



**UEPB**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**ANA SUÊNIA DE PONTES FERREIRA**

**APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS NO ENSINO DE FÍSICA: UMA  
PROPOSTA PARA O ENSINO DA RELATIVIDADE**

**CAMPINA GRANDE - PB  
2022**

ANA SUÊNIA DE PONTES FERREIRA

**APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS NO ENSINO DE FÍSICA: UMA  
PROPOSTA PARA O ENSINO DA RELATIVIDADE**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Estadual da Paraíba e da Sociedade Brasileira de Física, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física na educação básica.

**Orientadora:** Profa. Dra. Ana Raquel Pereira de Ataíde

**CAMPINA GRANDE - PB  
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F383a Ferreira, Ana Suênia de Pontes.  
Aprendizagem baseada em problemas no ensino de física [manuscrito] : uma proposta para o ensino da relatividade / Ana Suênia de Pontes Ferreira. - 2022.  
189 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Profa. Dra. Ana Raquel Pereira de Ataíde, Departamento de Física - CCT."

1. Metodologias ativas. 2. Aprendizagem baseada em problemas. 3. Buracos negros. 4. Teoria da relatividade. 5. Ensino de Física. I. Título

21. ed. CDD 530.7

ANA SUÊNIA DE PONTES FERREIRA

APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS NO ENSINO DE FÍSICA: UMA  
PROPOSTA PARA O ENSINO DA RELATIVIDADE

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Estadual da Paraíba e da Sociedade Brasileira de Física, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física na educação básica.

Aprovada em: 21/10/2022.

**BANCA EXAMINADORA**



Profa. Dra. Ana Raquel Pereira de Ataíde (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes  
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

A minha família, pela dedicação,  
companheirismo e amizade, DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, fonte de amor inesgotável, por todas as bênçãos recebidas e por me dar forças e me permitir finalizar este trabalho.

A minha orientadora, a Professora Ana Raquel Pereira de Ataíde, pela confiança e pela orientação competente, motivadora e constante na realização desta pesquisa. Agradeço por todos os ensinamentos compartilhados de forma admirável, e por me guiar nos primeiros passos da pós-graduação. A você, todo o meu apreço.

Ao professor Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos, pela amizade, pela confiança, motivação e pelas considerações e sugestões no trabalho. Elas foram importantes para a conclusão final da pesquisa.

Ao professor Dr. Paulo Henrique Dias Menezes, agradeço pela participação na banca examinadora do trabalho final.

A professora Dra. Paula de Almeida Castro, que tão gentilmente aceitou participar da minha qualificação, obrigada pelas considerações e sugestões realizadas. Elas foram importantes para a conclusão final da pesquisa.

Aos professores do programa de pós-graduação, MNPEF/UEPB – POLO 48, pelos conhecimentos partilhados, por estarem sempre prontos a compartilhar e tirar nossas dúvidas durante todo o mestrado.

A professora Ma. Janaína Guedes da Silva, pela amizade, pelas contribuições e sugestões na revisão dos problemas em ABP, por sempre estar disposta a ajudar e sanar minhas dúvidas.

Ao trio gestor da Escola que leciono ECI Francisco Pessoa de Brito. Em especial a Valdete – Gestora, a Coordenadora Pedagógica pelo carinho e compreensão. A todos os professores que fazem parte da equipe dessa escola, em especial, ao amigo e professor Jonatha Lopes por sempre me apoiar e ajudar na realização desse sonho, e a amiga e professora de Português Edilane Batista Ferreira por sua atenção e contribuições. A vocês, o meu muito obrigada.

Aos estudantes, que são peças fundamentais na pesquisa, que participaram da nossa proposta de ensino em ABP, que mesmo nos dias de férias estavam participando e compartilhando conhecimentos.

Ao meu esposo Rogério, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. Obrigada por permanecer ao meu lado, mesmo sem os carinhos rotineiros e sem a atenção devida.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada!

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

## RESUMO

Diante da situação atual do ensino de Física e da falta de engajamento dos estudantes em aulas tradicionais nesta disciplina e apesar dos desafios envolvidos, pesquisadores apresentam e enfatizam em suas arguições que a utilização de metodologias ativas promove aulas dinâmicas, que despertam nos estudantes a criatividade, o raciocínio crítico, a capacidade de resolver problemas e de trabalhar em grupos colaborativos e solidários, promovendo possibilidades para atender as exigências propostas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) em desenvolver habilidades e competências pessoais e profissionais consideradas importantes para a formação do estudante e de sua atuação na sociedade. O trabalho visa analisar a eficácia do uso da metodologia ativa ABP no ensino de Física em uma escola pública inserida no modelo de Escola Cidadã Integral. Para isso foi construída uma sequência de ensino que aborda os conteúdos da Teoria da Relatividade e Buracos Negros distribuídos em dezoito aulas. Dessa maneira, almejamos oferecer aos professores de Física do Ensino Médio uma proposta de ensino que engaje e incentive os estudantes, permitindo-lhes exercer o protagonismo no processo de ensino e aprendizagem, trazendo o educando para o centro do processo de formação do cidadão e permitindo ao professor uma didática em sala de aula que trabalhe com o cotidiano e vivências do estudante. Os resultados mostraram indícios de aprendizagem, sendo observado o desenvolvimento de habilidades, como o desenvolvimento pessoal e cooperativo nos estudantes, contribuindo para o processo de protagonismo, oportunizando aos estudantes atitudes ativas, críticas e reflexivas.

**Palavras-Chave:** aprendizagem baseada em problemas; buracos negros; ensino de física; metodologias ativas; teoria da relatividade.

## ABSTRACT

Given the current situation of physics teaching and the lack of engagement of students in the traditional classes in this discipline and despite the challenges involved, researchers present and emphasize in their allegations that the use of active methodologies promotes dynamic classes that provoke students' creativity, critical reasoning, the ability to solve problems and work in collaborative and supportive groups, in that way, promoting possibilities to meet the requirements proposed by the National Common Curriculum Base (BNCC) in developing skills, personal and professional skills considered important for the education of these students and their performance in Society. The work aims to analyze the effectiveness of the use of active BPA methodology in physics teaching in a public school inserted in the model of Integral Citizen School. For this, a teaching sequence was constructed that addresses the contents of the Theory of Relativity and Black Holes distributed in eighteen classes. So, in this way, we aim to offer high school physics teachers a teaching proposal that engages and encourages students allowing them to exercise the protagonism in the teaching and learning process, bringing the student to the center of the citizen's training process and allowing the teacher a didactic in the classroom that works with the daily life and experiences of the student. The results showed indications of learning, being observed the development of skills such as personal and cooperative development in students contributing to the process of protagonism, opportunistic to students' active, critical and reflective attitudes.

**Keywords:** active methodologies; black holes; physics teaching; problem based learning; theory of relativity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Princípios que constituem as metodologias ativas de ensino. ....	18
Figura 2 - Ciclo da ABP .....	32
Figura 3 - Passos para realização da proposta em ABP .....	41
Figura 4 - Referencial inercial.....	48
Figura 5 - Referencial inercial e não inercial .....	48
Figura 6 - Diagrama básico do interferômetro .....	51
Figura 7 - Dois sistemas de referenciais inerciais S e S', com S' movendo-se com velocidade $v \rightarrow$ em relação a S. ....	55
Figura 8 - Barra sobre o referencial S e S' .....	60
Figura 9 - Dois relógios idênticos A e B, separados por uma distância $L_0$ .....	62
Figura 10 - O referencial S' está movendo-se com velocidade V em relação ao referencial S. Um objeto está se movendo com velocidade $u'$ em relação ao referencial S' e $u$ em relação ao referencial S. ....	64
Figura 11 - Partícula movendo-se com $v$ constante no sentido positivo do eixo. ....	66
Figura 12 - Gráficos da equação relativística (Eq. 3.30) e da equação clássica (Eq. 3.29) para a energia cinética de um elétron em função de $v/c$ . ....	69
Figura 13 - Os resultados experimentais mentais realizados por Einstein. ....	74
Figura 14 - Esquema simplificado da formação dos buracos negros. ....	78
Figura 15 - Primeira foto de um buraco negro tirada no ano de 2019 localizado no centro da galáxia Messier 87.....	80
Figura 16 - "camadas" do buraco negro. ....	80
Figura 17 - Apresentação do desenvolvimento das aulas .....	91
Figura 18 - Apresentação dos materiais na plataforma do Google Classroom .....	92
Figura 19 - Apresentação do diário de bordo do grupo. ....	93
Figura 20 - Primeiro problema motivador: Buracos Negros.....	94
Figura 21 - Discussão das hipóteses do problema motivador .....	95
Figura 22 - Apresentação dos conceitos que pesquisaram na aprendizagem autodirigida.....	97
Figura 23 - Diário de bordo individual do estudante. ....	97
Figura 24 - Cartaz produzido por um das equipes para apresentação.....	97
Figura 25 - Ficha de avaliação de pares .....	98
Figura 26 - Apresentação final .....	98
Figura 27 - Apresentação final .....	99
Figura 28 - Organização dos estudantes nas salas temáticas e apresentação do problema motivador.....	100
Figura 29 - Organização dos temas a serem pesquisados .....	101
Figura 30 - Organização do diário de bordo para o segundo problema. ....	102
Figura 31 - Estudantes produzindo os cartazes para a apresentação .....	103
Figura 32 - Ficha de avaliação dos pares para o segundo problema. ....	103
Figura 33 - Apresentação do terceiro problema motivador.....	104
Figura 34 - Apresentação de trechos do filme Interstellar como problema motivador .....	104
Figura 35 - Organização dos conceitos.....	106
Figura 36 - Organização dos temas autodirigidos .....	107
Figura 37 - Apresentação dos temas do estudo autodirigido realizado pelo estudante. .....	107
Figura 38 - Construção do texto base para a realização do Podcast. ....	108
Figura 39 - Finalização do problema motivador. ....	109

Figura 40 - Avaliação dos pares do terceiro problema. ....	109
Figura 41- Apresentação dos conceitos trabalhados no problema motivador .....	109
Figura 42 - Simuladores que foram utilizados para apresentar a contração relativística (simulador 1) e o conceito de simultaneidade (simulador 2).....	110
Figura 43 - Participação dos estudantes nos problemas motivadores .....	112
Figura 44 - Atividades realizadas com os grupos tutoriais .....	113
Figura 45 - Dificuldade em trabalhar com o grupo tutorial com os sete passos em ABP. ....	114
Figura 46 - Sentiram dificuldades em seguir as etapas do ciclo em ABP. ....	114
Figura 47 - Referente ao uso da metodologia nas próximas aulas. ....	115
Figura 48 - Referente aos materiais disponibilizados no google classroom. ....	116
Figura 49 - Pergunta referente ao uso dos materiais disponibilizados na plataforma. .....	116
Figura 50 - Pergunta referente aos trabalhos desenvolvidos através de problemas. .....	117
Figura 51 - Referente ao resultado do trabalho com o método de ensino.....	118
Figura 52 - Referente a aderência ao método utilizado.....	118
Figura 53 - Referente a forma como as atividades foram apresentadas e trabalhadas .....	119
Figura 54 - Conceitos da TRR que sentiram dificuldade em compreender. ....	121
Figura 55 - Conceitos dos Buracos Negros que sentiram dificuldades em compreender. ....	122
Figura 56 - Os applets (simuladores) que foram usados ajudaram a compreender o conteúdo abordado. ....	122
Figura 57 - Referente aos conteúdos vistos na sequência.....	123
Figura 58 - Pergunta se os estudantes pretendem se aprofundar nos assuntos abordados. ....	123

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características do método ABP.....	26
Quadro 2 - Exemplo de um exercício e um problema.....	29
Quadro 3 - Passos para a construção de um problema em ABP.....	30
Quadro 4 - Atribuições do coordenador e secretário.....	33
Quadro 5 - Conceitos avaliativos que podem ser atribuídos aos estudantes pelo professor.....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP	Aprendizagem Baseada em Problemas
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
EUA	Estados Unidos da América
FAMENA	Faculdade de Medicina de Marília
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
MRU	Movimento Retilíneo Uniforme
PBL	Project Based Learning
PCNEM +	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
TBL	Team-based Learning
TR	Teoria da Relatividade
TRR	Teoria da Relatividade Restrita
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
WAC	Writing Across the Curriculum

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 REFERENCIAIS TEÓRICOS EM ENSINO .....	16
2.1 Metodologias ativas versus metodologia tradicional .....	17
2.2 Aprendizagem baseada em problemas (ABP) – problem based learning (PBL) .....	22
2.2.1 ABP- aspectos conceituais .....	24
2.2.2. ABP - Estruturação de proposta .....	27
2.2.3 ABP - Problematização .....	28
2.2.4 ABP- Construção de problemas .....	29
2.2.5 ABP- ciclo de aplicação.....	31
2.2.6 ABP – O papel do estudante e do professor.....	33
2.2.7 ABP – A avaliação.....	37
2.2.8 ABP - Fases de aplicação do método.....	40
2.2.9 ABP – Vantagens e desvantagens.....	42
3 REFERENCIAL TEÓRICO EM FÍSICA.....	45
3.1 Relatividade clássica.....	47
3.1.1 Referenciais.....	47
3.1.2 A velocidade da luz.....	50
3.2 Os postulados de Einstein.....	52
3.3 As transformações de Lorentz .....	54
3.4 A dilatação do tempo.....	58
3.5 A contração do comprimento .....	59
3.6 A relatividade da simultaneidade .....	61
3.7 A relatividade das velocidades.....	63
3.8 Momento e energia .....	65
3.9 Noções da teoria da relatividade geral .....	71
3.10 Buracos negros.....	75
4 METODOLOGIA .....	82
4.1 Escola para a realização da intervenção .....	83
4.2 Público-alvo .....	83
4.3 Elaboração da proposta de intervenção .....	83
4.4 A intervenção .....	84
4.4.1 Avaliação da proposta .....	89
4.5 Coleta de dados (observações da intervenção e questionário) .....	89
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	91
5.1 Análise da intervenção com uso da metodologia ativa abp. ....	91
5.1.1 <i>Relato da intervenção I</i> .....	91
5.1.2 <i>Relato da intervenção II</i> .....	99
5.1.3 <i>Relato de intervenção III</i> .....	103
5.2 Análise do questionário .....	110
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	125
REFERÊNCIAS.....	128
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO.....	133
APÊNDICE B – PRODUTO EDUCACIONAL .....	136

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da atualidade referente à educação está na necessidade de proporcionar um ensino inovador que estimule os estudantes a desenvolverem um conhecimento científico, tecnológico, social e econômico. No âmbito do ensino de Ciências, principalmente na disciplina de Física, é notório uma grande parte de estudantes que apontam e identificam as dificuldades no processo de ensino e aprendizagem de conceitos e equações. Visto isso, os profissionais da área de ensino e os pesquisadores apresentam propostas e estratégias para amenizar as dificuldades. (SOUZA; DOURADO, 2015).

O ensino de Física, assim como o de ensino de Ciências, carrega entre as suas raízes um ensino tradicional em que o professor é o centro das atenções, embora os estudos e pesquisas apontem estratégias e melhorias que estão sendo implantadas para mudar esse cenário (ver, por exemplo, MORAN, 2015 e FRANCO; MASETTO, 2012). Compreendemos que a busca por novas estratégias facilitadoras para o desenvolvimento das aprendizagens e que também despertem o interesse dos estudantes da educação básica têm se intensificado e mostrado que podemos mudar o viés das aversões apresentadas pela maioria dos estudantes relacionadas à Física. Diante disso, outro fator que torna o aprendizado mais pleno e prazeroso é quando há uma aproximação entre o docente e os discentes em sala de aula.

Nessa perspectiva, direcionamos nosso olhar para duas peças importantes no processo de ensino e aprendizagem: o estudante e o professor. Nesse sentido, o professor é o que compreende o cenário atual da educação diferente de antigamente, mas que ainda utiliza métodos tradicionais de ensino. Enquanto, os estudantes, não todos, mas a maioria, estão acostumados com os métodos tradicionais de ensino, em que o professor é o orador da sala e eles apenas observam e escutam o que o professor está informando, sendo apenas o receptor.

No entanto, muitos são os aspectos relativos aos elementos que intervêm no contexto educacional, entre estes podemos citar a questão do envolvimento ou não do aluno no processo de ensino e aprendizagem. Seguindo essa linha de raciocínio, como mencionado por Pozo (2002), não é sempre que os estudantes estão em posição de aprendizagem, ou seja, é de responsabilidade do professor assegurar/propor motivos para empreender a aprendizagem.

Diante do exposto, é relevante destacar que as pesquisas apontam que as utilizações de metodologias ativas são propícias para envolver os estudantes em atividades, gerando uma real satisfação para que este se sinta motivado, facilitando o seu desempenho e, por conseguinte a aprendizagem (COSTA, 2020). Corroborando com Pozo (2002), quando diz que o professor tem a responsabilidade de garantir motivos para a aprendizagem e utilizar-se de uma metodologia ativa é uma boa estratégia.

Pinheiro e Alves (2006), afirmam que a Ciência que é trabalhada em sala de aula, na maioria das vezes, não instiga a curiosidade e conseqüentemente a vontade de aprender do estudante. Em decorrência desse processo, o discente pode não se sentir motivado a aprender e, assim, perder a oportunidade de envolver-se no processo de aprendizagem. Em que segundo as teorias construtivistas para que o estudante aprenda, deve ser considerado o seu próprio conhecimento, transformando aquilo que ele já sabe em conhecimento novo e, ainda, para isto ocorrer, é necessário o envolvimento do estudante no processo de construção do conhecimento.

Diante desse cenário, buscamos novas estratégias didáticas para desenvolver a aprendizagem e despertar o interesse dos discentes pelas Ciências, em especial pela Física, o que exige de os professores terem cuidado com as intervenções propostas em sala de aula. Esse cuidado é garantido pela mudança de comportamento do professor, por exemplo, quando ele deseja utilizar uma metodologia ativa. Com esse método, o aluno está no centro do processo ensino-aprendizagem, que tem uma interação mais forte entre professor-aluno e aluno-aluno, deixando de lado o modelo tradicional que não contempla essa correlação.

Neste sentido, compreendemos que o estudante não está inteiramente acomodado com uma metodologia nesse formato, que está relacionada à postura ativa do estudante de ir à busca do seu conhecimento a partir de situações problemas que foram devidamente preparadas pelo seu professor tutor, com um misto de problematização e utilização de vários recursos que pode ser um vídeo, um experimento, tudo que está ao alcance do professor tutor e ele ter planejado conforme as metodologias ativas, isso vai exigir do discente esforço e dedicação.

Voltando para analisar novamente a postura do professor com as metodologias ativas, é importante que o docente tenha em mente que a sua relação com os estudantes será mais próxima e que ele deve estar confiante com os

conteúdos o qual deseja abordar com o uso de metodologias ativas, pois ele será o mediador da construção do conhecimento, assim poderá preparar melhor as suas atividades e conseqüentemente dialogar com os estudantes a respeito das dúvidas que possam surgir sobre os conteúdos.

Desse modo, este trabalho tem por intuito desenvolver e aplicar uma seqüência de ensino com a utilização da metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas-ABP, em que visa analisar o envolvimento e a satisfação dos estudantes durante a aplicação da seqüência e verificar se essa metodologia é adequada para ser trabalhada no ensino de Física. A ABP é uma metodologia ativa, que tem como principal objetivo tornar o estudante o centro do processo de ensino aprendizagem, contrapondo-se aos modelos de ensino que se apresentam como métodos ditos tradicionais. Neste viés, diante da situação que estamos presenciando, é viável repensar em novas práticas pedagógicas e encontrar meios de motivar, entreter e despertar o espírito de pesquisador nos estudantes.

Para que este trabalho fosse desenvolvido, foi necessário que formulássemos questões a serem respondidas com a investigação. Segundo Martins e Theóphilo (2007), a questão de pesquisa é a origem do estudo e orienta toda a busca por sua solução. Para eles, a problemática de pesquisa deve partir da dúvida e inquietação do autor a respeito do referencial teórico pesquisado. Assim, nossa pesquisa pretende responder a essas perguntas:

- Uma proposta didática com aporte na Aprendizagem Baseada em Problemas é adequada para ser trabalhada no ensino de Física?
- Como a utilização metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas influencia o envolvimento dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem na Física?
- Em que medida a Metodologia Ativa de Aprendizagem Baseada em Problemas é aceita pelos estudantes, e em suas visões elas favorecem ou dificultam o processo de ensino e aprendizagem da Física?

A fim de responder essas perguntas, foi elaborada, aplicada e avaliada uma seqüência de ensino.

Diante do exposto, este trabalho resulta do desenvolvimento, aplicação e avaliação de uma seqüência de ensino, aportada na metodologia ABP, que será disponibilizada como um produto educacional (Apêndice B). Esse produto propõe o

desenvolvimento de uma sequência de ensino utilizando a metodologia de ABP para abordar o fenômeno dos Buracos Negros, estudando alguns aspectos da Teoria da Relatividade. Pretende-se apresentar a estruturação matemática presente nessa teoria, em nível médio, destacando a matemática como estruturante do pensamento físico.

