espaço é o que permite que você coloque uma cadeira em um canto e uma mesa em outro. É a dimensão que permite que objetos existam e se movam.
- O tempo é o "quando" das coisas. Ele é como um relógio universal que continua a marcar, permitindo que os eventos ocorram em sequência.
- Se você pensar no dia a dia, o tempo é o que separa o café da manhã do almoço, ou a noite do dia. É a dimensão que nos permite experimentar mudanças e a sequência de eventos.
- Portanto, o Espaço-tempo é uma combinação das três dimensões do espaço (altura, largura e profundidade) e a dimensão do tempo.
- Imagine uma folha de papel. O papel é uma analogia para o espaço-tempo. Objetos como planetas e estrelas são colocados sobre essa folha, e eles deformam o papel ao seu redor.
- Então, resumindo:

- Espaço é o palco onde as coisas existem.
- Tempo é a sequência na qual os eventos ocorrem.
- Espaço-Tempo é a combinação dessas duas coisas, que pode ser curvada pela presença de massa e energia, explicando fenômenos como a gravidade.
- Por exemplo: os planetas orbitam o Sol não porque são puxados por uma força invisível, mas porque estão seguindo as curvas causadas pela presença do Sol na geometria do espaço-tempo.
- Compreender a geometria do espaço-tempo na Relatividade Geral nos ajuda a visualizar como a gravidade funciona não como uma força que atua à distância, mas como uma influência direta na forma como o universo se curva ao nosso redor.
- Objetos massivos, como planetas e estrelas, curvam o espaço-tempo ao seu redor.
- Isso faz com que objetos e luz sigam trajetórias curvas no universo.

Cena 5: A Comprovação da Teoria da Relatividade Geral de Einstein

- Vamos falar sobre um evento incrível que ajudou a validar a teoria da Relatividade Geral de Einstein: o eclipse solar de 1919.
- Como já sabemos, em 1915, Albert Einstein propôs a Relatividade Geral, que prevê que a gravidade pode curvar a luz.
- Para testar essa ideia, os cientistas esperaram por um eclipse solar total, quando a lua passa entre a Terra e o Sol, bloqueando a luz solar.
- A expedição liderada por Sir Arthur Eddington foi enviada para Sobral, no Brasil, e para a Ilha do Príncipe, na África, para observar o eclipse e medir o desvio aparente das estrelas próximas ao Sol.
- Durante o eclipse, as estrelas ao redor do Sol se tornaram visíveis devido ao bloqueio da luz solar.
- Os astrônomos compararam fotos das posições das estrelas próximas do Sol em dias diferentes, isto, quando o Sol não estava posicionado entre as estrelas e a Terra.
- As estrelas pareciam estar em lugares diferentes!

- As medições feitas durante o eclipse confirmaram que a luz das estrelas foi de fato curvada pela gravidade do Sol, como previsto pela teoria de Einstein.

- Isso foi um marco na história da ciência!

- Graças a esse eclipse, a teoria da relatividade geral de Einstein foi aceita pela comunidade científica.

- Essa é apenas uma introdução à Relatividade Geral de Einstein, uma teoria que revolucionou nossa compreensão do universo.

- No próximo encontro, vamos explorar mais a fundo como ela explica os buracos negros. A física é realmente surpreendente!

Roteiro III - Formação e Características dos Buracos negros

Personagem: Alícia

Plano de fundo: Branco

Cena 1: O colapso gravitacional

Alícia entra em cena, entusiasmada ao lado de um modelo de buraco negro.

- Hoje vamos mergulhar no misterioso mundo dos buracos negros.
- Os buracos negros se formam quando estrelas massivas esgotam seu combustível nuclear e colapsam sob sua própria gravidade.
- A NASA descreve as estrelas como panelas de pressão. A força explosiva da fusão nuclear em seu interior cria uma pressão para fora que é contrabalançada pela gravidade, que puxa tudo de volta para dentro.
- Então, para compreender o surgimento dos Buracos negros, vamos falar sobre O colapso gravitacional.
- O colapso gravitacional acontece com estrelas e o objetos massivos no universo. As estrelas, como o nosso Sol, estão em um estado de equilíbrio chamado equilíbrio hidrostático.
- Isso significa que a pressão gerada pelas reações nucleares em seu núcleo contrabalança a força da gravidade que puxa tudo para o centro.
- Mas o que acontece quando a estrela consome todo o seu combustível nuclear?
- Sem o combustível, a produção de energia diminui e a pressão interna não consegue mais sustentar a estrela contra a força da gravidade.
- A gravidade começa a vencer, e o núcleo da estrela começa a se contrair. A temperatura e a densidade do núcleo aumentam drasticamente.
- Em estrelas menores, a contração pode ser impedida pela pressão de degenerescência

dos elétrons. Isso resulta na formação de uma anã branca.

- Em estrelas mais massivas, a contração pode levar a uma explosão de supernova. As camadas externas são expelidas, enquanto o núcleo continua a colapsar.

- Se o núcleo remanescente for suficientemente massivo, ele pode colapsar ainda mais para formar uma estrela de nêutrons ou, se a massa for extremamente grande, um buraco negro.