Para alcançar os objetivos dentro do esperado, elaboramos, em nosso trabalho, elaboramos uma proposta que tem sua construção baseada na ABP, que perpassa pelo ciclo que compreende sete passos para a aquisição e/ou compreensão dos conceitos. Os setes passos compreendem a sete momentos, em que primeiro é a identificação do problema, o segundo é a definição do problema, o terceiro é a tempestade de ideias, o quarto é detalhar explicações, o quinto é propor temas de aprendizagem, o sexto buscar informações e fazer os estudos individuais e o sétimo é a avaliação/conclusão do problema. Além disso, utilizamos materiais que estão ao alcance do professor como experimentos ilustrativos, leitura de artigos, vídeos, e simulações disponíveis na web.

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos: o primeiro capítulo apresenta a introdução; o segundo capítulo consiste da exposição do referencial teórico em ensino, a Aprendizagem Baseada em Problemas que é a nossa metodologia de ensino; no terceiro capítulo, discorremos sobre o referencial teórico em Física, onde discutimos os conteúdos referentes à teoria da relatividade e os Buracos Negros que são os temas da Física que serão apresentados aos estudantes; no quarto capítulo, apresentamos a metodologia que trilhamos para realização da pesquisa; o quinto capítulo apresenta a aplicação do produto educacional e a análise dos resultados desta aplicação, descrevendo-os com base no levantamento de dados; e, no sexto e último capítulo, são apresentadas as considerações finais que emergiram da aplicação da proposta, nas quais são retomados os objetivos da pesquisa, e a utilização deste produto educacional como uma metodologia inovadora que auxilia os estudantes na busca da construção dos seus conhecimentos, bem como as possíveis implicações para o ensino de Física.

## 2 REFERENCIAIS TEÓRICOS EM ENSINO

### 2.1 Metodologias ativas versus metodologia tradicional

As metodologias ativas vêm sendo bastante comentadas nestes últimos tempos por serem uma nova maneira de aprender. É importante ressaltar que as metodologias ativas não são recentes (ver, por exemplo, FONSECA; NETO 2017) e ainda segundo Abreu (2009, p.19), os primeiros estudos sobre os métodos ativos encontram-se na obra Emílio de Jean Jacques Rousseau (1712-1778), tido como o primeiro tratado sobre filosofia e educação do mundo ocidental e na qual a experiência assume destaque em detrimento da teoria.

Sendo assim, o uso das metodologias ativas é uma alternativa para propiciar aos estudantes uma forma dele desenvolver os seus conhecimentos através de um método ativo e atual. Por outro lado, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é adepta à promoção do aluno como protagonista de seu processo de aprendizagem.

Neste viés, considerando que é viável repensar as práticas pedagógicas e renovar os meios de entreter, motivar e despertar o espírito de pesquisador nos estudantes, contamos com um leque de opções para se utilizar em sala de aula como metodologia ativa, dentre elas podemos citar: Aprendizagem por pares (Peer Instruction); PBL – Project Based Learning (aprendizagem por meio de projetos ou de problemas); TBL –Team-based Learning (aprendizagem por equipes), WAC – Writing Across the Curriculum (escrita por meio das disciplinas), Study Case (estudo de caso), SCALE UP, sala de aula invertida, gamificação dentre outras (MORÁN, 2015).

Diante do exposto e de acordo com a literatura, são vários os meios para promover um processo de ensino e aprendizagem centrado no discente, dando oportunidade para que este se torne protagonista do seu desenvolvimento. É tanto que, Borges e Alencar (2014, p. 120), por exemplo, afirmam que sua utilização “pode favorecer a autonomia do educando, despertando a curiosidade, estimulando a tomada de decisões individuais e coletivas, advindos das atividades essenciais da prática social e em contextos do estudante”. Fundamentando-se nessa premissa, é possível transformar o estudante em protagonista no processo de aprendizagem, com o que as metodologias ativas podem contribuir (FONSECA; NETO 2017).

O engajamento dos estudantes na realização das atividades pedagógicas é uma condição essencial para que os seus talentos possam ser aprimorados e/ou descobertos, sem contar que o estudante terá a liberdade e a autonomia na tomada de decisão em diferentes momentos do processo que vivencia, preparando-se para o exercício profissional futuro, tornando-se o protagonista. De acordo com Pinto et al (2013, p. 3), “o protagonismo do estudante em seu processo de aprendizagem possibilita o desenvolvimento de habilidades e competências indispensáveis para a construção de sua autonomia intelectual e social”, de modo que o envolvimento dos estudantes promovem uma nova forma de aprender e o prepara melhor para o futuro.

As metodologias ativas têm essa característica de tornar o discente o centro do processo ensino aprendizagem, tornando-o o principal responsável no seu desenvolvimento escolar. Enquanto o ensino tradicional deixa a desejar em relação a metodologia ativa, visto que o papel da escola na sociedade atual é preparar os discentes para assumir as suas responsabilidades frente aos desafios que terá de enfrentar, seja no mercado de trabalho ou na vida acadêmica.

Uma abordagem centrada em metodologias ativas comporta algumas características que estão descritas na Figura 1, que sintetiza seus principais princípios.

**Figura 1** - Princípios que constituem as metodologias ativas de ensino.



**Fonte:** Elaborado pela autora, 2022.

Cabe destacar cada um dos princípios citados acima, de acordo com Diesel, Baldez e Martins (2017, p. 273-279):

- **Aluno: centro do processo de aprendizagem:**

Na perspectiva das metodologias ativas de ensino o discente é colocado como centro do processo, ao contrário do método tradicional que apresenta a teoria por meio do professor. Desse modo, o discente tem uma maior interação no processo de construção do próprio conhecimento, que, conforme explicitado anteriormente, é a principal característica de uma abordagem por metodologias ativas de ensino, uma vez que o aprendiz passa a ter mais controle e participação efetiva na sala de aula, já que exige dele ações e construções mentais variadas, tais como: leitura, pesquisa, comparação, observação, imaginação, obtenção e organização dos dados, elaboração e confirmação de hipóteses, classificação, interpretação, crítica, busca de suposições, construção de sínteses e aplicação de fatos e princípios a novas situações, planejamento de projetos e pesquisas, análise e tomadas de decisões (SOUZA; IGLESIAS; PAZIN-FILHO, 2014, p. 285 apud DIESEL, BALDEZ E MARTINS, 2017, p. 274).

- **Autonomia:**

Nesta metodologia de ensino, o estudante passa a assumir uma postura ativa, tem espaço para manifestar-se e posicionar-se de forma crítica, ao contrário do ensino tradicional, em que o estudante tem uma postura passiva diante dos processos de ensino e de aprendizagem, tendo a função de receber e absorver informações apresentadas pelo docente. Diante disso, o aluno, quando autônomo, está acrescentando a sua postura uma característica mais crítica, para o exercício de sua cidadania. Segundo Reeve (2009, p. 25-40 apud BERBEL, 2011, p. 28), o professor contribui para promover a autonomia do aluno em sala de aula, quando:

- a) nutre os recursos motivacionais internos (interesses pessoais);
- b) oferece explicações racionais para o estudo de determinado conteúdo ou para a realização de determinada atividade;
- c) usa de linguagem informacional, não controladora;
- d) é paciente com o ritmo de aprendizagem dos alunos;
- e) reconhece e aceita as expressões de sentimentos negativos dos alunos. (REEVE, 2009, p.25-40 apud BERBEL, 2011, p 28).

Diante do exposto, as metodologias ativas quando aplicadas de acordo com o que se apresenta na literatura, com planejamento, poderão contribuir para o

desenvolvimento da autonomia e a do protagonismo dos estudantes (DIESEL; BALDEZ; MARTINS, 2017).

- **Problematização e reflexão:**

Como apresentado na Figura 1, esses dois princípios, podem ser compreendidos como indissociáveis. Assim, são apresentados juntos.

Quando se apresenta uma problematização em sala de aula, seja de um conteúdo, seja de uma questão, espera-se que essa problematização esteja relacionada ao cotidiano dos estudantes, possibilitando a ele, primordialmente, inferir uma reflexão sobre a problematização que foi apresentada em sala de aula. Neste viés, de acordo com Diesel, Baldez e Martins, (2017, p. 275) – “problematizar implica em fazer uma análise sobre a realidade como forma de tomar consciência dela. Em outra instância, há necessidade de o docente instigar o desejo de aprender do estudante, problematizando os conteúdos”.

- **Grupos de estudos (trabalho em equipe):**

Outro princípio importante para as metodologias ativas são as tarefas que são delegadas em grupos, seja pela interação com os indivíduos presentes, seja pela troca de informação/conversação entre os grupos e ou indivíduos. Outro fator que esse princípio deseja alcançar é a resolução de situações problemas, como também a experiência de trabalho coletivo, o respeito às opiniões dos parceiros e a aprender a gerenciar conflitos. Desse modo, esse é um princípio que visa aprimorar a capacidade dos estudantes em interagir e desenvolver a escuta quando se trabalha em equipe, quer seja em uma empresa ou em um ambiente acadêmico.

Concordamos assim que, esse movimento de interação constante com os colegas e com o professor, leva o estudante a, constantemente, refletir sobre uma determinada situação, a emitir uma opinião acerca da situação, a argumentar a favor ou contra, e a expressar-se (DIESEL; BALDEZ; MARTINS, 2017).

- **Inovação:**

A palavra “inovação” já nos remete a algo que precisa ser mudado, alterado, renovado. Esse termo tem um valor muito significativo quando analisado em âmbito educacional, no percurso de transcender a abordagem tradicional de ensino, que privilegia exclusivamente metodologias de transmissão mecânica de conteúdo, em que a função do estudante é de receptor passivo. Todavia, para conseguir superar esse modelo, é preciso valorizar a inovação em sala de aula, renovando metodologias, inventando metodologias ou criando metodologias. Dessa forma, a metodologia ativa de ensino exige, tanto do professor quanto do estudante, a ousadia para inovar no âmbito educacional (DIESEL, BALDEZ e MARTINS, 2017).

- **Professor- mediador, facilitador:**

Compreende-se que, na mudança dessas metodologias, o papel do professor também é alterado, como visto no ensino tradicional para o ensino utilizando-se uma metodologia ativa. Esse professor tem mais papel de um curador, que escolhe o que é importante dentre tantas informações, ajudando os alunos a encontrarem sentido nos materiais e atividades disponíveis, e de orientador, que orienta a classe, os grupos e cada aluno (MORAN, 2015).

Para potencializar a discussão acerca do papel do professor nessa perspectiva, convém mencionar novamente os ideais de Moran (2015), segundo o qual o professor que pretende adequar-se ao método ativo tem o papel de curador e de orientador:

Curador, que escolhe o que é relevante entre tanta informação disponível e ajuda a que os alunos encontrem sentido no mosaico de materiais e atividades disponíveis. Curador, no sentido também de cuidador: ele cuida de cada um, dá apoio, acolhe, estimula, valoriza, orienta e inspira. Orienta a classe, os grupos e a cada aluno. Ele tem que ser competente intelectualmente, afetivamente e gerencialmente (gestor de aprendizagens múltiplas e complexas). Isso exige profissionais melhor preparados, remunerados, valorizados. Infelizmente não é o que acontece na maioria das instituições educacionais (MORAN, 2015, p. 24).

São muitos os afazeres de um professor mediador, curador, facilitador, mas quando se pretende organizar a mente e ajudar a vida estudantil, profissional e pessoal de alguns estudantes, os professores, em geral, são responsáveis e muitas das vezes contribuem para o desenvolvimento pessoal e social dos discentes em

relação a valores que deveriam ser fornecidos pela família. Preparando-os, dessa forma, para a vida.

Pretende-se, neste trabalho, embora se tenha avançado nas últimas décadas na utilização de metodologias ativas em sala de aula, aprimorar as estratégias de metodologias ativas e, sobretudo, inserir a metodologia ativa Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) no ensino de Física, visto que são poucos os trabalhos realizados nesse âmbito. Assim, buscou-se na literatura por mais insumos que orientassem a elaboração de um produto educacional voltado a colaborar para essa finalidade.

## **2.2 Aprendizagem baseada em problemas (ABP) – problem based learning (PBL).**

Nesta seção, apresentamos a temática da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), comentando sobre a história, as características e as etapas da ABP, abordando o processo de avaliação e as vantagens e desvantagens ao utilizar-se do método da ABP.

A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) é um método ou uma estratégia de ensino que está baseada em apresentar um problema para chegar à aprendizagem, pode ser entendido como uma forma de se aprender a aprender, ou ainda, uma alternativa para conferir sentido ao ensino. A ABP surgiu na década de 1960, na área da saúde, no curso de medicina, em contrapartida aos métodos tradicionais de ensino (aula expositiva) que naquela época não estavam alcançando o êxito na formação dos profissionais de saúde.

Conforme autores como Barrows (1996), Ribeiro (2005, 2016), a APB originou-se da insatisfação dos estudantes, por ter um currículo muito extenso e por apresentar conteúdos que eram irrelevantes frente às práticas médicas. Desse modo, essa metodologia surgiu como uma ferramenta inovadora, apresentando uma abordagem metodológica de ensino e aprendizagem que ressalta a interação e a investigação.

Essa metodologia de ensino, segundo o Martins (2002, p. 77 apud SOARES, 2008, p. 68), “originou-se provavelmente na Case Western Reserve University Medical School (EUA)”, porém a literatura que foi revisada indica que em 1969, na Universidade de McMaster, no Canadá, os professores e administradores

repensaram o currículo da faculdade de medicina, e com isso apresentaram a ABP no final dos anos 60, com o intuito de aprimorar o modelo de ensino vigente (tradicional), para um modelo em que o aluno compreendesse e articulasse a teoria e a prática. Outro motivo, primordial, foi que constataram que os alunos da instituição estavam deixando o curso com um nível de capacidade inferior ao esperado para obtenção de diagnósticos a partir dos conteúdos conceituais ensinados, e também apresentaram poucas habilidades e atitudes desejáveis à prática profissional (RIBEIRO, 2016, apud SILVA, 2020).

Para a implantação do novo currículo na universidade de McMaster, foram necessárias algumas visitas a outras faculdades, inclusive, na universidade de Case Western, a pioneira no uso da metodologia ABP, e muitos estudos para a conclusão da reorganização do currículo (SANTOS, 2014). Ao longo dos anos, esse modelo ganhou expansão, sendo utilizado em cursos de engenharia, e na área de direito como o Ribeiro (2005) acrescenta que o método também foi inspirado no método de estudos de caso da escola de direito da Universidade de Harvard (EUA).

Por conseguinte, esse método chegou recentemente na área da educação básica com a mesma filosofia que é apontada pela área da saúde, ou seja, formar profissionais mobilizados por saberes, competências e habilidades, para além do conhecimento (conteúdo) relativo à área em questão (DA SILVA; DE CHIARO, 2018, p. 87).

Mais especificamente, a partir da década de 1970, o método ABP expandiu-se para outras universidades e assim inseriu-se no âmbito educacional na universidade de Maastricht, na Holanda, em Newcastle, na Austrália e Harvard, nos Estados Unidos (BOROCHOVICIUS; TORTELLA, 2014) e (SILVA; TONINI, 2018, apud, SILVA, 2020), a Universidade de Aalborg, na Dinamarca, a Universidade de Newcastle, na Austrália e a Universidade do Novo México, nos Estados Unidos (GARCIA, apud SILVA, 2020).

Na década de 1980, nos anos finais mais precisamente, a ABP cresceu lentamente, porém sempre progredindo. Contudo, nesses últimos tempos, observou-se um aumento significativo no número de instituições e cursos que adotam a ABP como ferramenta metodológica em seus currículos. Dentre eles estão: Enfermagem, Odontologia, Farmácia, Direito, Engenharia, Ciência Policial, Serviço social, Educação e Negócios. Ainda na década de 1980, no ano de 1984, a escola de Medicina de Harvard que tinha um currículo de ABP paralelo ao tradicional, para

professores e estudantes, após algum tempo de análise dessas duas formas de ensino ela decidiu adotar um currículo único “que tinha como estratégia a ABP, o processo de ensino-aprendizagem centrado no estudante [...]” (CYRINO, 2002, p. 78).

Em meados da década de 1990, a ABP expandiu-se a vários países, incluindo no Brasil, que foi implantada, em 1993, na Escola de Saúde Pública do Ceará, em 1997 na Faculdade de Medicina de Marília (FAMEMA) e, posteriormente, em 1998, na universidade de Londrina, no Paraná. Atualmente, vem sendo adotada em diversas áreas, como já citado anteriormente (BOROCHOVICIUS; TORTELLA, 2014; GOMES, 2011, CAVALCANTE, 2016, SANTOS, 2010, SILVA; CHIARO, 2018, FURTADO; NASCIMENTO; SILVA, 2020; e outros).

Segundo alguns teóricos, as ideias que subsidiaram e deram forma às proposições da ABP surgiram das concepções construtivistas de Dewey e Bruner. Na literatura, podemos acompanhar a influência dessas concepções, seja no cenário nacional ou internacional, ao destacarem as características essenciais da ABP, deixando um laço estreito entre essa metodologia de ensino e as concepções desses dois teóricos (SOARES, 2010; DA SILVA; DE CHIARO, 2018).

Essa perspectiva é corroborada no estudo de Souza e Dourado (2015, p. 185), ao sinalizar que “na teoria pedagógica de John Dewey encontra-se a mais significativa inspiração para a aprendizagem baseada na resolução de problemas”. Dessa forma, podemos inferir que a pedagogia de Dewey, que tem suas raízes na escola nova, teve uma grande influência quando afirma que a aprendizagem ocorre pela ação, sendo o aluno o protagonista na construção do seu conhecimento (DIESEL *et al.*, 2017).

### **2.2.1 ABP- aspectos conceituais**

Nesta seção vamos abordar alguns conceitos que são essenciais para se compreender a metodologia ABP, ao contrário das metodologias tradicionais, que o docente apresenta o conteúdo para os estudantes e após isso apresenta problemas ao mesmo, na ABP apresenta-se inicialmente o problema, e a partir da busca por soluções para o problema é que o discente irá construir os conhecimentos necessários para aquele problema.

Ribeiro e Mizukami (2004, p. 90, apud, DA SILVA; DE CHIARO, 2018, p. 88), apresentam a ABP como “um método caracterizado pelo uso de problemas do mundo real para encorajar os alunos a desenvolver o pensamento crítico e habilidades dentro da área de estudo em questão”. Dessa maneira, para que o estudante possa solucionar os problemas, ele recorre aos conhecimentos prévios, estudam, e são capazes de apresentar os novos conhecimentos adquiridos. Na concepção de Borges *et al.* (2014, p. 303 apud, DA SILVA; DE CHIARO, 2018, p. 88), “essa integração aliada à aplicação prática facilita a apropriação do conhecimento, que pode ser mais facilmente resgatado quando o estudante estiver diante de novos problemas”.

Um currículo, um curso, uma disciplina que pretende trabalhar com a metodologia de ABP, tem que apresentar características fundamentais. Em primeira instância, utiliza-se um problema como ponto de partida, este problema tem que estar relacionado com o mundo real, o conhecimento tem que ser adquirido de forma ativa, e não deve expor o conteúdo disciplinar. Em segundo lugar, essa metodologia propõe que o problema seja o estímulo e o foco para os discentes e a teoria e prática devem estar relacionadas. Em terceiro, a ABP deve ser centrada no aluno, ele é totalmente responsável pela construção do seu conhecimento (CHARLIN, 1998, apud SANTOS, 2010).

Já Segundo Hung *et al.* (2008, p. 485-506 apud, DA SILVA; DE CHIARO, 2018, p.31), a ABP apresenta as seguintes características:

i) o conhecimento é construído individualmente e socialmente co-construído através das interações com o meio no qual o sujeito está inserido; ii) os conteúdos e habilidades a serem aprendidos se organizam em torno dos problemas estudados, ao invés de seguir uma lista hierárquica de assuntos. Pauta-se na relação de reciprocidade entre conhecimento e problema; iii) é autodirigida, ou seja, o aluno de forma individual ou coletiva assume algumas responsabilidades como, por exemplo, se auto avaliar e avaliar os colegas; iv) é auto reflexiva, nela os alunos monitoram a compreensão e ajustam as estratégias de aprendizagem; v) os professores são mediadores que apoiam o raciocínio dos estudantes e facilitam a dinâmica entre grupos, e neste processo não é interessante para eles interpor conteúdo ou fornecer respostas diretas. (HUNG *et al.* 2008, p. 485-506 apud, DA SILVA; DE CHIARO, p. 35, 2018).

Ainda para Barrows (1998, p. 630-633 apud, SANTOS, 2010, p.31), a ABP é um método desenvolvido para estímulo do desenvolvimento de competências, para a resolução de problemas e a aprendizagem autodirigida, que tem como objetivo:

a) Aquisição de um corpo de conhecimentos, compreendidos em profundidade, integrados a partir de uma abordagem multidisciplinar, estruturado de modo a facilitar a sua aplicação a outros problemas (contextos); b) Desenvolvimento de habilidades para a resolução de problema, para o trabalho em equipes, para o relacionamento interpessoal e para a aprendizagem autodirigida; c) Desenvolvimento de uma insaciável curiosidade e da vontade de aprender continuamente. (BARROWS 1998, p.630-633 apud, SANTOS, 2010, p. 31).