- O colapso gravitacional é um processo incrível que mostra a dinâmica complexa das estrelas no universo. Dependendo da massa e das condições, pode resultar em anãs brancas, estrelas de nêutrons ou buracos negros. Fascinante, não é?

- Entendemos que o colapso de uma estrela para formar um buraco negro resulta na criação de uma região de densidade infinita chamada singularidade, cercada por uma fronteira chamada horizonte de eventos.

Cena 2: A Singularidade

- A singularidade assinala o fim do próprio tempo. Não é possível prever o futuro, o que significa que algo estranho pode acontecer quando uma estrela entra em colapso.

- Einstein considerava isso surpreendente. O espaço-tempo se curva cada vez mais, até que, no final, as regras normais do espaço e do tempo deixam de valer.

- E é aqui que nasce um buraco negro! O que era uma vez uma estrela brilhante se torna um ponto de escuridão absoluta, onde a gravidade é tão intensa que nada, absolutamente nada, pode escapar, nem mesmo a luz.

Cena 3: O que são os Buracos Negros?

- Portanto, os buracos negros são objetos astronômicos extremamente compactos que surgem do colapso gravitacional de estrelas.

- Eles possuem densidade infinita na singularidade e um campo gravitacional tão intenso que nem mesmo a luz pode escapar de sua atração.

Cena 4: Estrutura dos Buracos Negros

- No geral, a estrutura de um buraco negro é composta por uma singularidade, que é um ponto de densidade infinita e pelo horizonte de eventos, uma fronteira além da qual nada pode escapar.

Cena 5: O horizonte de eventos

- Como discutimos anteriormente sobre a singularidade, agora, podemos nos perguntar o que é horizonte de eventos?

- Nesse lugar a gravidade é forte o bastante para puxar a luz de volta e impedir que escape.

- Como nada pode viajar mais rápido que a luz, tudo o mais também é puxado.

- Cair no horizonte de eventos é um pouco como descer as cataratas do Niágara numa canoa.

- Se você estiver acima da queda-d'água, poderá escapar se remar com velocidade suficiente, mas, se chegar à beirada, será o seu fim. Não tem mais volta.

- À medida que se aproxima da cascata, a correnteza fica mais veloz. Isso significa que a frente da canoa é puxada com mais força que a parte de trás.

- A canoa corre o risco de se partir. O mesmo se dá com buracos negros.

- Se você cai em um deles primeiro com os pés, a gravidade os puxa com mais força que sua cabeça, porque eles estão mais próximos do buraco negro.

- Como resultado, você é esticado longitudinalmente e esmagado lateralmente. Se a massa do buraco negro for algumas vezes maior que a do nosso sol, você será dilacerado e transformado em espaguete antes mesmo de chegar ao horizonte.

- Contudo, se cair na direção de um buraco negro muito maior, de massa 1 milhão de vezes maior que a do sol, chegará ao horizonte sem dificuldade.

- Portanto, se você pretende explorar o interior de um buraco negro, escolha um dos grandes. Há um buraco negro com massa de cerca de 4 milhões de vezes a do sol no centro da nossa Via Láctea.

- Os cientistas acreditam que existem buracos negros imensos no centro de praticamente todas as galáxias.

Cena 5: Descobertas Recentes

- Alguns de vocês já viram imagens de buracos negros em livros ou vídeos de Astronomia, mas eram apenas ilustrações artísticas baseadas em teorias matemáticas.

- O buraco negro é invisível, mas podemos detectar sua presença por sinais ao redor, como raios X de material quente ao redor dele ou estrelas orbitando a velocidades muito altas.

- Recentemente, em 2019, astrônomos conseguiram captar a primeira imagem real de um buraco negro.

- Usando um telescópio virtual do tamanho da Terra, eles fotografaram o buraco negro supermassivo no centro da galáxia M87, que fica a 53,5 milhões de anos-luz de distância.

- Essa conquista foi feita pela colaboração internacional do Event Horizon Telescope, que reuniu centenas de cientistas de diversos países.

- Na imagem, vemos a luz que vem de um jato e do disco de acreção e nos deixou mais perto de compreender esses objetos fascinantes do universo.

- A teoria da relatividade geral de Einstein foi fundamental para entendermos os buracos negros, embora inicialmente a ideia da existência desses objetos tenha sido considerada como algo estranho e improvável.

- A imagem nos mostrou como a gravidade e as teorias de Einstein funcionam, especialmente em condições extremas de gravidade.

- Felizmente, os buracos negros geralmente estão rodeados por matéria visível, o que nos permite detectá-los indiretamente.

- A primeira imagem obtida foi do buraco negro supermassivo no centro da galáxia M87, Sagittarius A*, o buraco negro no centro da nossa própria galáxia, seria um candidato natural para a primeira imagem, mas a poeira interestelar dificultava sua observação.

- No entanto, em 2022, foi divulgada a imagem do buraco negro Sagittarius A*.

- Conquistas que são um marco na astronomia e nos ajudam a entender melhor o funcionamento do universo e das leis da física em condições extremas. É emocionante ver como a ciência pode nos revelar os segredos mais profundos do cosmos!

- Espero que tenham gostado dessa viagem pelo mundo dos buracos negros! Lembrem-se: a exploração do cosmos nunca acaba, e sempre há mais segredos a serem descobertos nas profundezas do espaço. Até a próxima!

Roteiro IV - Gravitação e Buracos negros (uma revisão).

Personagem: Alícia

Plano de fundo: Branco

Cena 1: Apresentação da Alícia

Alícia, está em um observatório.

- Olá, pessoal! Hoje vamos revisar alguns conceitos importantes de gravitação e buracos negros. Estão preparados?

- Primeiramente, vamos à gravitação Universal. Disse para vocês, como Newton questionou por que a maçã cai para a Terra, levando à formulação da Lei da Gravitação Universal.

Cena 2: A Jornada da Gravitação Universal

- Newton percebeu que a mesma força que faz a maçã cair também mantém a lua em órbita ao redor da Terra.

- Segundo Newton, a gravidade é a força que atrai dois corpos um em direção ao outro.

- Ela é diretamente proporcional às massas dos corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

*A fórmula da Lei da Gravitação Universal é apresentada.

- Então, quanto maior a massa dos corpos e menor a distância entre eles, mais forte será a atração gravitacional. Isso explica por que os planetas orbitam o Sol e a Lua orbita a Terra.

- A gravidade mantém os corpos celestes em órbita e governa o movimento dos objetos no universo.

- Lembrando que G é a Constante Gravitacional, que foi determinada por Cavendish usando uma balança de torção.

- A balança de torção permitiu medir a força entre duas massas e determinar a constante G.

- Compreender a gravidade nos permite explorar o espaço e entender fenômenos como buracos negros.

- Que tal relembarmos da Teoria da Relatividade Geral de Einstein?

Cena 3: A Teoria da Relatividade de Einstein

- Mas antes disso, fomos introduzidos aos dois pressupostos da Relatividade Especial e suas consequências surpreendentes.

- O primeiro pressuposto é que “As leis da Física são as mesmas para qualquer referencial inercial”.

- O segundo pressuposto é o Princípio da invariância da velocidade da Luz, que nos diz que “O valor da velocidade da Luz no vácuo é o mesmo em todos os referenciais inerciais.”

- Einstein mostrou que espaço e tempo são relativos e que massa e energia estão relacionadas pela famosa equação $E=mc^2$.

- No entanto, havia limitações nessa teoria. Ela não abrangia referenciais acelerados e não considerava a gravidade.

- A teoria da Relatividade Geral é a teoria mais abrangente de Einstein, e explica fenômenos em escalas cósmicas e situações extremas como os buracos negros.

- A Relatividade Geral descreve a gravidade como a curvatura do espaço-tempo.

- A massa dos objetos cria 'depressões' no espaço-tempo, fazendo com que outros objetos se movam ao longo dessas depressões.

- Vimos que a Relatividade Geral visualiza o espaço-tempo como uma entidade única e curva.

- Em vez de pensar no espaço e no tempo separadamente, devemos pensar neles como um único conjunto de quatro dimensões: três de espaço e uma de tempo.

- Isso nos ajuda a entender como a gravidade funciona não como uma força distante, mas como uma curvatura do espaço-tempo.

- Vimos também o eclipse solar de 1919, que ajudou a comprovar a teoria da

Relatividade Geral.

- Durante o eclipse, a gravidade do Sol curvou a luz das estrelas, confirmando a previsão de Einstein.

- A Relatividade de Einstein revolucionou nossa compreensão do universo. Um resultado dessa Teoria são os Buracos Negros.

Cena 4: Os Mistérios dos Buracos Negros

- Fomos introduzidos aos buracos negros como formações resultantes do colapso gravitacional de estrelas massivas.

- As estrelas massivas colapsam sob sua própria gravidade, formando uma singularidade e um horizonte de eventos ao seu redor.

- Destacou-se que a estrutura de Buraco Negro é composta pela singularidade, como uma região de densidade infinita e pelo horizonte de eventos, como a fronteira além da qual nada pode escapar.

- Foi explicado como os buracos negros distorcem o espaço-tempo ao seu redor, influenciando o movimento de objetos e luz.

- Vimos a primeira imagem de um buraco negro em 2019, no centro da galáxia M87, e a do buraco negro Sagitário A* em 2022, no centro da nossa galáxia Via Láctea.

Cena 5: Conclusão

- Bem, espero que essa revisão tenha sido útil. A gravitação e os buracos negros são temas fascinantes que continuam a intrigar cientistas e entusiastas do espaço.

- E o cosmos está cheio de mistérios esperando para serem descobertos. Até a próxima jornada pelo universo, Pessoal!

Fim!

APÊNDICE B – Planos de aula

PLANO DE AULA 01
Professor:
Disciplina:
Escola:
Turma:
Data:

TEMA
Gravitação Universal e uma Introdução a Buracos negros: Apresentação da pesquisa e avaliação diagnóstica.

OBJETIVOS
<p style="margin-left: 40px;">Objetivo Geral:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introduzir os alunos à pesquisa educacional em que estão participando, fornecendo-lhes contexto sobre a importância do tema abordado e realizar avaliação diagnóstica para identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre Gravitação Universal e Buracos negros. <p style="margin-left: 40px;">Objetivo Específico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar os subsunçores dos estudantes sobre gravitação universal e buracos negros. • Estimular a reflexão sobre o que os estudantes sabem e a compartilharem suas ideias. • Diagnosticar as necessidades de aprendizado dos alunos para direcionar aos organizadores prévios.