Diante do exposto, podemos dizer que a ABP é uma metodologia que se adequa a vários ambientes, deixando claro que essa estratégia é uma metodologia ativa e sofre modificações constantemente, adequando-se aos desafios propostos. Assim, a ABP possui como essência a aquisição do conhecimento pela solução de problemas que são considerados como componentes principais para a estruturação e desenvolvimento de propostas fundamentadas no método (MAMEDE, 2001, p. 29 apud ANDRADE, 2007 p. 32). Além disso, outras características, expostas por autores como, (BARROWS, 1996; DOCHY, 2003; HMELO-SILVER, 2004; ANDRADE, 2007; FREITAS, 2012; SILVA, 2020), são consideradas bases do método.

As características que estão envolvidas nesse método são apresentadas no Quadro 1:

**Quadro 1 – Características do método ABP**

<b>Características</b>	<b>Argumentos</b>
A aprendizagem está centrada no estudante	Essa é uma das componentes centrais do método, justificada pelo entendimento que o estudante é o principal responsável pela construção do seu conhecimento, apresentando-se como um investigador e tem características de um indivíduo reflexivo, competente, autônomo, dinâmico e participativo.
A aprendizagem está vinculada a grupos de estudos.	O desenvolvimento do aprendizado ocorre durante o trabalho em grupo, onde terá a interação aluno-aluno, contribuindo para que os estudantes possam trabalhar em equipe.
O professor é o facilitador (Mediador).	Nesta metodologia, o professor é o orientador, apresenta os problemas que serão desenvolvidos pelos estudantes, dar sugestões se caso houver dúvidas e o problema não ser resolvido.

Os problemas apresentados são autênticos.

As informações são adquiridas através da aprendizagem autodirigida.

Os problemas que são apresentados são todos reais, do cotidiano do estudante, para que o aluno se sinta motivado a resolvê-lo. Outro fator importante é que o problema sempre é apresentado antes da teoria. Essa informação é adquirida quando os estudantes estão reunidos em grupos para tentar encontrar a solução para o problema, tornando-se conscientes de seus conhecimentos.

**Fonte:** Elaboração própria a partir da literatura revisada, 2021.

No entanto, a característica proposta na ABP para os estudantes tem como objetivo solucionar os problemas devidamente formulados por especialistas no assunto, de forma ativa, enquanto o professor orienta e mantém os alunos envolvidos no processo, garantindo desafios que incentivem a construção de significados na aprendizagem de conceitos (RODRIGUES, 2019). Podemos mencionar que na ABP, diferente do que acontece no método tradicional no contexto da sala de aula, apresenta problemas e através da busca por soluções é que os conceitos que estão envolvidos nos problemas vão sendo estudados. Com isso, estimula a curiosidade e o desenvolvimento do pensamento crítico, como também habilidades de solução de problemas e aprendizagem de conceitos fundamentais da área do conhecimento em questão (SOUZA; DOURADO, 2015; RIBEIRO, 2005; SILVA, 2020).

### **2.2.2. ABP - Estruturação de proposta**

O componente fundamental da metodologia ABP é a proposta de problema, sendo este o passo inicial e o que norteia o processo de aprendizagem, seja ele um currículo de um curso universitário, uma disciplina isolada e ainda uma proposta inserida em um âmbito mais restrito, por exemplo, as que são desenvolvidas com um determinado conteúdo em uma disciplina. Essa proposta pode variar de acordo com o nível educacional.

Entretanto, independente do nível de abrangência da proposta de APB, todas elas possuem uma base que é a problematização, a partir dela serão feitas as análises, e é justamente a partir dessa problematização que vai surgir no educando a motivação para a busca de conhecimento, promovendo, assim, a aprendizagem. Ademais, outros cinco componentes centrais são compartilhados por todas as

propostas alicerçadas em ABP, que são: O estudante, o estudo individual, o estudo em grupo, o professor e a avaliação, que estão ligados entre si (SILVA, 2020).

Nas próximas seções iremos falar sobre os alicerces dessa proposta.

### **2.2.3 ABP - Problematização**

A problematização, ou o problema em si, inicia o processo de ensino e aprendizagem nessa estratégia. Tal característica proporciona à ABP uma forma completamente diferente do ensino tradicional frente às atividades propostas para aprendizagem dos estudantes. Os problemas que são abordados no ensino tradicional, na maioria das vezes, apresentam as informações de conteúdos e avaliam os estudantes de forma descontextualizada, já os problemas utilizados na ABP são espelhados na vida real, *situações-problema* autênticas, propostas para que os estudantes desenvolvam soluções (HUNG, 2009, apud, LOPES et al, 2019).

Ou seja, o método ABP é caracterizado pelo uso de problemas do mundo real para encorajar os alunos a desenvolverem pensamentos críticos e habilidades de solução de problemas e adquirirem conhecimento sobre os conceitos essenciais da área em questão, conforme atestam Ribeiro e Mizukami (2004). Uma característica importante em ABP, é que o problema, ou problematização, é uma situação complexa que não possui apenas uma resposta considerada certa: não tem somente uma solução possível.

De acordo com Lopes et al (2019),

Como os problemas são o espelho do mundo real, a maioria das vezes é conflitante, não estando bem arrumado para facilitar o entendimento, esse é um fator que pode acarretar em uma desmotivação nos estudantes. Na vida real os alunos encontrarão uma complexidade na qual as informações, as opiniões e os valores das pessoas podem estar em conflito. Estas características exigem do estudante uma reflexão sobre o problema e a busca de uma solução elaborada por ele mesmo, que não seja a mera reprodução de informações encontradas em livros (LOPES et al, 2019, p. 53).

Por isso que na hora de escolher uma problematização, ou na construção desse problema deve-se ter consciência de que o problema não seja tão difícil de resolver, para não causar uma desmotivação no estudante. O interessante é que se escolham problemas com uma dificuldade mediana e que sejam muito bem

estruturados. Em nosso próximo tópico, iremos analisar e apresentar como construir um bom problema na ABP.

#### **2.2.4 ABP- Construção de problemas**

Para darmos início a esse tópico, vamos fazer uma explicação básica da diferença entre um problema e um exercício. Primeiramente, um problema ou situação problema trata-se de um questionamento sem uma solução evidente, como também pode apresentar vários caminhos para se chegar a solução. Neste caso, é necessário informações que vão além dos conhecimentos prévios. Para tanto, é necessário a busca pela informação, fazer análises e refletir a respeito dos termos e conceitos envolvidos. É a partir do problema que o estudante será levado ao conhecimento, ou seja, os conhecimentos para a sua solução são prévios (requisitos básicos) à aprendizagem, e a busca pela solução gera novo conhecimento.

No exercício, acredita-se que o estudante já tenha estudado o assunto e o professor tenha feito a explanação deste em sala de aula. Contudo, uma diferença entre os dois é que o exercício é aplicado na busca da solução de uma situação que pode não ser significativa para o aluno e não oferece meios para que o aluno possa refletir sobre o fenômeno envolvido. Um exemplo é que nos livros didáticos de Física, fica evidente que são utilizados exercícios envolvendo quase que exclusivamente substituição de valores em equações matemáticas, poucos são aqueles que propõem situações problemas relacionados com fatos do dia a dia dos estudantes (GONÇALVES, 2020).

Com o intuito de exemplificar, apresentamos uma diferenciação no Quadro 2:

**Quadro 2 - Exemplo de um exercício e um problema**

<b>Questão</b>	<b>Tipo</b>
Um trem de comprimento igual a 100 m viaja a uma velocidade de $0,8c$ , em que $c$ é a velocidade da luz quando atravessa um túnel de comprimento igual a 70 m. Quando visto por um observador parado ao lado dos trilhos, é correto afirmar que o trem.	EXERCÍCIO
Os aparelhos de GPS já são bem populares hoje em dia e estão presentes em grande parte dos smartphones. O seu uso é vital para o transporte de aviões e navios, sabemos que os satélites mandam a	PROBLEMA

informação para o nosso celular que fica a aproximadamente 10.000 km de distância na órbita da terra, e mesmo assim conseguimos estimar as coordenadas de latitude e longitude, como é possível que isso aconteça?

**Fonte:** Exercício retirado da: <https://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/exercicios/>.  
Problema: próprio.

Na primeira questão temos uma situação em que todos os dados necessários para sua resolução estão contidos ao longo do texto, por esse motivo acaba tornando-se um exercício para um estudante que já estudou velocidade média (aluno do 2º ano). Já a questão 2, não foi construída baseada exclusivamente no fornecimento de dados, mas apresenta uma situação problema a ser enfrentada. Sendo assim, o professor então deve planejar e construir as situações problemas de acordo com o grau de entendimento dos estudantes sobre o conteúdo a ser trabalhado (ECHEVERRÍA; POZO, 1998, apud, GONÇALVES, 2020).

Neste caso, temos alguns passos a serem seguidos para formulação de problemas que estão descritos no Quadro 3, de acordo com Gonçalves (2020):

**Quadro 3 - Passos para a construção de um problema em ABP**

<b>Passos</b>	<b>Procedimento</b>	<b>Exemplo</b>
1. Defina o conteúdo	Deve-se escolher o conteúdo que irá ensinar por meio da ABP. Pode escolher um capítulo inteiro de um livro didático, mas lembre-se que quanto mais extenso for o assunto, mais elaborado deve ser o problema e, conseqüentemente, mais tempo levará para os alunos atingirem uma solução aceitável.	Hidrostática.
2. Defina os conceitos a serem aprendidos	Deve averiguar quais os conceitos são necessários que os alunos aprendam e que englobam o conteúdo escolhido	Pressão, densidade.
3. Estipulação dos conhecimentos prévios dos alunos	Isso pode significar que você, na construção do plano de aula, observou quais conhecimentos prévios são necessários para iniciar o processo ensino e aprendizagem. Caso contrário, é necessário que você, na observação do plano de aula, faça estipulação dos conhecimentos prévios que os alunos devem ter antes de entrar em contato com o problema.	Força, área, massa e volume.

4. Buscar uma situação comum ao aluno que contenha os conceitos	Pronto, agora é necessário que você contextualize o problema de forma que os conceitos estejam nele contidos, de maneira implícita ou explícita. Mas lembre-se que o problema não deve ser de fácil solução.	Elevador hidráulico
<p>Possível problema!</p> <p>Um automóvel tem massa variando, geralmente, entre 900 kg e 2.000 kg, sendo este último em caso de grandes SUVs. Muitas vezes, quando estes veículos têm algum tipo de problema, é necessário que o mecânico faça manuseio de ferramentas e de peças na parte inferior do veículo. Todavia, a realização do conserto pode ser impossibilitada por falta de espaço para o mecânico realizar os movimentos necessários estando entre o veículo e o chão. Essa tarefa pode ser simples! Basta levantar esse veículo, mas como? E agora? O que podemos fazer?</p>		

**Fonte:** Adaptado de Gonçalves 2020.

### **2.2.5 ABP- ciclo de aplicação**

A ABP é um método de ensino que utiliza a experiência como ponto de partida, para construir os novos conhecimentos. Esta metodologia, como já mencionado, gira em torno de um problema. Esse problema basicamente está vinculado à realidade dos estudantes, e também “está caracterizado por possuir informações insuficientes, na qual o aluno possa tomar certas decisões que conduzam a sua resolução” (CHARLIN, 1998, p. 323-330 apud, SANTOS, 2010, p. 21).

Neste caso, os objetivos que são propostos na metodologia ABP são atendidos frente às exigências propostas pela BNCC, porque desenvolve a autonomia, habilidade de comunicação e a capacidade de gerenciar contextos reais. Contudo, a ABP segue uma sequência de desenvolvimento compreendido como ciclo de aplicação ABP (RIBEIRO; MIZUKAMI, 2004; ANDRADE, 2007; RIBEIRO, 2008; CARVALHO, 2009; SANTOS, 2010; GOMES, 2011; BOROCHOVICIUS; TORTELLA, 2014; SANTOS, 2010; SILVA, 2020).

O ciclo da ABP possui as fases, as quais estão representadas na Figura 2:

**Figura 2 - Ciclo da ABP**

**Fonte:** Adaptado de (ANDRADE, 2007; RIBEIRO 2008, apud, SILVA, 2020).

O ciclo de ABP se inicia com a apresentação de um problema para os estudantes que, já divididos em grupos, iniciam as discussões, partilhando as informações e os seus conhecimentos prévios sobre o problema, como também apresentam os aspectos que não compreendem sobre o tema. É justamente nesta etapa que os estudantes fazem a separação dos conceitos já conhecidos e os que não conhecem, e determinam quais são os conhecimentos necessários para entendê-lo (ANDRADE, 2007; RIBEIRO; MIZUKAMI, 2004, apud, SILVA, 2020). Já na fase de elaboração de hipóteses, os estudantes, como devidamente planejado passam para a etapa de buscar novas informações, o protagonismo sendo evidente, selecionando dessa forma os conhecimentos necessários para posteriormente serem compartilhados com o grupo (SANTOS, 2010; SILVA, 2020). Finalmente, na fase final do ciclo ABP, os estudantes se reencontram para compartilhar e sintetizar informações, reanalisando o problema sob a luz dos novos conhecimentos e, desta forma, apresentando os resultados do processo. Fechando o ciclo, os estudantes “dependendo da complexidade do problema escolhido e do interesse do professor, pode ser necessária a retomada do ciclo da ABP para melhor compreensão da possível resposta” (SANTOS, 2010, p.22).

Como apresentado, de acordo com Delisle (1997, p. 64 apud, LOPES et al. 2019, p. 57):

Durante o ciclo de aprendizagem da ABP, os estudantes se encontram imersos na resolução de um problema, que não é óbvia e tampouco está contida em seu enunciado. A técnica requer que os estudantes avancem mais refletidamente e com mais esforço do que em exercícios que exigem memorização mecânica, permitindo o alcance de níveis que necessitam do

desenvolvimento de competências cognitivas mais avançadas (DELISLE, 1997, p.64 apud, LOPES et al, 2019, p. 57).

Para que a aprendizagem ocorra como o esperado, com o aluno sendo o ser ativo, o professor tem que seguir todos os passos na formulação do problema, para que o estudante se sinta motivado a resolvê-lo, assim como é necessário que seja seguido o ciclo de ABP.

### **2.2.6 ABP – O papel do estudante e do professor**

Quando se utiliza a metodologia de ABP, em uma instituição, disciplina ou até mesmo em um conteúdo específico, a primeira mudança está relacionada à passividade do aluno. A ABP exige que o estudante abandone a sua zona de conforto e vá em busca de informações, tornando-se o protagonista na construção do seu conhecimento. Como podemos ver na literatura, na Aprendizagem Baseada em Problemas os estudantes são retirados da zona de passividade e colocados como agentes dinâmicos do processo de ensino (SANTOS, 2010; BOROCHOVICIUS; TORTELLA, 2014; CAVALCANTE, 2016, apud, SILVA, 2020). Isso acontece porque a própria funcionalidade do método posiciona os alunos como elementos centrais da ação prática (RIBEIRO 2005, BERBEL 1998; SANTOS, 2010; LEITE, ESTEVES, 2005; CARVALHO, 2009, apud, SILVA, 2020).

Desse modo, a ABP favorece a participação ativa e constante dos estudantes, bem como a interação e a troca de informação entre eles, o que é necessário para que o método seja satisfatório, uma vez que, durante sua aplicabilidade, a elaboração de hipóteses, a busca e a comparação de informações, a tomada própria de decisões, a concepção de soluções e a reflexão sobre os processos assumidos na resolução de problemas, são ações e constantes demandadas aos estudantes (CAVALCANTE, 2014, apud, SILVA, 2020). A partir da implementação da ABP, o aluno precisa mudar de postura e começar a realmente buscar o conhecimento, esse é um dos principais aspectos dessa abordagem, porque, segundo a literatura, não é possível obter o mesmo resultado com a metodologia tradicional.

Para os estudantes, existem dois papéis de destaque: líderes e secretários. De acordo com Lochida (2000, apud, SOARES, 2008), os líderes são responsáveis pelo gerenciamento dos encontros e das discussões, garantindo a participação de

todos no processo. Os secretários escrevem o que foi dito nas discussões, facilitando a participação de todos.

Barreto et al (2007, p. 29-31 apud SOARES, 2008, p. 75), detalha esses papéis dos estudantes Coordenador e Secretário, que estão descritos no Quadro 4.

**Quadro 4 - Atribuições do coordenador e secretário**

<b>Atribuições do coordenador:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dentro dos grupos formados para se trabalhar ABP o coordenador é um aluno desse grupo.</li> <li>• O coordenador deve orientar os colegas na discussão do problema, favorecendo a participação de todos e mantendo o foco das discussões no problema.</li> <li>• Desestimular a monopolização ou a polarização das discussões entre poucos membros do grupo, favorecendo a participação de todos.</li> <li>• Apoiar as atividades do secretário.</li> <li>• Estimular a apresentação de hipóteses e o aprofundamento das discussões pelos colegas.</li> <li>• Respeitar posições individuais e garantir que estas sejam discutidas pelo grupo com seriedade, e que tenham representação nos objetivos de aprendizado sempre que o grupo não conseguir refutá-las adequadamente.</li> <li>• Resumir as discussões quando pertinente.</li> <li>• Exigir que os objetivos de aprendizado fossem apresentados pelo grupo de forma clara e objetiva e compreensível para todos e que sejam específicos e não amplos e generalizados.</li> <li>• Solicitar auxílio do tutor quando pertinente e estar atento às orientações do tutor quando estas forem oferecidas espontaneamente.</li> </ul>
<b>Atribuições do secretário:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O secretário deve anotar em quadro, de forma legível e compreensível, as discussões e os eventos ocorridos no grupo tutorial de modo a facilitar uma boa visão dos trabalhos por parte de todos os envolvidos.</li> <li>• Deve, sempre que possível, ser claro e conciso em suas anotações e fiel às discussões ocorridas – para isso solicitar a ajuda do coordenador do trabalho</li> </ul>

e do tutor.

- Deve respeitar as opiniões do grupo e evitar privilegiar suas próprias opiniões com a qual concorde.
- Deve anotar com rigor os objetivos de aprendizado apontados pelo grupo.
- Deve anotar as discussões posteriores e classificá-las segundo os objetivos de aprendizado anteriores.

**Fonte:** modificado baseado em Barreto et al. (2007, p. 29-31 apud SOARES, 2008).

Dessa forma, os papéis de coordenador e secretário devem ser compreendidos e desempenhados por todos os participantes do grupo, se possível, a fim de que os estudantes tenham a experiência de serem líderes e secretários, promovendo a eles uma experiência de cada função, além de ter uma visão diferenciada a respeito do trabalho em equipe (SOARES, 2008).

Para que a aprendizagem ocorra, os estudantes devem ser responsáveis pela sua própria aprendizagem e devem cumprir algumas tarefas, como coloca Woods (2001, apud RIBEIRO, 2005, p.49),

Exploração do problema, levantamento de hipóteses, identificação de questões de aprendizagem e elaboração das mesmas; Tentativa de solução do problema com seu conhecimento prévio, observando a vinculação com seu conhecimento atual; Identificação do que não sabem e do que precisam saber para resolver ou se aproximarem da resolução do problema; Priorização das questões de aprendizagem, estabelecimento de metas e objetivos, alocação de recursos, de modo a saberem o quê, quando e quanto é esperado deles; Planejamento e delegação de responsabilidades para o estudo autônomo da equipe; Compartilhamento do novo conhecimento de modo que todos na equipe aprendam; Aplicação do conhecimento na solução do problema; Avaliação do novo conhecimento, da solução do problema e da eficácia do processo utilizado e reflexão sobre o processo (WOODS 2001, apud RIBEIRO, 2005, p.49).

Nessa perspectiva, um ponto importante está relacionado à clareza com que a atribuição da responsabilidade deve ser passada aos estudantes. Visto que, a sua tarefa nesta proposta não é fácil, a participação ativa, exige dos estudantes um compromisso de cooperação no controle do processo e do resultado, o que os leva a ocupar papel de protagonistas de sua aprendizagem (BOROCHOVICIUS; TORTELLA, 2014).

Como a metodologia ABP foi pensada para ensino superior que os alunos já apresentam uma formação autônoma, é necessário que o professor da educação básica, que pretende utilizar essa metodologia esteja ciente que o grau de autonomia cedido aos estudantes deve ser cauteloso. Portanto, a orientação do professor para o desenvolvimento das atividades e para a busca de informações, deve ser cuidadosamente dosada, não sendo totalmente concedida, nem totalmente indiferente (ANDRADE, 2007).

O professor na ABP passa a ser o tutor, facilitador, mediador e orientador sendo essas denominações que encontramos na literatura (DIESEL, BALDEZ E MARTINS, 2017). De acordo com Ribeiro (2005), o professor tutor tem a função de “orientar, explicar conceitos, sanar dúvidas com relação aos requisitos do projeto e às tarefas a serem cumpridas”. E de acordo com a Queen 's University (2006, apud SOARES, 2008), o professor tutor deve ter as seguintes características: conhecimento, atributos pessoais (aceitação e responsabilidades) e habilidades.

Cyrino e Toralles-Pereira (2004), afirmam que para um aprendizado de conteúdos cognitivos e integração das disciplinas, o professor deverá ser criativo e se preocupar não só com o “que”, mas com o “porquê” e o “como” o estudante aprende. Compreendemos que a atuação do professor no método ABP exigirá dele mais participação, planejamento, trabalho cooperativo na escola e tomada de decisões.

Mennin e Major (2002, apud SOARES, 2008, p.72), discutem que o tutor:

Facilita e auxilia a aprendizagem sem ser a fonte primária de informações, usando as perguntas dos estudantes para explorar e estimular o pensamento. O tutor, também, para os autores, “auxilia o grupo a fixar padrões para aprofundar e ampliar o conhecimento, desenvolver habilidades de raciocínio, melhorar as habilidades de comunicação, adotar comportamentos e atitudes profissionais, bem como a desenvolver habilidades de autoavaliação e de avaliação dos seus pares” (MENNIN; MAJOR 2002, p. 1-2 apud SOARES, 2008, p.72).

Neste caso, o professor é continuamente demandado, isto porque a atuação que é exigida dele envolve muitos aspectos, como a preparação sistemática do momento presencial, o conhecimento na articulação de todas as fases do ciclo ABP, que, como vimos, perpassa a aula presencial, estendendo-se para outros momentos de investigações e estudos.

Com relação à metodologia de ABP, foi possível elencar alguns pontos primordiais em relação aos afazeres dos professores: a) a preparação de um cenário problemático, articulando-o com os conteúdos e objetivos de aprendizagem, conseqüentemente com a elaboração dos problemas a serem apresentados aos estudantes; b) escolha de estratégias adequadas para aplicação do método ABP à turma participante; c) orientação de pesquisas necessárias à investigação e estímulo a autonomia e a responsabilidade dos estudantes na condução da aprendizagem; d) organização dos grupos tutoriais, prezando pela heterogeneidade e integração dos membros na equipe; e) mediação no processo de resolução de problemas, mantendo o fluxo das discussões em grupo e estimulando, através de perguntas (não de respostas), a exploração dos conhecimentos prévios dos alunos a fim de que sejam acrescidos os conhecimentos que vão adquirir posteriormente; f) acompanhamento do processo de investigação e resolução dos problemas, mediando e informando por meio de *feedback* sobre a qualidade das discussões e análise do andamento dos trabalhos, contribuindo assim para melhoria da participação individual dos membros de cada grupo; g) estimular a reflexão dos estudantes sobre sua aprendizagem, empenho e desempenho. (LEITE; ESTEVES, 2005; MAMEDE, 2001, apud ANDRADE, 2007; RIBEIRO, 2008; CARVALHO, 2009; BOROCHOVICIUS; TORTELLA, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015; FREITAS, 2012; SILVA, 2020)

### **2.2.7 ABP – A avaliação**

Esse é um tópico complexo de se construir, até porque a avaliação não tem uma fórmula pronta. Porém, é necessário obedecer a determinadas diretrizes, uma das quais é que além da avaliação de aprendizagem dos estudantes dentro de um amplo leque de competências diferentes (motoras, cognitivas, de equilíbrio emocional, de relação interpessoal e de atuação e inserção social), se faz necessário avaliar a própria atuação do professor e das atividades de ensino que são planejadas e desenvolvidas (COLL E MARTÍN, 2006, apud LOPES et al, 2019).

Nesse viés, a prática do ensino tradicional no quesito avaliação que é usada no ensino atual necessita de uma reformulação. Luckesi (2008, apud LOPES et al, 2019) afirma que os sistemas de ensino se fundamentam mais numa pedagogia do

exame, alicerçada em testes, provas e índices de aprovação e reprovação, do que em uma pedagogia de ensino e aprendizagem. De acordo com Lopes et al (2019), os processos avaliativos estão preocupados em gerar “*notas*” dos estudantes e não no percurso e na aprendizagem dos aprendizes. Da mesma forma, testes e provas são empregados como instrumentos de “*acerto de contas*” com os estudantes. Por outro lado, os pais se satisfazem simplesmente com as boas notas dos seus filhos nas provas, e a gestão das escolas centra suas atividades nos resultados dos exames, enquanto a dinâmica dos processos educativos é ignorada (LUCKESI, 2008, apud LOPES et al, 2019).

No ensino baseado na ABP, temos um método de avaliação diferente que não é apenas a avaliação da parte do professor para os estudantes, mas também acontece dos estudantes sobre si mesmo (através da autoavaliação), dos estudantes sobre seus pares, e dos estudantes e professor sobre o processo educacional (RIBEIRO, 2005; ANDRADE, 2007; GOMES, 2011, apud SILVA, 2020).

Apesar das propostas apresentarem diferentes modalidades de avaliação, como por exemplo, individuais, coletivas, duas vezes por semestre ou ao longo de todas as atividades, existe a defesa de que os estudantes sejam avaliados em caráter progressivo, isto é, continuamente (ANDRADE, 2007, apud SILVA, 2020).

Nessa perspectiva, Lopes et al (2019), apontam que a avaliação na ABP consiste numa abordagem mais formativa, na qual são consideradas três perspectivas distintas, geralmente com pesos diferentes, mas relacionadas entre si: i) a de cada aluno sobre o seu próprio trabalho (**autoavaliação**); ii) a dos colegas que formam os grupos de trabalho que irão atuar na resolução dos problemas (**avaliação entre pares**); e iii) a **avaliação do professor**.

Sendo assim, é necessário que sejam realizadas avaliações de desempenho, nas quais sejam analisadas as práticas de cooperação, comunicação, do trabalho em equipe, além da competência de cada indivíduo e do grupo para responder, gerenciar e resolver as situações-problema apresentadas (GLASGOW,1997; BIE, 2008, apud LOPES, 2019).

Nesse sentido, uma alternativa que pode ajudar o professor nesse processo é a utilização de questionários. Em relação a autoavaliação, a avaliação dos pares, a avaliação dos componentes da equipe pelo coordenador, a utilização dos questionários atende bem a metodologia da ABP, em consonância que alguns

critérios, segundo Gomes (2011), Felder e Brent (2003) em concordância com Silva (2020) - é corroborada.

Quanto à avaliação dos estudantes pelo professor, certos conceitos podem ser utilizados como referências a serem inseridos nos questionários de avaliação de desempenho. No Quadro 5 é mostrada uma síntese do exposto por Gomes (2011, apud SILVA, 2020) relativo a uma série de conceitos seguidos por seus respectivos parâmetros e peso avaliativo.

**Quadro 5** - Conceitos avaliativos que podem ser atribuídos aos estudantes pelo professor.

Conceito	Critério	Peso
Excelente	Quando os integrantes da equipe vão constantemente além das suas tarefas e ajudam outros membros do grupo com frequência.	100%
Muito bom	Se realizam as tarefas programadas, estando sempre bem preparados e trabalhando cooperativamente.	87,50%
Satisfatório	Se realizam as tarefas programadas, estando preparados de modo satisfatório e trabalhando cooperativamente.	75%
Usual	Se normalmente realizam as tarefas programadas, estando minimamente preparados e pouco cooperativos.	62,50%
Marginal	Se algumas vezes faltam às aulas ou completam as tarefas, e raramente estão preparados.	50%
Deficiente	Muitas vezes não aparecem nas aulas ou completam as tarefas e muitas vezes estão despreparados.	37,50%
Não satisfatório	Na maioria das vezes não aparecem nas aulas ou completam as tarefas e sempre estão despreparados.	25%
Superficial	Praticamente nenhuma participação como membro do grupo.	12,50%
Ausente	Quando o estudante não participa de nada.	0%

**Fonte:** Adaptada de Gomes (2011, p. 44 e 45, apud SILVA, 2020)

São muitas as formas do professor organizar as projeções para as avaliações. Com relação à avaliação do domínio cognitivo, o professor pode fazer uso das ferramentas de ambientes virtuais de aprendizagem, o uso dessas ferramentas pode apontar indícios de aquisição de conhecimento, facilitando o exame das informações pelo professor, uma vez que o próprio ambiente armazena e oferece relatórios relativos às ações realizadas por cada estudante (SILVA, 2020).

Contudo, de acordo com a disciplina ou curso, e até mesmo a seu critério, o professor tutor é responsável em preparar os instrumentos de avaliação final de

acordo com o que pretende avaliar, por exemplo: testes de conhecimentos conceituais; elaboração de artigo científico; apresentação oral utilizando slides; elaboração de relatório escrito; portfólio; apresentação em pôster; pequenos vídeos, entre outros que, de acordo com a disciplina ou curso, podem ser propostos pelo professor tutor (LAMBROS, 2004; BARELL, 2007; CARVALHO, 2009 *apud* SOUZA; DOURADO, 2015, p. 194-195).

Desse modo, no decorrer do curso ou disciplina, o professor tutor deve:

Coordenar as atividades de forma que a avaliação dos estudantes ocorra durante todo o processo, lançando mão dos recursos didáticos disponíveis, com o objetivo de conhecer as impressões dos estudantes e as dificuldades ou facilidades que estes apresentam em sua aprendizagem. Ao final do curso ou disciplina, a análise das avaliações realizadas pelo professor tutor, ao longo do percurso, é fundamental para a tomada de decisões ou medidas corretivas que permitam melhorar a proposta de trabalho para a próxima turma de estudantes e proceder a uma reflexão sobre as relações tutor-estudante, tutor-conhecimento, estudantes-estudantes e estudantes-conhecimento (SOUZA; DOURADO, 2015, p. 194-195).

Podemos ver que a avaliação na ABP, requer uma mudança na concepção e realização da avaliação, por parte do professor tutor como também do estudante, já que seus objetivos não se limitam à mera aprendizagem de conhecimentos conceituais por parte dos alunos, mas ao desenvolvimento de competências mentais (SOUZA; DOURADO, 2015).

### **2.2.8 ABP - Fases de aplicação do método**

Para aplicação do método, o professor tutor é responsável por montar os grupos de estudantes, em geral, o grupo é formado por 8 a 10 estudantes. É importante mencionar que cada seção, ou questão problema que será avaliado pelos estudantes, deve seguir dois tutoriais.

O 1º tutorial (abertura) envolve os momentos de leitura e interpretação até o levantamento dos objetivos de pesquisa; o 2º tutorial contempla o debate com os resultados da pesquisa extraclasse, a proposição de uma solução para o problema identificado no texto e o registro dos resultados. Nos momentos de convivência todos se disponibilizaram em participar do processo de aprendizagem, criando espaços para a cooperação, nos quais todos têm o mesmo grau de importância e colaboram para a aprendizagem mútua. (BERBEL, 1998).

Considerando possíveis adaptações e com base nos 7 passos da Maastricht University (Holanda), as etapas da ABP estão representadas na Figura 3. Vejamos:

**Figura 3** - Passos para realização da proposta em ABP



**Fonte:** Raine e Symons (2005, apud RODRIGUES, 2019)

Seguindo essas etapas, para a implementação do método, o estudante coordenador do grupo tutorial lê a questão problema para os demais e a partir disso segue esses passos junto com o grupo, que faz o levantamento dos termos conhecidos e desconhecidos. Essa é a fase de interpretação. Depois, na fase de análise do problema, os componentes da equipe utilizam o seu conhecimento prévio para trocar informações sobre os conceitos desconhecidos e identificação da questão – problema. Em seguida, há o brainstorming (debate) entre os componentes da equipe para o levantamento de hipóteses (das questões-problema apresentadas). Neste momento, o secretário do grupo tem organizado o resumo das hipóteses. Na fase seguinte, a equipe identifica os objetivos de pesquisa individual (ou em equipe, se realizado em sala de aula, com os recursos disponíveis). A investigação individual, cujos objetivos foram listados em equipe, permite que o aluno adquira autonomia, desenvolvendo a habilidade de aprendizado individual na busca por respostas à situação problema. Nesta fase, os componentes da equipe apresentam os resultados e participam do segundo debate, em que complementam os conhecimentos anteriores. O grupo encontra uma possível solução para a situação problema identificada no texto, faz o seu registro e a apresenta ao tutor e à turma (RODRIGUES, 2019).

### **2.2.9 ABP – Vantagens e desvantagens**

Assim como em qualquer outra ação pedagógica, não é novidade que ela tenha vantagens e desvantagens, e com o método de ABP não é diferente. Vejamos a seguir, as vantagens e as dificuldades da utilização da ABP, apresentadas por diversos autores (MARGETSON, 1997; BARELL, 2007; DELISLE, 2000; WOODS, 2002; CARVALHO, 2009, apud SOUZA; DOURADO, 2015;).

A primeira vantagem que destacamos é a motivação, que favorece o engajamento dos estudantes para a vontade de aprender. A motivação é o elemento fundamental da aprendizagem, pois desperta o interesse e a curiosidade do discente pelos temas estudados para a obtenção de uma aprendizagem de qualidade, o que vai gerar uma maior satisfação. Essa forma de trabalhar, além de tornar os estudantes mais ativos na busca pelo conhecimento, incentiva outras atitudes e habilidades como a responsabilidade, a criatividade, a ação e postura frente aos desafios que podem surgir. Com isso, a motivação é reforçada pelo fato de os alunos trabalharem com problemas que irão enfrentar na sua futura profissão, o que caracteriza uma aprendizagem significativa (MARGETSON, 1997; BARELL, 2007; DELISLE, 2000; WOODS, 2002; CARVALHO, 2009, apud SOUZA; DOURADO, 2015;).

De acordo com alguns autores, a segunda vantagem é a integração do conhecimento, que possibilita aos estudantes uma maior fixação e transferência do conhecimento. Nas discussões que são promovidas entre os grupos, como também na busca individual de conhecimento, ocorre a integração da aprendizagem, o que permite a transferência, a ampliação e a duração do conhecimento produzido. Pode-se afirmar com isso que o conhecimento é integrado e memorizado de uma forma mais eficaz (MARGETSON, 1997; BARELL, 2007; DELISLE, 2000; WOODS, 2002; CARVALHO, 2009, apud SOUZA; DOURADO, 2015;).

A terceira vantagem está associada ao desenvolvimento da habilidade de pensamento crítico. Quando o estudante é colocado no centro do processo de aprendizagem e este tem de ir em busca do conhecimento, a complexidade da situação é maior porque exige que ele desenvolva a sua habilidade de pensar o conhecimento de forma crítica e realizar uma permanente investigação das informações e dos conhecimentos para, depois, analisá-los criticamente e elaborar as questões necessárias à resolução dos problemas. O pensamento crítico estimula

a imaginação e a criatividade necessárias à aprendizagem dos conhecimentos conceituais de forma transdisciplinar (MARGETSON, 1997; BARELL, 2007; DELISLE, 2000; WOODS, 2002; CARVALHO, 2009, apud SOUZA; DOURADO, 2015;).

Por fim, a última vantagem que destacamos é a interação e as habilidades interpessoais, que são fundamentais no trabalho em grupo, na relação com o professor tutor e na apresentação final dos trabalhos. A interação possibilita uma relação geral com todos os envolvidos em sala de aula, porque o método ABP busca aprendizagens mais amplas de caráter educativo interpessoal, que são promover as habilidades afetivas, de convivência e de personalidade dos estudantes, contribuindo assim para o seu desenvolvimento. A interação converte-se em um processo no qual os indivíduos participantes aprendem a conviver e trabalhar com outros (MARGETSON, 1997; BARELL, 2007; DELISLE, 2000; WOODS, 2002; CARVALHO, 2009, apud SOUZA; DOURADO, 2015;).

Alguns pontos negativos que podemos destacar com relação ao método de ABP, estão relacionados a estudantes individualistas, que possam não se adaptarem a natureza colaborativa e participativa da aprendizagem, apesar de que a interação entre os grupos tutoriais seja essencial (RIBEIRO, 2008 apud SILVA, 2020). Outro ponto que vale ser mencionado, ainda de acordo com o mesmo autor, é o fato de o estudante não se adaptar a nova forma de adquirir conhecimento por já estar habituado com modelo tradicional de ensino. Gomes (2011, apud SILVA, 2020) explica que por o professor não ensinar da forma como é feito no método convencional, os estudantes podem achar a ABP um pouco frustrante.

De acordo com a literatura, um ponto que podemos citar como negativo é que alguns alunos que são acostumados “a ter tudo nas mãos”, não sabem tomar a iniciativa e preferem a acomodação. Gomes (2011, apud SILVA, 2020), destaca que muitos alunos estão acostumados com a passividade e apresentam certa dificuldade quando apresentados a proposta de ABP. A questão de que a ABP exige que os estudantes trabalhem ao ritmo do grupo também representa uma desvantagem, sendo frustrante para aqueles que apresentam dificuldades em trabalhar dessa forma (RIBEIRO, 2005).

Outro ponto negativo que podemos mencionar, é a busca por informação em sites, blogs e outros meios de comunicação que sejam duvidosos, como também o

estudante pode ludibriar o professor copiando temas que foram encontrados em páginas da internet (SILVA, 2020).

Outras desvantagens apontadas pela literatura são a imprecisão e a superficialidade no conhecimento das teorias mais avançadas, além da insuficiência de conhecimento de memória (RIBEIRO, 2005; 2008; SOARES, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015; SILVA, 2020).

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO EM FÍSICA

Neste tópico, destacamos os principais conteúdos em Física abordados neste trabalho, os quais compreendem a: Teoria da Relatividade e os Buracos Negros. Ao longo deste tópico vamos abordar conceitos que são relevantes e estão interligados com esses dois tópicos importantes da Física Moderna.

Em primeiro lugar, dada a importância que a Teoria da Relatividade Restrita (TRR) tem para a realização deste trabalho, a TRR é um marco histórico tanto no pensamento científico quanto para a sociedade em geral, especialmente após os fatos históricos da Relatividade Geral em 1919 e da comprovação dos Buracos Negros, confirmando a Teoria da Relatividade (NEVES, 2017). Dedicamos este tópico para apresentar alguns pressupostos importantes sobre este tema, buscando fundamentos teóricos para os desenvolvimentos didáticos e metodológicos na sequência de ensino.

Além disso, a teoria da relatividade está presente no meio social, à medida que sua divulgação rompe as barreiras da comunidade científica, ela se dá a conhecer na sociedade e em grande parte das produções culturais dos anos 20 por meio da mídia, assim como no cinema com as produções que apresentam conceitos sobre viagens no tempo e simultaneidade. Esses fatores influenciam o interesse dos estudantes por estes conteúdos. Logo, podemos aproveitar esse despertar deles para difundir um trabalho de reflexão sobre os conceitos e equações matemáticas.

A ideia de relatividade no estudo do movimento dos corpos foi proposta inicialmente por Galileu Galilei (1564-1642), quando, em suas pesquisas, percebeu a necessidade de inserir um sistema de referência ao analisar um movimento de uma partícula ou de um objeto.

Galileu usou o princípio da relatividade do movimento ou o princípio da independência do movimento para demonstrar a trajetória parabólica dos projéteis. Considere o seguinte exemplo: Um projétil lançado do solo em certo ângulo pode decompor seu movimento em dois movimentos independentes: um horizontal e um vertical. Ao lançar um projétil para cima em uma plataforma em movimento reto e constante, um observador em pé na plataforma móvel verá a trajetória do projétil como uma reta. Um observador parado no solo onde a plataforma está em movimento irá considerar a trajetória do projétil como parabólica. Portanto, cada

observador tem uma visão diferente do movimento. Com isso, Galileu conseguiu resolver o paradoxo de Zenão, mostrando que a trajetória de voo e as velocidades dependem do sistema de referência a partir do qual o movimento é observado (CRISTOVÃO, 2016).

O Isaac Newton (1643-1727), astrônomo e teórico inglês, em seus estudos apoiou-se nas ideias propostas por Galileu Galilei para explicar as suas teorias do movimento na Física Clássica, as famosas três leis de Newton, é tanto que a sua 1ª lei, a lei da inércia, expressa a relatividade galileiana dos referenciais.

A Física clássica, como conhecemos, possibilitou a construção de vários conceitos e conhecimentos de três grandes áreas, sendo estas: a mecânica, a teoria do calor (termodinâmica) e o eletromagnetismo. Contudo, existia uma barreira para a unificação entre essas áreas, ou seja, alguns problemas impediam que essas áreas se unificassem, como aqueles problemas nos quais diferentes conceitos básicos divergiam, a exemplo do meio em que a luz se propagava.

É justamente por não conseguirem explicar alguns conceitos como a dualidade onda-partícula, a dinâmica do calor com os estudos de Herschel (1738-1822) que essas teorias rompem com os novos paradigmas, havendo assim uma mudança no pensamento, por volta do século XIX. A Física Clássica, fundamentou teorias de diferentes domínios como a Astronomia, o Eletromagnetismo, e as teorias sobre o Calor, que partilhavam das concepções newtonianas, em especial com os referenciais inerciais que estavam relacionados a ideia de espaço e tempo absolutos. Tanto para Newton, quanto para Galileu, o espaço (três dimensões) e o tempo eram considerados conceitos independentes (SANTOS, 2019).

No final do século XIX e começo do século XX, surgiram vários problemas na Física que não tinham solução, um deles era de partículas com altíssimas velocidades, porque a mecânica clássica não conseguia resolver problemas com altas velocidades. Os novos paradigmas ou conceitos que surgiram no início do século XX para o movimento teve solução, as ideias do físico Albert Einstein, que ao propor a teoria da relatividade apresentou outras interpretações ao analisar os conceitos até então aceitos como absolutos de espaço e tempo (SANTOS 2019).