DURAÇÃO
80 minutos

RECURSOS
<ul style="list-style-type: none"> • Projetor. • Quadro branco. • Pilotos e apagador.

METODOLOGIA

A aula será dedicada à aplicação de uma avaliação diagnóstica com o objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre gravitação universal e buracos negros. Os alunos serão inicialmente introduzidos à pesquisa educacional em que estão participando, fornecendo-lhes contexto sobre a importância do tema abordado (T=30min). Em seguida, a segunda etapa da aula, os alunos receberão um questionário composto por 14 questões discursivas e de múltiplas escolha. Essas questões visam avaliar a compreensão dos alunos sobre os conceitos fundamentais de gravitação universal e buracos negros, bem como identificar possíveis lacunas ou concepções equivocadas que precisam ser abordadas durante o processo de ensino (T=50min).

AVALIAÇÃO

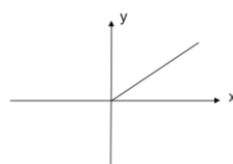
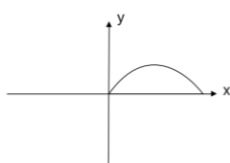
O questionário a seguir, destina-se a avaliar os conhecimentos prévios dos alunos em diversas áreas da física, com foco inicial na identificação do entendimento dos alunos sobre conceitos fundamentais como força, trajetórias elípticas e retilíneas, queda livre, aceleração centrípeta, peso e massa. Posteriormente, busca-se avaliar o nível de conhecimento ou familiaridade dos alunos com conceitos mais avançados, tais como gravitação universal e buracos negros.

1) Você sabe qual é a definição de força?

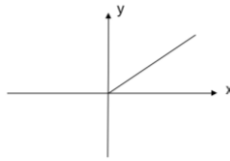
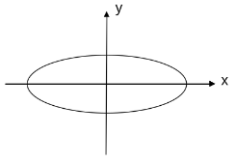
- a) Uma quantidade que mede a velocidade de um objeto.
- b) Uma medida da quantidade de matéria em um objeto.
- c) Uma ação que pode mudar o estado de movimento de um objeto.
- d) A resistência de um objeto à mudança de seu estado de movimento.
- e) Nenhuma das alternativas.

2) Sobre as trajetórias elípticas e retilíneas, qual das seguintes opções descreve melhor estas trajetórias?

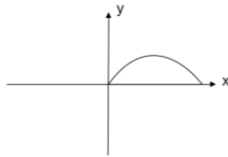
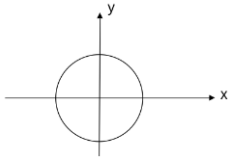
a)



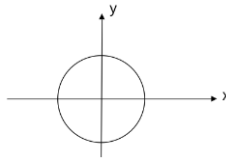
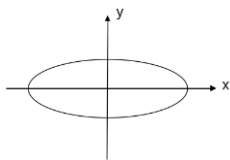
b)



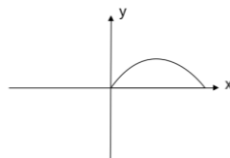
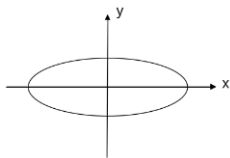
c)



d)



e)



3) Qual das seguintes opções descreve melhor a queda livre?

- a) Um objeto em queda livre não está sujeito à força da gravidade.
- b) Um objeto em queda livre tem velocidade constante.
- c) Um objeto em queda livre tem aceleração constante.
- d) Um objeto em queda livre tem velocidade escalar inicial não nula.
- e) Nenhuma das alternativas.

4) Qual das seguintes opções descreve melhor a aceleração centrípeta?

- a) Uma aceleração que faz um objeto se mover em linha reta.

b) Uma aceleração que mantém um objeto em movimento circular.

c) Uma aceleração que aumenta a velocidade de um objeto.

d) Uma aceleração que diminui a velocidade de um objeto.

e) Nenhuma das alternativas.

5) Qual das seguintes opções descreve melhor a diferença entre peso e massa?

a) Peso é a quantidade de matéria em um objeto, enquanto massa é a força que a gravidade exerce sobre ele.

b) Peso é a força que a gravidade exerce sobre um objeto, enquanto massa é a quantidade de matéria presente nele.

c) Peso e massa são conceitos idênticos e podem ser usados de forma intercambiável.

d) Peso é a medida da inércia de um objeto, enquanto massa é a medida da força gravitacional que atua sobre ele.

e) Nenhuma das alternativas.

6) Você já ouviu falar sobre alguns destes termos abaixo?

Protoestrela
Supergigante
Supernova
Estrela de Nêutrons
Buraco negro

a) Sim

b) Não

Se “Sim”, marque os termos que ouviu falar.

7) Você já frequentou algum curso ou palestra sobre gravitação e buracos negros?

a) Sim

b) Não

Se Sim, cite a fonte onde você ouviu falar desses temas.

Ex: Na escola (durante as aulas), Televisão, rádio, jornais, revistas, internet e outros.