A teoria da relatividade foi proposta pelo físico Albert Einstein, ela é a junção de duas teorias: a Teoria Restrita que foi proposta em 1905 por Einstein e outros, a qual trata da comparação entre os movimentos observados em diferentes referenciais que estejam se deslocando com velocidade constante uns em relação

aos outros. O adjetivo “restrita” é usado para indicar que a teoria se aplica apenas a referenciais inerciais, isto é, a referenciais que as leis de Newton são válidas, ou seja, se aplica a movimentos relativos que ocorrem na ausência de campos gravitacionais ou em qualquer outra forma de aceleração. No entanto, a Teoria da Relatividade Geral, que foi proposta no ano de 1915, trata de referenciais acelerados incluindo os efeitos da gravidade (TIPLER e LLEWELLYN, 2010; HALLIDAY e RESNICK, 2019).

Como mencionamos acima, este trabalho se concentra no estudo de Relatividade. Porém, para a compreensão deste tema, é relevante considerarmos e destacarmos assuntos que nos darão suporte para a compreensão e entendimento.

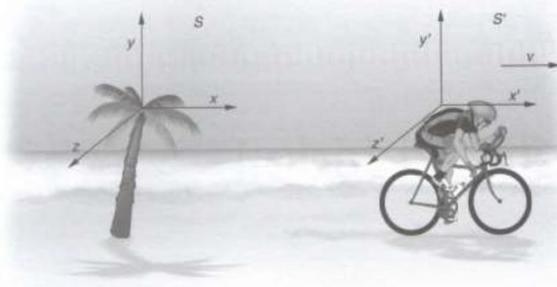
### **3.1 Relatividade clássica**

#### **3.1.1 Referenciais**

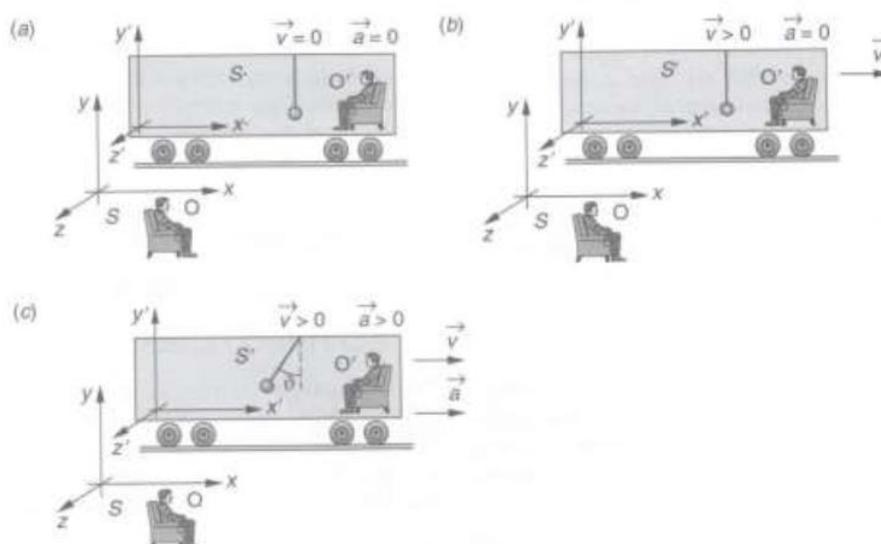
Para iniciarmos este tópico, vamos analisar alguns conceitos conhecidos em 1687, Newton publicou o *Philosophia Naturalis Principia Mathematica* (BALOLA, 2011), com as generalizações das observações feitas por Galileu e outros teóricos sobre as leis de movimento, vistas quando estudamos os movimentos. Agora, vamos dar destaque a equação que estrutura a segunda lei de Newton,

$$F = m \frac{dv}{dt} = ma \quad (3.1)$$

Quando estudamos essa equação da segunda lei de Newton, apresentamos que ela só é válida para um referencial inercial, ou seja, em referenciais que a lei da inércia é válida. Quando tomamos  $F=0$ ,  $dv/dt=0$ , ou seja,  $a=0$ . Ainda tem a propriedade de ser invariante, ou seja, conserva a forma mantendo-se constante em qualquer referencial inercial que ele esteja se movendo. Dessa forma, todos os referenciais inerciais são equivalentes. Para conseguirmos diferenciar um referencial inercial de um não inercial vamos trazer os exemplos: nas Figuras 4 e 5, estão expostas imagens que representam o referencial inercial e os dois tipos de referenciais, o inercial e o não inercial, respectivamente.

**Figura 4 - Referencial inercial**

Fonte: Tipler e Llewellyn, 2010.

**Figura 5 - Referencial inercial e não inercial**

Fonte: Tipler e Llewellyn, 2010.

Na Figura 4, podemos observar dois referenciais inerciais, o que está no coqueiro, representado por S e o que está no ciclista em movimento com velocidade constante (MRU), representado por S'. Esses referenciais estão em paralelo e S' está movendo-se com velocidade  $\vec{v}$  no sentido positivo do eixo x para um observador em S. Podemos perceber que o referencial S está em repouso em relação ao coqueiro e o referencial S' está em repouso em relação ao ciclista, assim como, se o referencial S' estivesse acelerado ele também estaria em repouso para o ciclista, neste caso temos referenciais inerciais.

Na Figura 5, (temos três imagens a, b e c), analisando cada uma delas podemos observar que na imagem (a) temos dois referenciais, um vagão está com  $v=0$  e  $a=0$  analisando a bolinha pendurada, conseguimos compreender que o

observador que está em S e o observador que está em S' vê a bolinha em repouso, logo se trata de um referencial inercial. Na imagem (b) temos novamente dois referenciais, o S e o S', neste momento o vagão está com  $v=\text{constante}$  e  $a=0$ , mas tanto o observador em S, quanto o observador em S' enxergam a bolinha em repouso, novamente não temos diferença na visualização e chegamos a conclusão que é um referencial inercial e na imagem (c) temos dois referenciais, um S e outro S', e o vagão está com movimento acelerado, como podemos ver a  $v>0$  e  $a>0$ , neste momento para o observador S' a bolinha está em repouso, porque ele faz o mesmo movimento que ela dentro do trem. Para o observador S a corda que segura a bolinha sofre uma inclinação decorrente da força de tensão que sustenta a bolinha, como temos duas observações distintas para o mesmo fenômeno, trata-se de um referencial não inercial. Podemos afirmar que quando o objeto está em repouso ou com velocidade constante temos um referencial inercial e quando eles apresentam aceleração, são considerados referenciais não inerciais.

Quando estamos diante de dois observadores S e S', cada um com um referencial distinto e comparando as observações feitas pelos observadores, surge o problema de como essa comparação deve ser feita. Para contornar esse problema utilizamos a transformação das coordenadas de posição e dos componentes de velocidade do referencial S para o referencial S' que chamamos de transformações de Galileu, descritas abaixo (TIPLER e LLEWELLYN, 2010):

$$x' = x - vt \quad y' = y \quad z' = z \quad t' = t \quad (3.2)$$

Assim, se tivermos um corpo em movimento visto de um dado referencial, esse movimento visto de outro referencial que se move em relação a ele é simplesmente a composição dos dois movimentos. Então, se  $v$  for a velocidade do referencial S' relativamente ao referencial S, temos para o movimento representado a seguinte relação entre as componentes dos vetores de que estão descritas nas equações (3.2), junto com a relação do tempo, a saber, que o tempo medido num referencial é igual ao tempo medido no outro referencial, ou seja, que o tempo é uma grandeza absoluta, cuja medição é igual para todos os observadores, encontrem-se estes em movimento ou não.

Desse modo, podemos concluir que *“Todo referencial que se move com velocidade constante em relação a um referencial inercial é um referencial inercial.*

As leis de Newton têm a mesma forma com qualquer referencial inercial, o que significa que são invariantes em relação a uma transformação de Galileu” (TIPLER e LLEWELLYN, 2010, p.5).

### 3.1.2 A velocidade da luz

A partir de seus estudos, o James Clerk Maxwell, em 1860, apresentou uma formulação para a lei de Faraday e corrigiu a lei de Ampère para chegar as equações dinâmicas do eletromagnetismo, que são resumidas em um sistema de quatro equações:

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (\text{Lei de Gauss para o campo elétrico}) \quad (3.3)$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0 \quad (\text{Lei de Gauss para o campo magnético}) \quad (3.4)$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\varphi_B}{dt} \quad (\text{Lei de Faraday}) \quad (3.5)$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\varphi_E}{dt} \quad (\text{Lei de Ampère-Maxwell}) \quad (3.6)$$

As equações de Maxwell descritas acima não são invariantes em relação a uma transformação de Galileu entre referenciais inerciais. É a evidência de um problema maior que é o fato das equações de Maxwell não serem invariantes mediante uma transformação de Galileu. O eletromagnetismo violava o princípio da relatividade.

Logo, um dos conflitos para esse fator é a velocidade da luz, a qual ficou bem determinada a partir das equações de Maxwell, que deduziu a velocidade de propagação dessas ondas e chegou a:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (3.7)$$

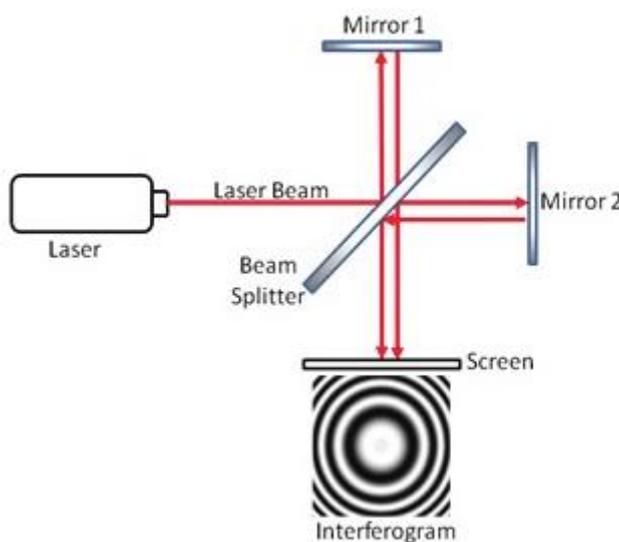
A determinação da velocidade da luz e a sua concordância experimental, apresentaram um forte indício de que a luz era uma onda eletromagnética e por

essa razão propagava-se com velocidade  $c$ . Diante dos fatos essa foi uma grande contribuição para a teoria da Relatividade. Portanto, essa foi uma previsão fundamental das equações de Maxwell,  $c$  é uma constante universal e representa a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas. E uma relação importante é que todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com a velocidade  $c$ , não importando o valor do comprimento de onda, nem os detalhes do processo de formação da onda — por exemplo, se o emissor da onda está ou não em movimento.

Assim, alguns teóricos da época, acreditando nesses resultados e considerando que uma onda eletromagnética necessitava de um meio para se propagar, que seria o “éter” proposto pelo filósofo Aristóteles, eles pretendiam provar experimentalmente a existência dessa substância medindo a velocidade relativa da terra em relação à luz, que deveria ter velocidade diferente de  $c$  devido à velocidade  $v$  da terra em relação ao éter (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

Para fazer isso, eles usaram o experimento proposto por Michelson e Morley, o interferômetro, representado na Figura 6.

**Figura 6** - Diagrama básico do interferômetro



Fonte: Physics Open Lab, 2020.

A proposta do interferômetro era conhecer a existência do éter, no qual tinha como objetivo na realização do experimento a obtenção da diferença entre dois tempos de viagem de um raio de luz, na primeira trajetória a direção de propagação coincidiu com a direção da velocidade orbital da Terra em relação ao meio "éter" em

que deveriam estar submersos. No segundo, era o mesmo caminho, percorrido pela luz, mas perpendicular à direção do movimento da Terra. Portanto, esperava-se observar que a diferença entre os tempos se devia às diferentes velocidades nos dois casos. Como se sabe essa diferença não foi encontrada, pois a explicação para esse fato é que velocidades próximas às da luz não se somam da maneira usual. Por exemplo, tomando  $c$  como a velocidade da luz num espaço vazio,  $c+c$  não é como esperávamos igual a  $2c$ , e sim  $c + c = c$ , temos então um problema algébrico.

Dessa forma, algumas questões como a não validade do princípio da relatividade galileiana para o eletromagnetismo e até mesmo a caráter absoluto do éter, meio que sustentava as ondas eletromagnéticas, foram postos a prova. Então, Einstein confrontou a ciência daquela época e fez algumas alterações no que acreditavam ser verídico, ele defendeu que o princípio da relatividade de Galileu era mais abrangente, ou seja, era válido para todas as leis da Física e não apenas para as da mecânica, e com relação ao éter, ele apenas “rejeitou o conceito” (AUFFRAY, 1999, p.65), e propôs que esse meio era considerado desnecessário para sustentar as ondas eletromagnéticas.

Paralelamente a isso, disse que o conceito de repouso absoluto não correspondia a nenhuma propriedade dos fenômenos mecânicos ou eletrodinâmicos e que as leis de Maxwell eram aquelas que deveriam ser vistas como verdadeiras. Ao propor tais ideias, Einstein provocou uma grande revisão conceitual das ideias newtonianas de espaço e tempo.

Apesar de gerar alterações significativas no entendimento da natureza, a Teoria da Relatividade Restrita (TRR) de Einstein se fundamentou em dois postulados que vamos pontuar no próximo tópico.

### **3.2 Os postulados de Einstein**

Partindo de dois postulados, aparentemente simples, Einstein surpreendeu o mundo científico quando mostrou que as ideias a respeito da relatividade dos corpos eram falhas. Um desses postulados aponta que as leis da Física devem ser as mesmas para todos os observadores que estejam em referenciais inerciais, não havendo um referencial absoluto ou privilegiado. O outro afirma que a velocidade da

luz é a mesma em qualquer sistema de referência inercial (YOUNG E FREEDMAN, 2016).

Vejamos os dois postulados que se baseia a TRR de Einstein de acordo com Young e Freedman (2016),

- I. Postulado da Relatividade: As leis da Física são as mesmas para todos os observadores situados em referenciais inerciais. Não existe um referencial absoluto.
- II. Postulado da Velocidade da Luz: A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor  $c$  em todas as direções e em todos os referenciais inerciais.

O primeiro postulado é um aprofundamento do princípio da relatividade newtoniana para incluir todos os fenômenos físicos. Assim, ele expande o que foi proposto por Galileu que acreditava que as leis eram as mesmas apenas para a mecânica, onde o Newton também já tinha expandido para a gravitação e o Einstein formalizou para todas as leis físicas que compreende as leis da ótica, do calor e do eletromagnetismo. Segundo esse postulado proposto, não podemos afirmar que as medidas experimentais das grandezas físicas são as mesmas para todos os observadores inerciais. Na maioria dos casos, os valores são diferentes, não existindo um referencial privilegiado entre todos os referenciais inerciais. Portanto, o movimento absoluto é impossível de detectar.

Ainda depois de 1860, século XIX, muitos pesquisadores consideravam que a luz se deslocava através de um meio que era o éter, assim como o som que se propagava no ar. Assim, a velocidade da luz em relação a observadores diferentes dependia da velocidade relativa entre os observadores. Então, teriam velocidades diferentes para cada situação. Com isso, Santos (2019, pág. 42), aponta que:

Einstein pode identificar que as equações de Maxwell eram válidas em qualquer sistema de referência inercial, e por consequência, que a velocidade da luz deveria ser a mesma em todos os sistemas de referência e em todas as direções, Einstein deu um importante passo para que se abandonasse o conceito do éter, postulando sobre a constância da velocidade da luz no vácuo (SANTOS, 2019, pág. 42).

O segundo postulado da relatividade, chamado “postulado da luz”, apresenta uma consequência que é a existência de uma velocidade limite na natureza  $c$ , sendo a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais. Desta forma, ele

nos diz que a luz se propaga com velocidade limite e nenhuma partícula com massa diferente de zero pode alcançar esse valor limite mesmo que seja acelerada por um tempo muito longo, ou seja, nenhuma entidade que consiga transportar energia ou informação pode exceder esse limite. Embora esses dois postulados tenham sido testados exaustivamente, nenhuma exceção até hoje foi descoberta (YOUNG E FREEDMAN, 2016).

### 3.3 As transformações de Lorentz

Sabemos que a transformação de Galileu para velocidade não é compatível com os postulados de Einstein da relatividade restrita. Portanto, se faz necessário outra transformação que esteja de acordo com os postulados de Einstein, de uma forma que reduzam as equações clássicas para  $v \ll c$ .

Essa questão foi resolvida pela substituição da transformação de Galileu pela de Lorentz na qual a primeira se mostra válida apenas para casos particulares, a Relatividade Especial.

O físico neerlandês Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), ganhador do Nobel de Física em 1902, em seus estudos sobre a teoria do elétron, não conseguiu explicar os resultados negativos do experimento de Michelson-Morley, uma tentativa de medir a velocidade da Terra através do éter hipotético que comparando a velocidade da luz em diferentes direções. Assim, em 1895, ele introduziu o conceito de hora local (diferentes taxas de tempo em diferentes lugares). Lorentz propôs que objetos se movendo na velocidade da luz se contraíssem na direção do movimento. O físico irlandês George Francis FitzGerald<sup>1</sup> chegou a esse conceito de forma independente, Lorentz estendeu seu trabalho e desenvolveu as transformações de Lorentz. Essas equações matemáticas descrevem o aumento da massa, o encurtamento do comprimento e a dilatação do tempo que são consequências dinâmicas das transformações, e formam a base da Teoria da Relatividade Especial de Einstein.

De imediato, com as novas transformações vindas da teoria da relatividade especial, é possível observar que espaço e tempo são quantidades relativas e suas

---

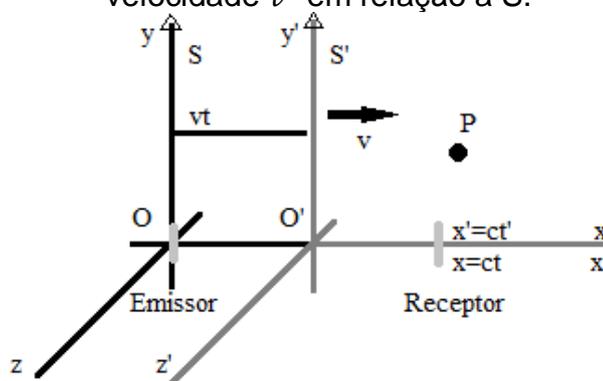
<sup>1</sup> Veja a contração de Lorentz-FitzGerald.

medidas podem ser diferentes de acordo com o referencial que se mede, ao contrário do que se via na transformação de Galileu. Com isso, as transformações de Lorentz foram desenvolvidas, em que tanto as equações de Maxwell quanto as equações que descrevem as leis da mecânica são covariantes, com exceção da segunda Lei de Newton (HALLIDAY e RESNICK, 2019).

Nas transformações de Lorentz a velocidade da luz no vácuo possui o mesmo módulo  $c$  em todos os referenciais inerciais. O que concorda com os postulados de Einstein, essas transformações explicitam como as posições e tempos mudam de um referencial para outro, atendendo a condições importantes. De acordo com Santos (2019), as equações matemáticas que expressam as leis físicas têm que apresentar a mesma forma em todos os referenciais inerciais; as transformações de Galileu tem que estar no limite para baixas velocidades, visto que as equações matemáticas que expressam as leis da mecânica newtoniana são covariantes face às transformações de Galileu; para todos os referenciais a velocidade da luz é a mesma; transformar a coordenada do tempo, além das coordenadas do espaço, em consequência de que as noções de tempo e espaço absolutos, na Teoria da Relatividade Restrita de Einstein foram abandonadas.

Como mencionamos, a Teoria da Relatividade Restrita começa por novas leis de transformações de coordenadas entre sistemas inerciais de referência. Para entender as transformações, vamos considerar dois sistemas de referência, sendo estes:  $S$  e  $S'$ , em que  $S$  é o emissor e  $S'$  o receptor na Figura 7, temos:

**Figura 7** - Dois sistemas de referenciais inerciais  $S$  e  $S'$ , com  $S'$  movendo-se com velocidade  $v$  em relação a  $S$ .



Fonte: Adaptada Fagundes (2009).

Para definir um evento físico, para além da posição no espaço, se faz necessário descrever o momento em que ele aconteceu. Exemplificando, se os

sistemas de referência  $xyz$  e  $x'y'z'$  coincidem no instante  $t=0$ , e  $x'y'z'$  move-se com velocidade  $v$  diferente de zero com relação ao sistema  $xyz$ . Se um evento físico que aconteceu em  $P$ . é definido pelas coordenadas  $(x,y,z,t)$  no referencial  $S$  e  $(x',y',z',t')$  em  $S'$ . Neste caso, para as transformações de Galileu se um evento acontece no instante  $t$  no ponto de coordenadas  $(x,0,0)$  em  $S$ , suas coordenadas em  $(x',y',z')$  são  $(x',0,0)$ , onde  $x'=x-vt$  como já visto na equação (3.2), que corresponde a velocidades muito menores que a velocidade da luz no vácuo ( $v \ll c$ ), onde as transformações de Galileu são suficientes, na Física Galileana e Newtoniana.

Estendendo esse conceito para as transformadas de posição para a coordenada  $x$  para qualquer valor de  $v$  menor que  $c$ . Vamos encontrar as transformações de Lorentz, suponhamos que a equação correta para  $x'$  seja:

$$x' = \gamma(x - vt) \quad (3.8)$$

Onde  $\gamma$  é uma constante que pode depender de  $v$  e de  $c$ , assim quando o fator de Lorentz  $\gamma \rightarrow 1$  quando  $v/c \rightarrow 0$ , consequência da expressão para gama, que ainda não foi obtido. A transformação inversa deve ser

$$x = \gamma(x' + vt') \quad (3.9)$$

Agora, considerando o fato experimental de que a velocidade luz é a mesma em qualquer referencial inercial, podemos averiguar como a coordenada tempo se altera do referencial  $S$  para o  $S'$ , analisado um pulso de luz que é emitido em  $o=o'$ , no instante  $t=0$  (quando os dois sistemas coincidem), tomando  $c$  como o módulo da velocidade para  $S$  e  $S'$ , assim ele é absorvido num instante posterior  $t$ , no ponto  $(x=ct,0,0)$  em  $(x,y,z)$ ; e no instante  $t'$ , no ponto  $(x'=ct',0,0)$  em  $(x',y',z')$ . Desse modo temos que  $t'$  é diferente de  $t$ , como consequência a luz percorre uma distância  $x=ct$  em  $S$  e  $x'=ct'$  em  $S'$ . Assim, podemos fazer a substituição de  $x$  e  $x'$  nas equações (3.7) e (3.8), vamos encontrar:

$$ct' = \gamma(c - v)t \quad (3.9)$$

e

$$ct = \gamma(c + v)t' \quad (3.10)$$

assim, isolando  $t'$  vamos ter:

$$t' = \frac{\gamma(c - v)t}{c} \quad (3.11)$$

substituindo  $t'$  na equação (3.10), obtemos:

$$c^2 = \gamma^2(c + v) \cdot (c - v)t = \gamma^2(c^2 - v^2) \quad (3.12)$$

e ao isolar  $\gamma$ , temos:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (3.13)$$

Em que  $\beta = v/c$ . Para quando  $v \ll c$  ( $\beta \approx 0$ ),  $\gamma \rightarrow 1$ , tal qual se previa a partir das equações (3.8) e (3.9). De outra forma, quando  $v \rightarrow c$ ,  $\gamma \rightarrow \infty$ .

Assim, podemos substituir  $t = \frac{x}{c}$  na equação (3.11), então vamos ter:

$$t' = \gamma \left( t - \frac{vx}{c^2} \right) \quad (3.12)$$

Essa equação que chegamos (3.12) apresenta a transformação temporal do sistema de referência S para o sistema S'. O que se pode verificar é que o tempo passa de forma diferente para os dois referenciais. Assim, é descartada a hipótese de tempo absoluto. Portanto, essa transformação faz sentido quando  $v \ll c$ ,  $\gamma \rightarrow 1$  e  $t' = t$  como propõe a transformação de Galileu.

As coordenadas espaço temporais na direção do eixo x são dadas por:

$$\begin{aligned} x' &= \gamma(x - vt) \\ y' &= y \\ x &= x \\ t' &= \gamma \left( t - \frac{vx}{c^2} \right) \end{aligned} \quad (3.13)$$

As transformações inversas são expressas por:

$$\begin{aligned} x &= \gamma(x' + vt') \\ y &= y' \\ x &= x' \\ t &= \gamma \left( t' + \frac{vx'}{c^2} \right) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Note que a variável espacial (x) e a temporal (t) aparecem juntas na primeira e na quarta equação. Esse entrelaçamento de espaço e tempo foi proposto por

Einstein. Uma das exigências das equações relativísticas é que ela deve se reduzir as equações clássicas quando  $c$  é muito maior *que*  $v^2$ .

Tais transformações são chamadas de Transformações de Lorentz, devido as grandes contribuições que o físico Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) deu, sendo o primeiro pesquisador a obter tais funções.

Dessas equações que acabamos de pontuar surgiram algumas consequências, como a dilatação do tempo, a contração do comprimento e a simultaneidade que vamos analisar nos próximos tópicos.

### 3.4 A dilatação do tempo

Antes de tudo, vamos escrever as equações de Lorentz em termos de qualquer par de eventos 1 e 2, como separações de espaços temporais.

$$\Delta x = x_2 - x_1 \text{ e } \Delta t = t_2 - t_1 \quad (3.15)$$

medidas por um observador no referencial S e

$$\Delta x' = x'_2 - x'_1 \text{ e } \Delta t' = t'_2 - t'_1 \quad (3.16)$$

medidas por um observador no referencial S'.

Assim, tomando as transformações temporais, proposta por Lorentz, o intervalo de tempo será distintos para diferentes sistemas de referenciais inerciais. Retomando a Figura 7, onde S' movimenta-se com velocidade de módulo  $v$  na direção e sentido de  $x$  e  $x'$ , podemos descrever dois eventos físicos. Por exemplo, o acender e apagar de uma lanterna, que acontecem no mesmo local em S'(ou seja que  $\Delta x' = 0$ ), mas em ocasiões diferentes, neste caso, os instantes  $t'_1$  a lanterna é acesa e  $t'_2$  a lanterna é apagada (HALLIDAY e RESNICK, 2019).

Utilizando a equação inversa da transformada para o tempo, que está expressa nas equações (3.14), é possível determinar o intervalo de tempo que transcorreu no referencial S:

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$t_1 = \gamma \left( t'_1 + \frac{vx'_1}{c^2} \right)$$

---

<sup>2</sup> Você pode verificar essa demonstração no livro de Física do Halliday e Resnick: HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 4;

$$t_2 = \gamma \left( t'_2 + \frac{vx'_2}{c^2} \right)$$

logo

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \gamma \left( t'_2 + \frac{vx'_2}{c^2} \right) - \gamma \left( t'_1 + \frac{vx'_1}{c^2} \right) = \gamma (t'_2 - t'_1)$$

relacionando a

$$\Delta t = t'_2 - t'_1$$

temos que

$$\Delta t = \gamma \Delta t' \quad (3.17)$$

Esse resultado confirma o fenômeno da dilatação do tempo. A igualdade ocorre apenas na situação específica em que  $v \ll c$ . Com isso, quando observamos em dois referenciais inerciais o intervalo de tempo observado por relógios iguais é diferente, nesse caso o intervalo de tempo menor é medido por um relógio em repouso no referencial, onde o evento ocorreu. Usa-se também a notação  $\Delta t_0$  para indicar o intervalo referente a um fenômeno que ocorre na mesma posição espacial, também chamado de intervalo de tempo próprio. Desta forma, podemos reformular a expressão, ficando:

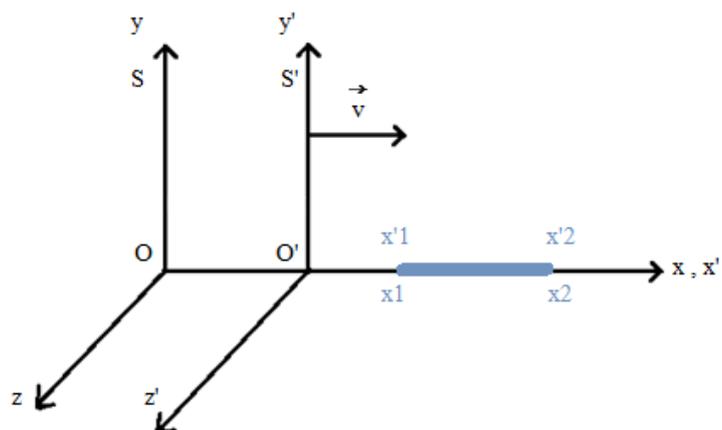
$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 \quad (3.18)$$

A dilatação do tempo é um caso especial das transformações de Lorentz, esse fenômeno é chamado dilatação temporal. Analisando tal expressão, verifica-se que o intervalo de tempo próprio entre dois eventos físicos é menor que o intervalo de tempo observado entre ambos, medido em qualquer outro referencial inercial. Assim, o intervalo de tempo medido em qualquer outro referencial será sempre maior que o tempo próprio.

### 3.5 A contração do comprimento

A contração do comprimento é um fenômeno que está associado ao fenômeno da dilatação temporal. O comprimento do objeto no referencial em que o objeto está em repouso é conhecido como comprimento próprio e representado pelo símbolo  $L_p$ . Vamos considerar o sistema referencial que está representado na Figura 8.

**Figura 8** - Barra sobre o referencial S e S'



Fonte: Adaptado de Santos (2019).

Mas, antes disso, é importante mencionar que quando um corpo está em movimento, precisamos observar em nosso referencial, as coordenadas das extremidades do corpo para que o resultado seja válido.

Quando consideramos os sistemas de referência S e S', mostrados na Figura 8, onde S' movimenta-se com velocidade de módulo  $v$  na direção e sentido de  $x$  e  $x'$  (SANTOS, 2019). Na Figura 8, temos uma régua que está paralela ao eixo  $x$  e  $x'$ , a régua está em repouso em relação a S' e suas extremidades possuem coordenadas espaciais  $x'1$  e  $x'2$ , seja  $L$  o comprimento de uma régua medido no referencial em que a régua está estacionária, e em relação ao referencial S a régua tem velocidade  $v$  e coordenadas  $x1$  e  $x2$ , se o comprimento da régua for medido em outro referencial que esteja movendo-se, como é o caso desse exemplo, o comprimento da régua será  $L'$ , diferente de  $L$ .

Vamos observar como ficará o comprimento para um observador de acordo com as equações de Lorentz, partindo dessas equações:

$$x'_1 = \gamma(x_1 - vt_1)$$

$$x'_2 = \gamma(x_2 - vt_2)$$

O comprimento da régua para quem está no referencial S pode ser medido por

$L = x_2 - x_1$  e no referencial S' será  $L' = x'_2 - x'_1$ . Então, tomando  $t = t_1 = t_2$ .

Vamos ter:

$$L' = x'_2 - x'_1 = \gamma(x_2 - vt) - \gamma(x_1 - vt) = \gamma(x_2 - vt - x_1 + vt) = \gamma(x_2 - x_1)$$

como  $L = x_2 - x_1$ , substituindo temos:

$$L' = \gamma L \quad (3.19)$$

Assim, tomando  $\gamma \geq 1$  a equação (3.19) implica  $L' > L$ . Só vamos ter uma igualdade quando a velocidade relativa entre os dois referenciais for nula. Portanto, quem estiver no referencial S consegue encontrar o valor do comprimento que é chamado de comprimento próprio e é representado por  $L_0$ . Neste caso, a régua encontra-se com velocidade  $V$  em relação ao sistema de referência S e em repouso em relação ao sistema de referência S'. Substituindo,  $L' = L_0$ , na expressão (3.19), temos:

$$L = \frac{1}{\gamma} L_0 \quad (3.20)$$

De tal modo, podemos dizer que houve uma contração de comprimento. O que causa um certo desconforto pelo fato dessa situação se contrapor a intuição. Nessa situação que analisamos, não houve alteração na largura e nem na espessura da régua quando medidas em S ou em S'. Assim, teremos  $(\Delta y') = (\Delta y)$  e  $(\Delta z') = (\Delta z)$ , visto que adotamos o eixo x, e conforme as transformações de Lorentz  $y' = y$  e  $z' = z$ . Generalizando, onde a velocidade de S' em relação a S pode ter qualquer direção e sentido, é possível observar que objetos bidimensionais e tridimensionais constituem formas diferentes em diferentes referenciais inerciais. Vale destacar que a contração acontece apenas na direção do movimento.

### 3.6 A relatividade da simultaneidade

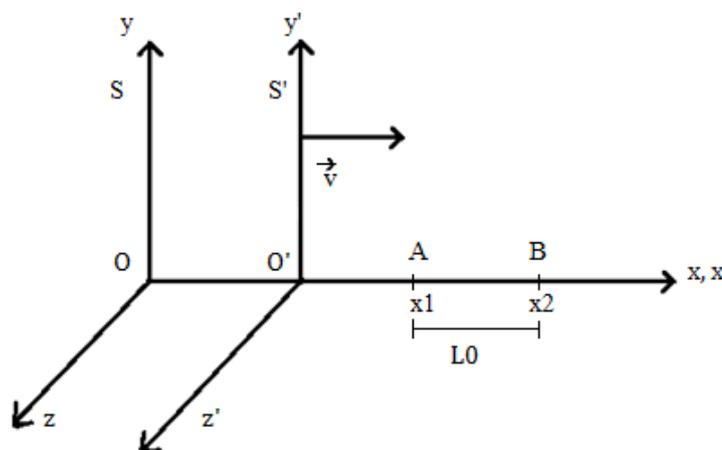
O conceito de simultaneidade está intimamente associado à medida do tempo e ao intervalo de tempo entre dois eventos. Percebe-se que dois eventos simultâneos em um referencial, ocorrem no mesmo intervalo de tempo (quando estão a uma mesma distância do observador), entretanto, como consequência da transformação de Lorentz, esses eventos podem não ser simultâneos em relação a outro referencial inercial. Pode-se observar esse fato quando estamos analisando dois eventos, como o descrito, a coordenada temporal do sistema de referência S' movimenta-se com velocidade constante em relação ao outro referencial S, com isso, além de depender da velocidade relativa dos dois referenciais, também

depende da posição espacial onde o evento aconteceu em S. Assim, concluímos que:

“Dois observadores em movimento relativo não concordam, em geral, quanto à simultaneidade de dois eventos. Se um dos observadores os considera simultâneos, o outro, em geral, conclui que não são simultâneos.” (HALLIDAY e RESNICK, 2019, p.150). E ainda que, “A simultaneidade não é um conceito absoluto; dois eventos simultâneos em um dado sistema de referência não são necessariamente simultâneos em outro sistema de referência que se mova em relação ao primeiro.” (YOUNG E FREEDMAN, 2016, p.165).

Para compreendermos a simultaneidade de eventos e a diferença no sincronismo de relógios em sistemas referenciais inerciais diferentes, vamos considerar os dois referenciais de eixos paralelos. Como mostrado na Figura 9, os relógios A e B estão em repouso em relação a S, distantes por  $L_0 = (x_2 - x_1)$ , onde  $x_1$  e  $x_2$  são as posições dos relógios. Para uma explicação mais conceitual, ver Halliday e Resnick (2019, p. 150).

**Figura 9** - Dois relógios idênticos A e B, separados por uma distância  $L_0$ .



Fonte: Adaptada de Santos (2019)

Vamos analisar essa situação de acordo com as equações de Lorentz. Temos na Figura 9 dois relógios A e B, em repouso no referencial S, dispostos em  $x_1$  e  $x_2$ , respectivamente. Com isso, as suas marcações de tempo serão  $t=t_1=t_2$ . Segundo propõe a transformação de Lorentz para o tempo, no referencial S' os dois eventos ocorrem nos instantes  $t_1'$  e  $t_2'$ , expressos por:

$$t'_1 = \gamma \left( t_1 - \frac{vx_1}{c^2} \right) \quad (3.21)$$

e

$$t'_2 = \gamma \left( t_2 - \frac{vx_2}{c^2} \right) \quad (3.22)$$

Assim, encontrando o intervalo de tempo transcorrido entre os dois eventos no referencial S', vamos ter:

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1 = \gamma \left( t_2 - \frac{vx_2}{c^2} \right) - \gamma \left( t_1 - \frac{vx_1}{c^2} \right) = -\gamma \frac{v}{c^2} (x_2 - x_1)$$

Considerando que  $t_1 = t_2$ . E substituindo  $L_0 = x_2 - x_1$ , veremos que:

$$\Delta t' = -\gamma \frac{v}{c^2} L_0$$

Analisando essa equação que chegamos, podemos inferir que dois eventos serão simultâneos em dois referenciais inerciais quando a velocidade tender a zero, visto que  $\gamma \geq 1$ ,  $L_0 > 0$  e  $c$  é o módulo da velocidade da luz e é uma constante não nula.

Em concordância com o fenômeno da dilatação temporal, o intervalo de tempo em S' sofre dilatação pelo fator  $\gamma$  em relação ao intervalo de tempo em S ( $\Delta t' = \gamma \Delta t$ ), assim:

$$\Delta t' = \gamma \Delta t = -\gamma \frac{v}{c^2} L_0 = -\frac{v}{c^2} L_0 \quad \text{portanto,}$$

$$\Delta t = -\frac{v}{c^2} L_0 \quad (3.23)$$

Como esta expressão indica que  $\Delta t = t_2 - t_1 < 0$ . Porém, ao admitir que os dois eventos acontecem simultaneamente em S, e por isso, esperava-se encontrar  $\Delta t = 0$ , visto que  $\Delta t = t_2 - t_1$  e  $t_1 = t_2$ . Portanto, esta equação (23) mostra, além da diferença de sincronidade dos relógios em S para uma medida feita em S', que para um observador em S', o evento ocorre depois no relógio localizado em  $x_1$ , isto é, este relógio está atrasado em relação ao relógio localizado em  $x_2$ .

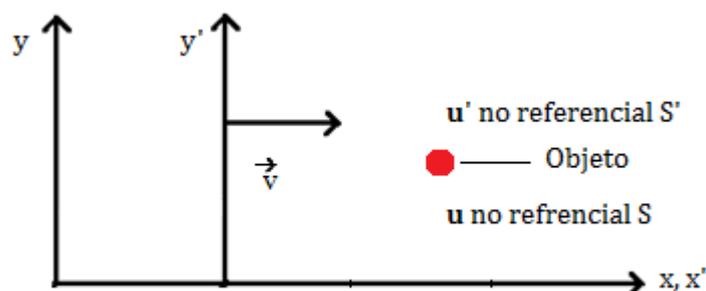
Com isso, como descrito em Young e Freedman (2016), a simultaneidade não é um conceito absoluto e sim um conceito relativo que depende do movimento do observador.

### 3.7 A relatividade das velocidades

Com o intuito de analisar e comparar as transformações de Lorentz com relação às transformações de Galileu para as velocidades de dois observadores que

estão em diferentes referenciais inerciais, S e S', medem para o mesmo objeto. Vamos analisar a Figura 10.

**Figura 10** - O referencial S' está movendo-se com velocidade V em relação ao referencial S. Um objeto está se movendo com velocidade u' em relação ao referencial S' e u em relação ao referencial S.



**Fonte:** Adaptada de Halliday e Resnick (2019).

Na Figura 10, vemos que o referencial S' está se movendo com velocidade  $v$  com relação ao referencial S. Agora, supondo que o objeto esteja se movendo com velocidade constante paralelamente aos eixos  $x$  e  $x'$ , emita um sinal, e algum tempo depois, emita um segundo sinal. Os observadores que estão nos referenciais S e S' medem a distância e o intervalo de tempo entre os dois eventos. Partindo das equações de Lorentz de distância e tempo:

$$\Delta x = \gamma(\Delta x' + v\Delta t')$$

E

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

e fazendo a divisão da primeira pela segunda, obtemos:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x' + v\Delta t'}{\Delta t' + \frac{v\Delta x'}{c^2}}$$

Dividindo o denominador e numerador da equação do lado direito por  $\Delta t'$ , temos:

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

Para  $\Delta t \rightarrow 0$ ,  $\frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow u$ , a velocidade da partícula medida no referencial S. Assim

como para  $\Delta t' \rightarrow 0, \frac{\Delta x'}{\Delta t'} \rightarrow u'$ , a velocidade da partícula medida no referencial  $S'$ . Vamos ter:

$$u = \frac{u' + v}{1 + u'v/c^2} \quad (3.24)$$

Chegamos à transformação relativística da velocidade, essa equação se reduz a equação da transformação clássica, ou de Galileu quando fazemos  $c \rightarrow \infty$ . Contudo, essa equação (3.24) é válida para todas as velocidades fisicamente possíveis, enquanto a de Galileu é aproximadamente verdadeira para velocidades muito menores que  $c$ . (HALLIDAY e RESNICK, 2019).

### 3.8 Momento e energia

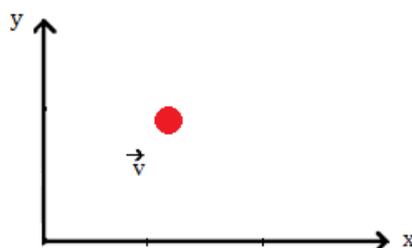
#### Momento

Para compreendermos esse tópico, vamos analisar o Momento na Física Clássica. Sabemos que as expressões clássicas para o momento e a energia cinética são aproximadamente exatas para as baixas velocidades, enquanto as expressões relativísticas para o momento e a energia cinética com as correções feitas utilizando o fator de Lorentz são corretas para qualquer velocidade fisicamente possível, em referenciais inerciais. Diante disso, vamos expressar essa nova interpretação para o momento.

Primeiro, vamos pensar em uma colisão de partículas observadas por dois observadores em referenciais inerciais distintos. Se pensarmos na Física clássica, compreendemos que mesmo que as velocidades das partículas sejam diferentes em distintos referenciais, a lei de conservação é válida, ou seja, o momento antes da colisão é igual ao momento após a colisão.

Assim, vamos analisar como essa lei foi modificada pela TRR quando estamos analisando a equação do momento, que é o produto entre a massa e a velocidade,  $p = mv$ . Então, de acordo com a TRR, o momento não é o mesmo antes e depois da colisão para observadores situados na maioria dos referenciais inerciais. Portanto, é necessária uma mudança na definição de momento para uma forma que seja válida em qualquer referencial. Para compreendermos essa mudança, vamos analisar a Figura 11:

**Figura 11** - Partícula movendo-se com  $v$  constante no sentido positivo do eixo.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Na Figura 11, onde um observador em repouso analisa uma partícula que está se movendo com uma velocidade constante no eixo positivo, numa análise clássica encontramos o momento,

$$p = mv = m \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (3.25)$$

onde,  $\Delta x$  é o espaço percorrido no intervalo de tempo  $\Delta t$ . Agora, para encontrar o momento relativístico, temos que:

$$p = m \frac{\Delta x}{\Delta t_0}$$

Portanto, agora temos  $\Delta x$ , que é a distância percorrida pela partícula do ponto de vista de um observador externo, mas  $\Delta t_0$  é o intervalo de tempo necessário para percorrer a distância  $\Delta x$ , agora não mais do ponto de vista de um observador externo, mas do ponto de vista de um observador que esteja movendo-se com a partícula. De modo que a partícula está em repouso em relação ao segundo observador, o intervalo de tempo medido é um intervalo de tempo próprio.