8) Você sente interesse em explorar e aprender sobre o vasto Universo em que estamos inseridos?

a) Sim, tenho interesse em estudar sobre o Universo, seus mistérios e descobertas.

b) Não, não me interessa em estudar sobre o Universo.

9) Você conseguiria explicar por que todos os objetos são atraídos para a superfície da Terra?

Selecione a opção que você acha correta.

a) A força gravitacional entre a Terra e os objetos.

b) A força magnética da Terra.

c) A energia presente nos objetos.

d) A pressão atmosférica sobre os objetos.

e) Nenhuma das alternativas.

10) Se o Sol exerce atração gravitacional sobre a Terra, a Terra também exerce atração gravitacional sobre o Sol? Qual é a justificativa adequada para essa relação?

a) Sim, de acordo com a terceira lei de Newton, de ação e reação.

b) Sim, devido à força magnética da Terra.

c) Sim, porque é necessária uma força para evitar que se aproximem.

d) Todas as alternativas estão corretas.

e) Nenhuma das alternativas.

11) Você já ouviu falar sobre a Teoria da relatividade Geral de Einstein?

a) Sim

b) Não

12) Se sua resposta foi sim à questão anterior, qual das seguintes opções descreve melhor um dos aspectos da teoria?

a) A teoria da relatividade geral afirma que o tempo passa de maneira uniforme em todo o universo.

b) A teoria da relatividade geral propõe que a gravidade é causada pela interação entre partículas subatômicas.

c) A teoria da relatividade geral sugere que a massa de um objeto pode alterar a geometria do espaço-tempo ao seu redor.

d) A teoria da relatividade geral conclui que a velocidade da luz é variável dependendo da fonte emissora.

e) Todas as alternativas estão corretas.

13) Qual das seguintes opções melhor descreve um buraco negro?

a) Um buraco negro é uma estrela em colapso.

b) Um buraco negro é um objeto celestial que emite luz intensa.

c) Um buraco negro é uma região do espaço onde a gravidade é tão forte que nada, nem mesmo a luz, pode escapar.

d) Um buraco negro é um fenômeno que ocorre quando dois planetas colidem.

e) Um buraco negro é uma região do espaço onde a gravidade é mais fraca do que em outros lugares.

14) Qual das seguintes imagens representa um buraco negro?

a)



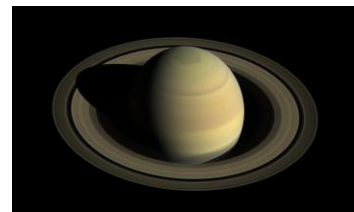
b)



c)



d)



e)



REFÊRENCIA

KIEFER, Neci Iolanda Schwanz; PILATTI, Luiz Alberto. Roteiro para a elaboração de uma aula significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 1, 2014.

SAE DIGITAL. Disponível em: <https://sae.digital/como-mapear-o-conhecimento-dos-alunos/>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2024.

PLANO DE AULA 02

Professor:

Disciplina:

Escola:

Turma:

Data:

TEMA

Gravitação Universal e uma Introdução a Buracos negros: Animações sobre a Introdução aos conceitos de Gravitação.

OBJETIVOS

Objetivo Geral:

- Promover a compreensão dos princípios fundamentais da gravitação universal de Newton, destacando sua importância no cotidiano e no universo, por meio de uma abordagem visual, as animações virtuais.

Objetivo Específico:

- Apresentar aos alunos os conceitos básicos da gravitação universal.
- Relacionar a gravitação com fenômenos cotidianos e astronômicos.
- Avaliar se as animações ajudaram a esclarecer os conceitos de gravitação, auxiliando na consolidação do aprendizado.

DURAÇÃO

80 minutos

RECURSOS

- Projetor.
- Quadro branco.
- Pilotos e apagador.

METODOLOGIA

A aula começará com uma breve discussão e revisão de conceitos básicos de física clássica e em

seguida, a introdução a gravitação, destacando sua importância no cotidiano e no universo. Os alunos assistirão a uma animação introdutória com a personagem Alicia narrando o conteúdo (aproximadamente 5min de duração). A animação ilustrará a lei da gravitação universal de Newton, enfatizando os conceitos de massa, distância e sua influência na força gravitacional. O exemplo da maçã e da Lua será contextualizado, seguido pela enunciação da fórmula da lei, com destaque para a constante gravitacional. Imagens de fenômenos gravitacionais, como a Lua orbitando a Terra e os planetas em órbita ao redor do Sol, serão apresentadas. O roteiro pedagógico das animações foi cuidadosamente elaborado para se alinhar aos conhecimentos prévios dos alunos, facilitando a assimilação dos novos conceitos. Na parte final da aula, os alunos responderão duas questões de assuntos abordados na animação virtual.

AVALIAÇÃO

O questionário a seguir, destina-se a avaliar o entendimento dos alunos sobre a Lei da Gravitação Universal de Newton e sua aplicação no movimento de objetos como a maçã e a Lua. Além disso, busca-se verificar se os alunos compreendem como os cientistas determinaram experimentalmente o valor da constante gravitacional "G", destacando a importância desses conhecimentos para a compreensão dos fenômenos gravitacionais e para o desenvolvimento da exploração espacial.