Assim, usando a expressão de dilatação do tempo  $\Delta t = \gamma t_0$ , temos:

$$p = m \frac{\Delta x}{\Delta t_0} = m \frac{\Delta x}{\frac{\Delta t}{\gamma}} = m \frac{\Delta x}{\Delta t} \gamma$$

Como

$$v = \Delta x / \Delta t$$

temos:

$$p = \gamma mv \quad (3.26)$$

Note que a diferença que encontramos entre o momento clássico e o relativístico está presente apenas pelo fator de Lorentz, mas essa diferença é muito importante pois fornece o valor correto para o momento em qualquer velocidade física possível em referenciais inerciais.

## Energia total

Para descrever esse tópico, vamos iniciar com a célebre frase do Lavoisier: “Na natureza nada se perde, tudo se transforma”. Em química, quando se analisa uma reação, processo em que temos a interação entre átomos e moléculas, a massa e a energia são conservadas separadamente. Einstein, em 1905, mostrou que de acordo com a TRR a massa pode ser considerada uma forma de energia. Desse modo, essa relação massa-energia é válida na TRR.

Quando estamos observando uma reação química, a massa que é transformada em energia é uma porção muito pequena em relação à massa total, é tanto que: não é possível detectar essa variação. Daí pode-se dizer que em reações químicas a massa e a energia são conservadas separadamente. Por outro lado, em uma reação nuclear a energia liberada é milhões de vezes maior que uma reação química, logo a variação é facilmente detectada. (HALLIDAY E RESNICK, 2019).

O físico Albert Einstein estabeleceu a equivalência quantitativa da transformação de matéria e energia ou vice-versa, através da equação,

$$E_0 = mc^2$$

onde,  $E_0$ , é a energia de repouso que está associada a energia que o objeto possui quando está em repouso, de modo que se um objeto possui massa ele possui energia. Para uma leitura mais sofisticada dessa relação, que é um assunto que até hoje os cientistas discutem<sup>3</sup>. Essa relação explicitada acima é muito conhecida se retirarmos o zero que indica a energia de repouso, podemos dizer que é uma das equações mais conhecidas em toda a história da Física. Conseguimos encontrar uma analogia dessa equação na mecânica clássica utilizando a 2ª lei de Newton e a equação do trabalho em função da força e do deslocamento fazendo algumas relações algébricas.

Dando continuidade, podemos determinar a energia de repouso associada a uma massa  $m$  de um objeto que esteja em repouso ou em movimento. Portanto, se o objeto estiver em movimento ele possui uma energia cinética associada. Assim, se a energia potencial é nula, vamos ter:

$$E = E_0 + k = mc^2 + k \quad (3.27)$$

---

<sup>3</sup> Ler: (Lições de Física, Cap. 16) Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4891096/course/section/5887796/Licoes\\_de\\_Fisica\\_Feynman\\_vol1\\_cap16.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4891096/course/section/5887796/Licoes_de_Fisica_Feynman_vol1_cap16.pdf)

que pode ser descrita na forma

$$E = \gamma mc^2 \quad (3.28)$$

Então, podemos dizer que independente da energia de repouso a lei de conservação de energia pode ser aplicada dentro da TRR.

Assim, de acordo com Halliday e Resnick (2019), “A energia total de um sistema isolado é constante”.

### Energia cinética

Neste tópico, pretendemos expressar a energia cinética para a TRR, para isso, vamos partir da equação clássica para a energia cinética (HALLIDAY e RESNICK, 2019, cap. 7)

$$k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.29)$$

equação (3.29), é utilizada para velocidades muito menores que a velocidade da luz. Tomando a equação da energia total, que é

$$E = E_0 + k = mc^2 + k \quad \text{e substituindo por}$$

$$E = \gamma mc^2 \quad \text{vamos encontrar}$$

$$\gamma mc^2 = mc^2 + k \quad \text{isolando k temos,}$$

$$k = \gamma mc^2 - mc^2$$

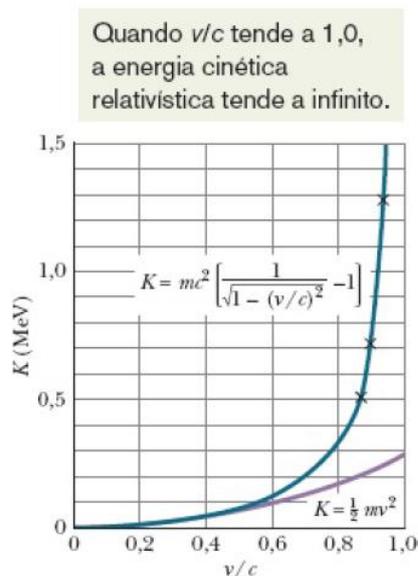
organizando a equação, chegamos a:

$$k = mc^2(\gamma - 1) \quad (3.30)$$

A equação 3.30 que encontramos pode ser utilizada para qualquer velocidade fisicamente possível, em referenciais inerciais, onde  $\gamma$  é o fator de Lorentz do corpo em movimento.

Vamos ver a Figura 11 para compreendermos essa relação.

**Figura 12** - Gráficos da equação relativística (Eq. 3.30) e da equação clássica (Eq. 3.29) para a energia cinética de um elétron em função de  $v/c$ .



Fonte: Halliday e Resnick, 2019.

De acordo com a Figura 12, podemos observar que as curvas das velocidades estão bem próximas quando temos baixas velocidades e divergem para altas velocidades. Após alguns experimentos visto na literatura, verificou-se que a curva que melhor se ajusta é a curva relativística. Portanto, para velocidades muito próximas a velocidade da luz a equação relativística fornece o resultado mais provável.

### Momento e energia cinética

A relação de momento e energia cinética, uma relação importante que vamos descrever neste tópico. Olhando para a mecânica, sabemos que o momento é expresso por  $p=mv$ , e energia cinética como  $k=1/2mv^2$  como já mencionamos o momento relativístico e a energia cinética relativística, para compreendermos a relação entre esses dois conceitos, vamos ter que fazer algumas relações algébricas, que obtemos isolando o  $v$  na equação do momento e substituindo na equação da energia cinética:

$$v = \frac{p}{m}$$

Substituindo em  $k$  temos

$$k = \frac{1}{2} m \left( \frac{p}{m} \right)^2$$

Organizando, vamos obter

$$k = \frac{p^2}{2m}$$

Assim a relação clássica é da forma

$$p^2 = 2mk$$

Essa relação é para a mecânica clássica, mas não é diferente para a relativística. Sendo assim, vamos utilizar as equações conhecidas que são:

$$p = \gamma mv$$

que é o momento relativístico e

$$k = mc^2(\gamma - 1)$$

que é a energia cinética relativística, para encontrar a relação de momento e energia para a relatividade vamos isolar o  $\gamma$  na equação do momento e substituir na equação de energia,

$$\gamma = \frac{p}{mv} \quad \text{substituindo temos,}$$

$$k = \frac{mc^2 p}{mv} - mc^2$$

considerando  $v$  como  $c$  e colocando ambos os lados ao quadrado temos,

$$k^2 = (cp)^2 - m^2 c^4 \quad (3.31)^4$$

Vamos agora entender o que muda nessas duas equações que encontramos da relação de energia cinética e momento para a Física clássica e a relativística, o que muda nisso tudo. Para isso, vamos retomar ao exemplo que foi citado acima, o qual é referente a colisão de duas partículas, quando duas partículas colidem, elas produzem energia potencial ou outra forma de energia, ou podem perder energia por forças que estejam atuando sobre elas, mas é fato que a massa é a energia total que foi introduzida, quando a partícula está em repouso.

Portanto, podemos inferir que a conservação da massa da partícula é equivalente a conservação da energia e que não existe lugar na teoria da relatividade para colisões estritamente inelásticas, como estudamos na mecânica clássica. Vemos na mecânica newtoniana que não existe problema em duas partículas colidirem e continuar o movimento juntas, formando um único objeto com massa  $2m_0$  que não é diferente se fossem unidas lentamente, mas quando juntamos

---

<sup>4</sup> Para um melhor aprofundamento dessa relação ver capítulo 5 do livro da teoria da relatividade de Fagundes ou Tipler e Llewellyn pág. 53. Capítulo 2.

ela através de uma colisão violenta o objeto que é formado é mais pesado, será um objeto diferente porque as massas são diferentes.

Contudo, o que encontramos com o resultado nessa relação relativística é que a conservação da energia deve acompanhar a conservação do momento para a teoria da relatividade, que é diferente do que obtemos na clássica. Porém, encontramos uma relação que relaciona o momento, a energia cinética e a velocidade de uma forma simples.

### 3.9 Noções da Teoria da Relatividade Geral

Em 1916, o físico Albert Einstein fez uma proposta da generalização da teoria da relatividade para referenciais não inerciais, que ficou conhecida como Teoria da Relatividade Geral (TRG). Essa teoria foi apresentada, especificamente, em quatro artigos preliminares, em 1915, porém apenas em 1916 foi consolidada. Nesta teoria, o físico Albert Einstein além de generalizar a TRR para qualquer tipo de referencial, também mostrou uma teoria que modifica a base da gravitação de Newton. Do ponto de vista matemático essa teoria é mais difícil que os estudos realizados para a teoria da relatividade restrita e para ser verificada têm situações onde ela pode ser testada. Para nosso trabalho vamos nos limitar a uma discussão qualitativa, uma descrição completa da TRG neste tópico, abordando os estudos da análise tensorial, não seria possível.

A partir dos resultados obtidos no estudo da TRR, percebemos que nem o espaço nem o tempo são absolutos, ou seja, que a medida de seus valores depende dos referenciais que são medidos. Compreende-se também que o intervalo do espaço-tempo seja invariante, independente do referencial em que seja medida. Porém, a invariância do intervalo  $\Delta s$ , nos mostra que há uma incoerência em considerar o espaço e o tempo como duas grandezas distintas, o que fez com que Minkowski, em 1908, os apresentasse como uma grandeza física única, chamada de espaço-tempo (PERUZZO; POTTKER; PRADO, 2014 apud COUTO; FERREIRA; SILVA FILHO, 2019).

Assim, a principal vantagem da interpretação geométrica de Minkowski é metodológica: ela permite escrever expressões de leis físicas de forma a garantir automaticamente que elas sejam preservadas pela transformação de Lorentz, ou

seja, satisfaçam automaticamente o princípio da relatividade. (NUSSENZVEIG, 2014).

A métrica de Minkowski define o espaço-tempo plano e seus elementos indicam que seus eixos são idênticos em qualquer direção e em qualquer ponto do espaço-tempo. Já o espaço-tempo da TRG é curvo e sua métrica pode ser utilizada para resolver as equações de campo de Einstein (COUTO; FERREIRA; SILVA FILHO, 2019).

De fato, para se entender a TRG é necessário abordar esses estudos anteriores sobre espaço-tempo. Como vimos, na teoria de Newton para a gravitação, ela é descrita como uma interação à distância, que pode mudar o valor das forças de interações alterando a posição de uma das massas, por mais distantes que estejam. Diante disso, o físico Albert Einstein decidiu reformular a teoria da gravitação para que ela fosse compatível com as limitações impostas pela teoria da relatividade restrita.

Em seus estudos para formular a TRG, o Físico Albert Einstein baseou-se na queda livre para entender o que acontecia com o campo gravitacional ao redor do corpo em queda. Em vista disso conseguiu formular um significado físico mais profundo para esse resultado, que mostra que todos os corpos caem com mesma aceleração independente de sua massa, corroborando com os estudos de Galileu na torre de Pisa.

Desse modo, o Einstein queria entender como a força da gravidade funcionava, nas palavras dele:

Foi então que me ocorreu a ideia mais fantástica de minha vida. Da mesma forma que o campo elétrico gerado pela indução magnética, o campo gravitacional possui uma existência apenas relativa. Porque para um observador que está caindo do telhado de uma casa, não existe (pelo menos em sua vizinhança imediata) um campo gravitacional. [os grifos são de Einstein]... O Observador tem, portanto, todo direito de imaginar que se encontra “em repouso”. (TIPLER e LLEWELLYN, 2010, p.61).

A partir dessas ideias, Einstein chegou ao princípio de equivalência que se pode dizer que posteriormente virou o postulado básico da Teoria da Relatividade Geral. De acordo com Tipler e Llewellyn, esse princípio pode ser enunciado da seguinte forma:

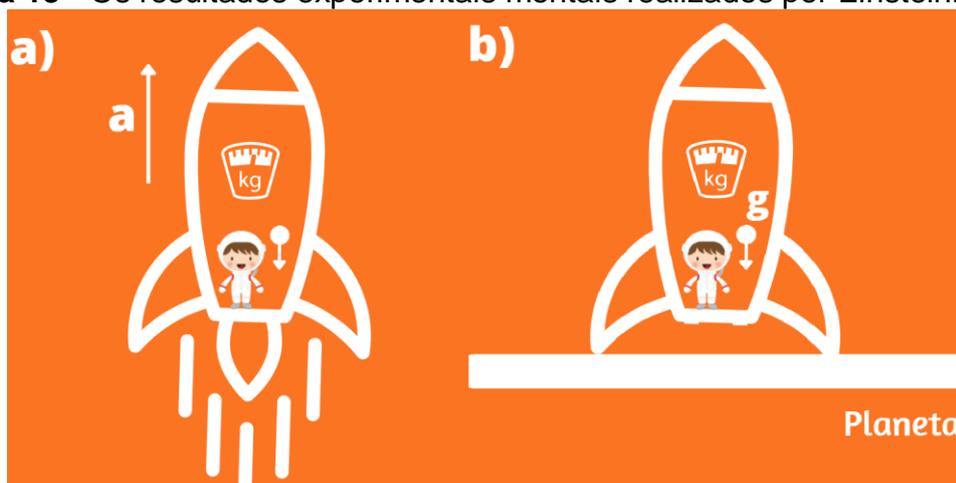
“Um campo gravitacional homogêneo é equivalente, sob todos os aspectos, a um referencial uniformemente acelerado.” (TIPLER e LLEWELLYN, 2010, p.61)

Esse mesmo princípio aparece de forma diferente na teoria de Newton, mecânica Newtoniana, em um campo gravitacional homogêneo, todos os corpos caem com a mesma aceleração  $g$ , independente da massa, como já citamos. Desse modo, a massa inercial refere-se a quão resistente um corpo é a uma mudança em seu estado de movimento, é a massa da segunda lei de Newton. Já a massa gravitacional está relacionada à medida da capacidade de um corpo de criar ou de reagir a um campo gravitacional, é a massa gravitacional da lei da gravitação universal. Na teoria de Newton, essa equivalência é apenas uma coincidência, porém, na teoria de Einstein, essa hipótese é parte importante de sua formulação.

Portanto, Einstein formulou que esse princípio se aplicaria a todos os experimentos de Física. Ele supôs que não existe nenhum experimento capaz de distinguir se o movimento uniformemente acelerado da presença de um campo gravitacional. De modo que, o princípio da equivalência estende o primeiro postulado de Einstein, o princípio da relatividade, a todos os referenciais, tanto os inerciais como os não inerciais, o que significa que é impossível determinar a aceleração absoluta de um referencial. Assim, a aceleração é como a velocidade, uma grandeza relativa. (TIPLER e LLEWELLYN, 2010)

É a essência do famoso experimento mental do foguete parado na superfície da Terra ou sendo acelerado com intensidade  $g$ . Uma pessoa no interior desse foguete, sem contato visual com o exterior, não poderia distinguir entre uma situação ou outra. A solução dessa questão passava por repensar o princípio de equivalência de Galileu, que Einstein formulou através do experimento mental do foguete, que está apresentado na Figura 13. Uma pessoa dentro de um foguete, sem contato visual com o exterior, não pode distinguir entre as duas situações a seguir: i) está parado na superfície da Terra ou ii) está em movimento com aceleração igual ao do campo gravitacional da Terra. Em outras palavras, não há distinção entre movimento inercial (foguete acelerado) e movimento sobre influência da gravitação (foguete parado). A ideia de Einstein para solucionar o problema da gravitação é ampliar o conceito de movimento inercial de forma a incluir a atração gravitacional nele. A forma com a qual ele conseguiu baseia-se na interpretação geométrica introduzida por Minkowski à teoria da relatividade especial.

**Figura 13** - Os resultados experimentais mentais realizados por Einstein.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Portanto, a Teoria da Relatividade Geral deve concordar com a relatividade especial na ausência de campos gravitacionais e, por outro, ela deve concordar com a gravitação newtoniana para campos gravitacionais fracos e baixas velocidades. Com isso, depois de muito trabalho o Einstein chegou às suas célebres equações de campo:

$$R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} g_{\alpha\beta} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\alpha\beta} \quad (3.32)$$

De forma resumida, a equação (3.32) engloba os seguintes conceitos (RIVELLES, 2006, apud COUTO; FERREIRA; SILVA FILHO, 2019):

- 1) a massa/energia é causadora da curvatura do espaço-tempo. Isto é, a geometria do espaço-tempo é determinada pela quantidade de matéria presente nele;
- 2) a curvatura do espaço-tempo determina o movimento da matéria. Isto é, a geometria do espaço-tempo determina como a matéria se move;
- 3) a gravitação é resultado da curvatura do espaço-tempo.

A partir da relatividade geral de Einstein, novas áreas de estudo surgiram, como, por exemplo, uma das soluções de suas equações traz a possibilidade da existência de estruturas extremamente densas chamadas de buracos negros, que recentemente, em 2019, foram observadas diretamente pela primeira vez. Outro exemplo é a possibilidade de que os astros poderiam atuar como telescópios naturais ou lentes gravitacionais, uma vez que suas massas curvam o espaço-

tempo, desviando a luz que passa próxima a eles (COUTO; FERREIRA; SILVA FILHO, 2019).

### 3.10 Buracos negros

Os estudos relacionados aos buracos negros vêm desde o século XVIII, mais precisamente no ano de 1784, com os teóricos Pierre Laplace (1749 - 1827) e John Michell (1724 - 1793), quando o físico teórico John Michell, postulou que:

Uma estrela com massa suficientemente compacta poderia ter um campo gravitacional tão forte que a luz não poderia escapar. Qualquer luz emitida pela superfície da estrela seria puxada de volta por uma atração gravitacional antes que conseguisse se afastar (FRANCHI; REIS; NETO, 2014, pág. 43).

John propôs a existência de estrelas invisíveis para o observador, as chamadas estrelas escuras. A estrela escura de John Michell é a versão newtoniana dos buracos negros previstos pela teoria relativística da gravitação de Einstein (MACHADO; TORT, 2016).

Nos trabalhos de John Michell e Pierre Simon Laplace referente as estrelas escuras, John Michell propôs a ideia de que haveria estrelas invisíveis para os observadores, chamadas de estrelas negras, pois nem a luz conseguiria escapar da força gravitacional gerada por elas e alguns anos mais tarde, após o trabalho de Michell ser publicado, o Marquês de Laplace, mais conhecido como Pierre Simon Laplace, publicou o seguinte enunciado sem apresentar nenhuma demonstração que:

A atração gravitacional de uma estrela com um diâmetro de 250 vezes o diâmetro do Sol e comparável em densidade com a [densidade] da Terra seria tão grande que a luz não poderia escapar da sua superfície. Os maiores corpos do Universo poderiam ser invisíveis por causa da sua magnitude [da velocidade de escape]. (MACHADO; TORT, 2016, S.P.).

Embora naquele período não tivessem êxito com os estudos sobre as estrelas escuras, tendo em vista que essas ideias iam contra a filosofia da época, anos depois alguns teóricos voltaram a pesquisar essas regiões do espaço. Naquela época, em torno de 1900 quando retomaram os estudos, não tínhamos comprovações experimentais e novamente esses estudos eram negados frente à comunidade científica.

Depois de 1900, os trabalhos que foram desenvolvidos para o entendimento dos buracos negros e dentre eles o estudo da teoria da relatividade geral de Einstein tentava provar para a comunidade científica a sua veracidade. Depois da expedição de Sobral em 1919 para medir a deflexão da luz sob a influência do campo gravitacional do Sol, a TRG ganhou mais atenção, mas também bastantes críticas. Por volta de 1920 até 1950, a teoria da relatividade geral teve pouco progresso, o que ocasionou a demora nos estudos referente aos buracos negros (ALMEIDA, 2020). Em contrapartida, os estudos da teoria quântica não tiveram obstáculos e estavam sendo desenvolvidos plenamente.

O primeiro artigo a argumentar em favor do colapso gravitacional foi apresentado pelos físicos Oppenheimer e Snyder, o qual retratava a contração gravitacional continuada. Contudo, na época os estudos realizados ficaram obsoletos, porque não podiam ser observados nem provados. Ainda assim, teóricos como o Eddington não pararam os seus trabalhos e descreveram em um experimento mental a contração gravitacional, em seu livro “A Constituição Interna das Estrelas”, de 1926.