- 1) Qual é a relação entre a força da gravidade, conforme descrita por Newton, e o movimento de objetos como a maçã e a Lua?
- 2) Como os cientistas determinaram experimentalmente o valor da constante gravitacional "G" ?

REFÊRENCIA

KIEFER, Neci Iolanda Schwanz; PILATTI, Luiz Alberto. Roteiro para a elaboração de uma aula significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 1, 2014.
SAE DIGITAL. Disponível em: <https://sae.digital/como-mapear-o-conhecimento-dos-alunos/>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2024.

PLANO DE AULA 03

Professor:

Disciplina:

Escola:

Turma:

Data:

TEMA

Gravitação Universal e uma Introdução a Buracos negros: Animações sobre a Relatividade Geral de Einstein e a Formação e Características dos Buracos negros.

OBJETIVOS

Objetivo Geral:

- Despertar o interesse dos alunos pela Teoria da Relatividade de Einstein, demonstrando sua importância na física moderna e como revolucionou a compreensão do espaço-tempo e fornecer aos alunos compreensão sobre a formação e as características dos buracos negros através de animações virtuais.

Objetivo Específico:

- Apresentar os conceitos fundamentais da relatividade especial e geral.
- Conectar os conceitos da Relatividade com exemplos concretos.
- Demonstrar como a Teoria da Relatividade, utilizando o eclipse solar de 1919 como exemplo.
- Explicar a formação dos buracos negros.
- Explorar as características dos buracos negros, como a singularidade e o horizonte de eventos.

DURAÇÃO

80 minutos

RECURSOS

- Projetor.
- Quadro branco.

- Pilotos e apagador.

METODOLOGIA

A aula terá início com a contextualização e explicação sobre a Teoria da Relatividade de Einstein, e seguidamente de buracos negros. Será exibida as animações virtuais que introduzem estes conceitos. A animação virtual da TRG, terá duração de aproximadamente 8 min, e fornecerá uma breve contextualização sobre a importância de Albert Einstein na física moderna e apresentarão os conceitos fundamentais da relatividade especial e geral. O objetivo é demonstrar como essas teorias revolucionaram nossa compreensão do espaço e do tempo. Será mostrado o eclipse solar de 1919, um efeito observado que ajudou a validar a Teoria da Relatividade Geral de Einstein. A animação virtual dos BNs, narrada pela personagem Alicia, cuja duração será de 8 min, introduzirá de forma sucinta a formação de buracos negros, destacando o colapso gravitacional como um dos processos que podem levar à sua criação. Em seguida, o conceito de singularidade será abordado para ilustrar a formação deste objeto compacto. As animações foram elaboradas seguindo um roteiro cuidadosamente elaborado, alinhado aos conhecimentos prévios dos alunos sobre a relatividade geral e buracos negros, para garantir uma apresentação progressiva dos conceitos. Ao final, os alunos responderão a um questionário com cinco perguntas projetadas para consolidar o aprendizado e estimular a reflexão crítica sobre os conceitos apresentados durante a aula.

AVALIAÇÃO

O questionário a seguir, destina-se a explorar a compreensão dos princípios fundamentais da Teoria da Relatividade e buracos negros. As perguntas estão desenhadas para induzir os respondentes a refletir sobre os conceitos introduzidos por Einstein que divergem das noções newtonianas clássicas e como elas foram verificadas experimentalmente. O questionário visa também incentivar a reflexão e o interesse dos alunos por temas científicos avançados e em constante evolução, como a física dos buracos negros.

I - Introdução a Relatividade Geral de Einstein

- 1) O que dizem os pressupostos da Teoria da Relatividade Especial de Einstein?
- 2) Qual é a Teoria mais abrangente que explica fenômenos em escalas cósmicas e situações extremas como os buracos negros?

3) O que acontece com a luz quando passa perto de um objeto massivo, segundo a Teoria da Relatividade Geral?

II - Introdução a Buracos Negros

1) O que acontece com uma estrela massiva quando ela esgota seu combustível nuclear?

2) Qual é a região ao redor de um buraco negro na qual nada pode escapar, nem mesmo a luz?

REFÊRENCIA

KIEFER, Neci Iolanda Schwanz; PILATTI, Luiz Alberto. Roteiro para a elaboração de uma aula significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 1, 2014.

SAE DIGITAL. Disponível em: <https://sae.digital/como-mapear-o-conhecimento-dos-alunos/>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2024.

PLANO DE AULA 04

Professor:

Disciplina:

Escola:

Turma:

Data:

TEMA

Gravitação Universal e uma Introdução a Buracos negros: Animações de Revisão e Avaliação de validação.

OBJETIVOS

Objetivo Geral:

- Promover uma compreensão aprofundada sobre a Gravitação Universal, os pressupostos da Relatividade Especial de Einstein e a Teoria da Relatividade Geral, com foco na formação e características dos buracos negros.

Objetivos Específicos:

- Apresentar a jornada de aprendizado pela Gravitação Universal.
- Relembrar e explicar Teoria da Relatividade Geral, contextualizando sua importância para a compreensão dos buracos negros.

Realizar uma avaliação de validação para verificar se os alunos obtiveram aprendizagem significativa sobre o tema.

DURAÇÃO

80 minutos

RECURSOS

- Projetor.
- Quadro branco.
- Pilotos e apagador.

METODOLOGIA

A aula iniciará com uma animação narrada pela personagem Alicia, destacando a jornada de

Alicia pela Gravitação Universal. Em seguida, será lembrado os dois pressupostos da Relatividade especial apresentados por Einstein e a Teoria mais abrangente desta, a Relatividade Geral. Essa introdução visualizará os mecanismos físicos subjacentes à criação de buracos negros, incluindo o colapso gravitacional de estrelas de grande massa, além de detalhar aspectos fundamentais dos buracos negros, tais como o horizonte de eventos e a singularidade gravitacional. Na fase conclusiva, os alunos serão organizados de forma individual para realizarem a avaliação de validação, com o objetivo de verificar se obtiveram uma aprendizagem significativa. Esta atividade tem como intuito não apenas consolidar o conhecimento adquirido, mas também estimular o raciocínio crítico e a capacidade de aplicação teórica em contextos práticos, essenciais para a compreensão profunda da física moderna.

AVALIAÇÃO

A avaliação de validação a seguir, destina-se a verificar a eficácia da proposta didática baseada em animações virtuais no processo de ensino e aprendizagem de conteúdos complexos de física, como a Gravitação Newtoniana, a Teoria da Relatividade e os Buracos Negros. Por meio de questões objetivas, discursivas e perguntas avaliativas sobre a experiência com as animações, busca-se diagnosticar o nível de compreensão dos alunos sobre os conceitos abordados, identificar possíveis dificuldades e avaliar o impacto do uso de recursos tecnológicos na construção de uma aprendizagem mais significativa, crítica e contextualizada.

1) Qual das alternativas abaixo melhor descreve a Lei da Gravitação Universal formulada por Newton?

- a) A gravidade é uma força que depende exclusivamente da massa de um dos corpos.
- b) A gravidade é uma força que atrai dois corpos um em direção ao outro, sendo diretamente proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.
- c) A gravidade é uma força que só atua entre corpos celestes como planetas e estrelas.
- d) A gravidade é uma força que varia inversamente com a distância entre dois corpos, sem relação com suas massas.

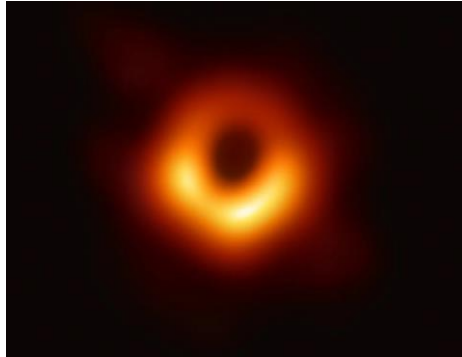
2) Segundo a animação, o que a balança de torção de Cavendish permitiu determinar?

- a) A trajetória da Lua em torno da Terra.

- b) A distância exata entre dois corpos celestes.
 - c) A velocidade com que a maçã cai da árvore.
 - d) A força entre duas massas e a constante G (Constante Gravitacional).
- 3) Quais são os dois pressupostos da Relatividade Especial formulados por Einstein?
- a) As leis da Física são diferentes para cada referencial inercial e a velocidade da luz varia conforme o referencial.
 - b) As leis da Física são as mesmas para qualquer referencial inercial e a velocidade da luz no vácuo é a mesma em todos os referenciais inerciais.
 - c) A velocidade da luz é variável e o tempo é absoluto.
 - d) O espaço é absoluto e a velocidade da luz é constante apenas no referencial terrestre.
- 4) Segundo a teoria da Relatividade Geral de Einstein, como a gravidade é descrita?
- a) Como uma força que atrai dois corpos com uma intensidade diretamente proporcional às suas massas.
 - b) Como uma força repulsiva que atua apenas em grandes distâncias.
 - c) Como a curvatura do espaço-tempo causada pela massa dos objetos.
 - d) Como uma interação entre campos elétricos e magnéticos.
- 5) De acordo com a teoria da Relatividade Geral, como devemos entender o espaço e o tempo?
- a) Como duas entidades separadas, cada uma com suas próprias dimensões.
 - b) Como uma entidade única e curva composta por três dimensões de espaço e uma de tempo.
 - c) Como um conjunto de cinco dimensões, quatro de espaço e uma de tempo.
 - d) Como um espaço absoluto e um tempo relativo, cada um independente do outro.
- 6) Como se forma um buraco negro?
- a) Pelo colapso gravitacional de estrelas massivas
 - b) A partir da explosão de uma estrela anã branca.
 - c) Pelo acúmulo gradual de matéria intergaláctica.

d) A partir da fusão de várias estrelas menores.

7) Qual é a composição estrutural de um buraco negro?



a) Um núcleo sólido e uma atmosfera de gás quente.

b) Um campo magnético intenso e uma camada de plasma.

c) Uma região de anti-matéria e uma esfera de matéria escura.

d) Uma singularidade de densidade infinita e um horizonte de eventos além do qual nada pode escapar.

8) Escolha um dos assuntos que estudamos: Gravitação Newtoniana, Relatividade geral ou Buracos negros, e escreva sobre o que você compreendeu.

Avaliação das Animações

1) As animações facilitaram a compreensão das leis da gravitação newtoniana?

a) Sim

b) Não

2) As animações sobre gravitação newtoniana ajudaram você a relacionar os conceitos com suas experiências do cotidiano?

a) Sim

b) Não

3) Você conseguiu integrar os novos conhecimentos sobre a Lei da Gravitação Universal com o que já sabia sobre as forças?

a) Sim

b) Não

4) As animações foram eficazes para explicar os conceitos complexos da Relatividade Geral de Einstein e Buracos negros?

a) Sim	b) Não
5) As explicações sobre a curvatura do espaço-tempo na Relatividade Geral foram facilitadas pelas animações?	
a) Sim	b) Não
6) Você conseguiu perceber a inter-relação entre espaço e tempo após a revisão dos conceitos de gravitação e relatividade?	
a) Sim	b) Não
7) As animações ajudaram você a entender melhor a estrutura dos buracos negros, incluindo a singularidade e o horizonte de eventos?	
a) Sim	b) Não
8) Você sentiu interesse pelos conteúdos ao assistir às animações?	
a) Sim	b) Não
9) As animações despertaram em você a vontade de explorar outros conteúdos de física?	
a) Sim	b) Não
10) Você acha que, utilizando tecnologias de ensino como as animações, aprenderia com mais clareza?	
a) Sim	b) Não
11) A revisão dos conteúdos sobre peso, massa e gravitação contribuiu para uma compreensão mais profunda da relatividade geral?	
a) Sim	b) Não
12) A utilização de exemplos do cotidiano nas animações facilitou a compreensão dos conceitos científicos apresentados?	
a) Sim	b) Não
13) Você sentiu que as animações promoveram uma aprendizagem mais significativa em comparação com métodos tradicionais de ensino?	
a) Sim	b) Não

14) Quais são os desafios que você enfrenta ao estudar física e o que você acha que poderia ser melhorado no ensino da disciplina?

REFÊRENCIA

KIEFER, Neci Iolanda Schwanz; PILATTI, Luiz Alberto. Roteiro para a elaboração de uma aula significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 1, 2014.
SAE DIGITAL. Disponível em: <https://sae.digital/como-mapear-o-conhecimento-dos-alunos/>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2024.

APÊNDICE C – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA
 CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SALINÓPOLIS
 FACULDADE DE FÍSICA
 LICENCIATURA EM FÍSICA



Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Prezado (a) Senhor (a)

Gostaríamos de convidá-lo a participar de nosso estudo, **GRAVITAÇÃO E INTRODUÇÃO DE BURACOS NEGROS**: Uma proposta didática com animações virtuais para a Física no segundo ano do Ensino Médio. Trata-se de uma pesquisa à nível de Graduação, sob a responsabilidade da acadêmica, **Meirilene de Sousa Monteiro** orientada pela Prof^ª. Dra. **CAROLINA LOUREIRO BENONE** e pela Prof^ª. Dra. **LÍLIA CRISTINA DOS SANTOS DINIZ ALVES**. Sugerir uma proposta didática, fundamentada na abordagem de animações virtuais, para o ensino de conceitos de Gravitação Newtoniana e conceitos avançados de Física Moderna, especificamente relacionados à Relatividade geral e a uma introdução aos Buracos Negros, direcionada aos estudantes do segundo ano do ensino médio.

A participação dos entrevistados é voluntária e se dará por meio do engajamento nas atividades propostas no projeto que serão desenvolvidas na Escola Dr. Miguel de Santa Brígida em Salinópolis-PA pela acadêmica **Meirilene de Sousa Monteiro**.

As atividades desenvolvidas serão filmadas, e utilizaremos as gravações, imagens e as falas produzidas durante todas as atividades. No entanto, destacamos que os sigilos das informações serão preservados, bem como a identificação dos participantes da pesquisa. Sendo assim, todos os registros efetuados no decorrer desta investigação serão usados para fins unicamente acadêmico - científicos e apresentados na forma de **Trabalho de Conclusão de Curso**.

Em caso de concordância com as considerações expostas, solicitamos que assine este “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido” no local indicado abaixo. Desde já agradecemos sua colaboração e nos comprometemos com a disponibilização à instituição dos resultados obtidos nesta pesquisa, tornando-os acessíveis a todos os participantes.

Meirilene de Sousa Monteiro
Acadêmica

Prof^a. Dra. Carolina Loureiro Benone
Orientadora/UFPA-Campus Salinópolis

Prof^a. Dra. Lília Cristina dos Santos Diniz Alves
Coorientadora/UFPA-Campus Salinópolis

Eu, _____,
pais/responsáveis assino o termo de consentimento, após esclarecimento e concordância com os objetivos e condições da realização da pesquisa “**GRAVITAÇÃO E INTRODUÇÃO DE BURACOS NEGROS**: Uma proposta didática com animações virtuais para a Física no segundo ano do Ensino Médio”, permitindo, também, que os resultados gerais deste estudo sejam divulgados sem a menção dos nomes dos pesquisados.

Salinópolis (PA), _____ de maio de 2024.

Assinatura do pesquisado (a) ou
responsáveis

Qualquer dúvida ou maiores esclarecimentos, entrem contato com a responsável pelo estudo.

E-mail: meirileneufpa@hotmail.com/ **Telefone:**(91) 98455-4394