Segundo os estudos realizados pelo físico Albert Einstein, na teoria da geral da relatividade, a formação de buraco negro é mais do que possível, é comum. Os buracos negros são um ponto de interesse para a relatividade geral, porque ela prevê a existência de objetos densos que distorcem a região do espaço-tempo, criando assim um campo gravitacional muito forte que nem a luz consegue escapar. (ALMEIDA, 2020)

Buracos negros é, provavelmente, a mais estranha consequência da relatividade geral. Embora essa solução descreva um buraco negro, tal consequência só foi entendida décadas depois (ALMEIDA, 2020). Um buraco negro é um local no espaço que a gravidade atrai tudo com muita intensidade, onde nem a luz consegue alcançar, e a gravidade é muito forte por conta da matéria comprimida em um espaço muito pequeno. Uma vez que a luz não consegue escapar dele, as pessoas não conseguem enxergar os buracos negros, logo, eles são quase imperceptíveis, porém, com a ajuda de telescópios espaciais e ferramentas especiais é possível encontrá-los e estas ferramentas permitem observar como

estrelas que estão perto dos buracos negros agem diferente das outras que estão afastadas.

Os buracos negros podem ser grandes ou pequenos, os cientistas acham que o menor deles pode ser tão pequeno quanto o tamanho de um simples átomo, porém, com uma quantidade de massa muito elevada, como a massa de uma grande montanha, por exemplo, devido a quantidade de matéria que está compactada nele. Já o maior buraco negro que se tem conhecimento, chamado de supermassivo, possui massa muito maior que a de 6,5 bilhões de sóis juntos e está localizado no centro da galáxia elíptica supergigante Messier 87. Cientistas afirmam que existe um buraco negro supermassivo no centro de cada galáxia. O buraco negro localizado na nossa via láctea é chamado de Sagittarius A\* e tem massa aproximada de 4 milhões de sóis, comparando com o M87 ele é 1600 vezes menor.

Uma observação importante sobre este tópico, é que não se pretende aqui discutir a teoria da relatividade com todas as suas demonstrações físicas e matemáticas, mas sim, mostrar a definição desta e de que forma se chegou aos conhecimentos que possuímos hoje acerca do conteúdo em questão.

Por muitos anos, os buracos negros não passaram de objetos teóricos, até que em 1971 descobriu-se o primeiro buraco negro físico em questão, que está localizado no centro da nossa via láctea, chamado de Sagittarius A\* e daí novas propriedades foram sendo descobertas e estudadas, até que em 2019, pudemos finalmente ter uma imagem de um buraco negro, o M87, que demonstrou um grande avanço científico e recentemente foi fotografado o segundo buraco Negro o Sagittarius A\*.

Os buracos negros são formados a partir do colapso de estrelas supermassivas que estão no estágio final de suas vidas. Para compreendermos melhor essa formação, vamos analisar as possíveis causas, a exemplo de quando as estrelas chegam a seu estágio final o seu combustível torna-se escasso, de modo que as forças gravitacionais compactam a estrela cada vez mais. E durante esse processo de compactação, conhecido como colapso gravitacional, o núcleo da estrela se aquece, e começa a fundir elementos, fusão nuclear, como o carbono e o ferro. Quando atinge esse estágio, o núcleo fica instável e sofre uma expansão violenta, esse processo dá origem a um supernova. Após a formação da supernova, há duas possibilidades:

1. Torna-se uma estrela de nêutrons, quando a estrela não é tão massiva, resulta em um pequeno núcleo superdenso, brilhante e extremamente quente, de poucos quilômetros de diâmetro e de densidade incrivelmente alta.
2. Torna-se um buraco negro, se caso a estrela seja supermassiva, o colapso gravitacional continua até que toda a matéria do núcleo estelar se confine em uma região extremamente pequena.

Portanto, para que exista a formação de um Buraco Negro, precisamos compreender que alguns requisitos devem ser cumpridos. De acordo com Bergmann (2017), precisamos assumir a fase vermelha de uma estrela e, a partir deste momento, podemos ter três possibilidades. Na Figura 14, temos a relação entre as massas iniciais das estrelas e os seus destinos, definindo três percursos diferentes de evolução:

**Figura 14** - Esquema simplificado da formação dos buracos negros.



**Fonte:** Adaptada de Schinzel, 2021.

Dessa forma, para que exista a formação de um Buraco Negro, a massa de uma estrela em sua fase vermelha deve ser pelo menos cinco vezes maior que a massa do nosso Sol e que, após se transformar em supernova, ainda reste um resíduo cuja massa é de  $2M_{\odot}$ . Caso a supernova não forneça um carão, a matéria da estrela servirá de matéria prima para a geração de novas estrelas através de uma nebulosa (SCHINZEL, 2021). Até o momento, os cientistas identificaram três tipos de

buracos negros: buracos negros estelares, buracos negros supermassivos e buracos negros intermediários.

Os buracos negros estelares são aqueles formados a partir do colapso de uma estrela grande, que continua a se comprimir até formar um buraco negro estelar. Esse tipo de buraco negro é relativamente pequeno, porém, possui densidade bem elevada, pois eles se alimentam de gases e poeira de seus arredores e, com isso, vão crescendo de tamanho e densidade.

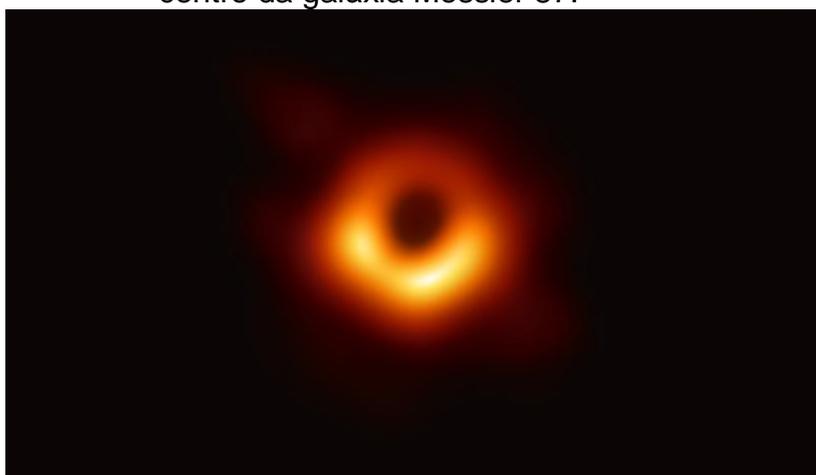
Os buracos negros supermassivos, são os maiores buracos negros do universo, e possuem massa milhões ou bilhões de vezes maior que a do nosso sol. No entanto, possuem quase o mesmo diâmetro. Cientistas afirmam e acreditam que no centro de toda galáxia, existe um buraco negro supermassivo, incluindo a nossa via láctea, o qual se chama de Saggitarius A\*. Não se tem certeza de como esses buracos negros se formam, porém, sabe-se que eles crescem acumulando gases e poeira que são bem abundantes no universo, absorvendo buracos negros menores e até alguns conjuntos de estrelas. Com isso, crescem de tamanho. Especula-se, ainda, que estes buracos negros podem surgir a partir de um aglomerado de matéria escura, porém, ainda não se possui muito conhecimento acerca disso.

Os cientistas acreditavam que existiam apenas buracos negros pequenos e supermassivos, porém, algumas pesquisas levaram a possibilidade da existência dos buracos negros médios e que podem ser formados através de um conjunto de estrelas que se chocam em uma reação em cadeia, e especula-se que se vários desses se formarem na mesma região, estes podem se fundir entre si, formando um buraco negro ainda maior, podendo até originar um buraco negro supermassivo. Especula-se também que estes possam existir no centro de galáxias pequenas, assim como os supermassivos nas grandes galáxias.

O horizonte de eventos é a região do buraco negro em que nenhuma partícula consegue escapar ao infinito e é impossível para um observador externo conseguir ver dentro deste. A força gravitacional nessa área é tão forte, que nem a luz consegue mais escapar dessa região, pois a velocidade dela é inferior a velocidade de escape do buraco negro, e pela teoria da relatividade de Einstein, se nada pode superar a velocidade da luz no vácuo, logo, nada consegue escapar de lá. Toda a massa que é sugada pelo horizonte de eventos vai para uma região do buraco negro que é denominada singularidade, a qual discutiremos posteriormente.

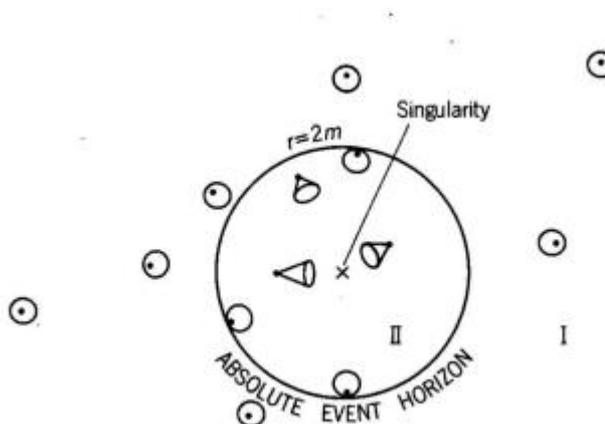
A imagem da Figura 15 é um compilado de dados e tabulações de acordo com um algoritmo produzido pela cientista Katie Bouman e retrata uma foto que é, com certeza, um grande avanço das fronteiras no estudo dos Buracos Negros. Os buracos negros são formados por duas “camadas”: O horizonte de eventos e a singularidade, como mostra a Figura 16.

**Figura 15** - Primeira foto de um buraco negro tirada no ano de 2019 localizado no centro da galáxia Messier 87.



Fonte: Revista eletrônica de jornalismo científico: ComCiência, 2021.<sup>5</sup>

**Figura 16** - "camadas" do buraco negro.



Fonte: R. D'Inverno - Introducing Einstein's Relativity, Oxford University Press, 1998.

A singularidade de um buraco negro é uma região deste em que todas as leis da Física param de ser válidas, ou seja, não se aplicam nessa determinada região,

<sup>5</sup> Disponível em: <https://www.comciencia.br/contribuicao-dos-buracos-negros-para-teoria-da-relatividade-geral/> Acesso: 04/02/2021

pois nessa região, densidade, gravidade dentre outras grandezas, tendem ao infinito e equações com infinitos deixam de fazer sentido, daí as singularidades do espaço-tempo dessa região. É nessa região onde toda a massa é concentrada, e sabemos que a massa é diretamente proporcional a densidade, e como a densidade nesse ponto tende ao infinito, tudo aumenta e todas as equações se utilizam dessa grandeza não mais funcionam, conforme já explicado acima.

Diante do exposto acima e tendo em vista do grande número de equações que são necessárias para a compreensão e entendimento mais aprofundado acerca do tema buracos negro, como poderíamos ministrar tal conteúdo para educandos do ensino médio? O tema pode ser trabalhado dentro de outros temas que estão inseridos e diretamente ligados no contexto em questão, conteúdos presentes na Física moderna, como por exemplo, teoria da relatividade restrita, Física de partículas e mecânica quântica, conforme aponta Bernades (2014, p. 02).

Para se trabalhar tais conteúdos, visto seu grau de dificuldade, além de, muitas vezes os mesmos não estarem incluídos nos currículos escolares, pretende-se trabalhar estes, por meio de sequências de ensino que promovam uma aprendizagem autônoma para o educando, e para isso, será trabalhado os conhecimentos prévios (conhecimentos já presentes em sua estrutura cognitiva) dos educandos sobre o tema abordado, para em seguida, corrigir o que for necessário e melhorá-los, para que estes passem a fazer sentido para eles e que vejam que o uso de tais conhecimentos está tão próximo deles quanto possam imaginar e com isso, preparar esse educando para o trabalho e exercício da cidadania.

Em se tratando do ensino de Física, especificamente, e sua importância no ensino-aprendizagem dos educandos, Menezes (2000), acrescenta ainda que “[...] Em outras palavras, interessa sim que o aluno aprenda Física, mas interessa também que, juntamente aprenda os instrumentos gerais que acompanham o aprendizado da Física”.

## 4 METODOLOGIA

Neste capítulo, descreveremos a metodologia da pesquisa, a qual tivemos como objetivo principal, verificar a eficácia da metodologia ativa de aprendizagem baseada em problemas no ensino de Física para o estudo da relatividade. Considerando a aplicação dessa proposta, apresentamos a sequência didática seguindo a estratégia dos sete passos para a ABP, utilizando-se dos mais diversos materiais disponíveis, por exemplo: documentários, vídeos, sites, artigos, blogs, simuladores entre outros. Assim como utilizamos várias estratégias de ensino que pudessem ser implantadas na sequência de ABP para que fosse possível abordar os conceitos da teoria da relatividade sem fugir da metodologia proposta.

Desse modo, para atingir os objetivos deste trabalho, o estudo se deu a partir da pesquisa qualitativa, que de acordo com o autor Firestone, (1957 apud Moreira, 2003), a pesquisa qualitativa tem raízes em um paradigma, segundo o qual a realidade é socialmente construída. Embasado nesta abordagem, analisou-se a aplicação de uma sequência de ensino utilizando a metodologia ativa, realizando um estudo de caso. Ainda de acordo com Triviños (1987), a pesquisa qualitativa busca compreender e analisar a realidade, possibilitando ao mesmo tempo compreender as atividades de investigação que podem ser específicas do estudo e identificar os traços comuns presentes nos dados e que podem responder ao questionamento da pesquisa.

Esta pesquisa também tem um caráter exploratório, o qual, conforme Gil (2008) traz como principal objetivo a aprimoração de ideias ou descobertas de intuições. Dessa forma, na pesquisa exploratória busca-se a familiarização com assunto que ainda é pouco conhecido, ou seja, pouco explorado. Nesse sentido, o presente estudo visou analisar a aplicação de um produto educacional com a metodologia ABP, deixando explícito que nosso principal objetivo é analisar a proposta de metodologia ativa.

Então para coleta de dados a pesquisa recorreu-se a um questionário semiestruturado aplicado para os estudantes que participaram da aplicação dessa sequência de ensino com o intuito de avaliar a metodologia ativa ABP.

Também fizemos uso de um diário de bordo que é utilizado na metodologia de ABP, sobre a perspectiva de Zabalza (1994), é um espaço designado para registros,

anotações e reflexões individuais sobre um determinado processo de aprendizagem. De acordo com o autor (2004, p. 11): “Os diários contribuem de uma maneira notável para o estabelecimento dessa espécie de ciclo de melhoria capaz de nos introduzir em uma dinâmica de revisão e enriquecimento de nossas atividades como professores e/ou estudantes”.

#### **4.1 Escola para a realização da intervenção**

A instituição escolhida para aplicação da proposta foi uma Escola Cidadã Integral, instituição em que a pesquisadora trabalha atualmente. A escolha levou em consideração que o trabalho com a ABP é uma metodologia ativa voltada para que os estudantes exerçam o seu protagonismo frente às situações que podem presenciar ao longo dos seus estudos pós ensino médio, assim como em sua vida pessoal ou até mesmo em seu ambiente de trabalho futuramente. Portanto, o envolvimento que a pesquisadora já tem com a escola e com a turma escolhida corroborou para uma melhor elaboração e implementação da Proposta de Intervenção.

#### **4.2 Público-alvo**

A sequência de ensino foi aplicada em uma turma de Ensino Médio da 2ª ano, no 4º bimestre do ano letivo, no ensino remoto, a turma é composta por trinta e três (33) alunos, com faixa etária de quinze (15) a dezenove (19) anos. Os estudantes matriculados são constituídos por moradores da zona urbana e zona rural, pertencentes a uma escola da rede pública de ensino, cursando o nível médio de ensino na modalidade integral. Justificamos a escolha por uma turma de segundo ano pelo fato de que os estudantes, nesse nível escolar, além de possuírem mais maturidade no Ensino Médio, não estão passando pela fase de preparação para vestibulares ou Enem.

#### **4.3 Elaboração da proposta de intervenção**

Tendo como alicerce a metodologia de ensino ABP, iniciamos a elaboração da proposta a ser utilizada nos seguintes pontos, a escolha do tema que seria abordado em nossas aulas: a Teoria da Relatividade e os Buracos Negros como motivação. A escolha do tema se deu por meio das observações feitas pela professora, visto que esse assunto é mantido nos últimos capítulos dos livros didáticos no 3º ano do ensino médio e devido o tempo relacionado aos dias letivos e a preparação dos estudantes para a realização dos vestibulares, muitas vezes não é apresentado para os estudantes desta fase com detalhes mais pontuais. Outro critério estabelecido para a escolha do tema foi por ser um conteúdo que apresenta muitos conceitos físicos envolvidos. Além disso, pela importância que o conteúdo assume dentro do currículo de Física para os estudantes matriculados no Ensino Médio. Segundo Schwartz (1992), assim como as sinfonias de Beethoven e os quadros de Monet, a Teoria da Relatividade é um dos marcos culturais mais significativos do Ocidente (SCHWARTZ, 1992, p. 19).

Na elaboração dos problemas motivadores, que foram criados pela pesquisadora, levou-se em conta um cenário fictício para abordar os assuntos escolhidos. Os problemas foram montados de modo a contemplar a rotina dos sete passos, tomamos todo um cuidado para que não tivesse um problema fora de contexto. Dentro da construção do problema, fomos cautelosos para que esse problema não fosse muito fácil de solucionar, a ponto de os estudantes resolverem sem que precisassem passar pela rotina dos sete passos, que é o essencial no método de ABP.

A estrutura da proposta de intervenção foi elaborada no formato de guia didático (sequência de ensino), tendo em cada tema um problema motivador para ser abordado com os estudantes. Ao longo da sequência, vamos utilizar várias estratégias metodológicas dentre elas podemos citar: contrato de aprendizagem, diário de bordo, estudo de caso e *Brainstorm* que já está inserido no ciclo de ABP. A utilização das estratégias e da metodologia em ABP, tem a finalidade de ajudar os estudantes a construir os seus conceitos sobre os conteúdos a serem abordados em cada situação problema, bem como em ajudá-los a ir em busca de conhecimentos.

#### **4.4 A intervenção**

A proposta de intervenção didática foi desenvolvida durante doze (12) encontros, totalizando vinte e quatro (24) aulas, distribuídas em quatro grandes temas.

A proposta de intervenção teve dois (2) momentos, no primeiro momento procuramos inserir e informar o estudante de sua nova postura como o ser protagonista dentro da metodologia de ensino ativa. Já no segundo momento, utilizou-se o aporte teórico embasado na metodologia de ensino e aprendizagem baseada em problemas, assim como fizemos uso da plataforma de ensino do Google Classroom como suporte para alguns passos dentro dessa proposta. Diante disso, apresentamos aos estudantes os problemas em ABP, os quais eles iriam estudar e pesquisar. O primeiro estava relacionado com os estudos dos buracos negros e suas características, já o segundo, buscava compreender conceitos iniciais para se entender a teoria da relatividade, enquanto o terceiro, buscava a compreensão dos conceitos referente aos postulados de Einstein, a contração do espaço, a dilatação do tempo e a singularidade.

1º Momento: Preparação da turma para aplicação da proposta. Esse momento foi elaborado para que na aula houvesse uma explanação sobre a funcionalidade da metodologia em ABP, além de uma explicação mais aprofundada sobre os novos papéis de professores e estudantes. Este momento foi dedicado para mostrar para aos estudantes o desenvolvimento das próximas aulas utilizando o método dos setes passos, ciclo em ABP. Também foi pensado em firmar o contrato de aprendizagem utilizando a plataforma do Google Classroom (onde tinha todo o material). Por fim, separamos um momento para a divisão dos grupos tutoriais, e a apresentação dos diários de bordo individual e em grupo.

2º momento: Aplicação dos problemas em ABP. Neste momento tivemos três problemas a serem aplicados de acordo com a metodologia em ABP, o primeiro seria dividido em duas etapas e o segundo e terceiro seguiam normal.

1º parte: Aplicação do primeiro problema em ABP, o problema foi dividido em 2 momentos, por ser muito extenso. O primeiro problema foi pensado para ser feito a aplicação do ciclo em ABP até o quinto passo como vimos no referencial teórico, o ciclo em ABP tem setes passos, em sala de aula (reunião no Google Meet), guiamos os estudantes para contemplar os 5 passos, o sexto passo é o momento extraclasse onde os estudantes iriam pesquisar mais sobre o tema proposto e visitar os materiais disponíveis no Google Classroom (materiais separados pela professora

tutora) para conseguir finalizar problema e procurar elucidar as suas eventuais dúvidas sobre o problema. Os conceitos físicos envolvidos no problema foram relacionados à estrela escura, especificamente: morte das estrelas, história dos buracos negros. Posteriormente, os estudantes contemplaram o sétimo passo em ABP que é a finalização do ciclo em ABP. Como não é possível trabalhar todos os conceitos que necessitamos estudar para compreender os buracos negros, foi necessário fazer uma nova leitura do problema. Neste segundo momento, iniciou-se a rotina dos sete passos, norteando os estudantes para averiguar as características de um buraco negro, os conceitos físicos envolvidos no problema foram relacionados aos buracos negros, especificamente: disco de acreção, densidade, massa, carga elétrica, momentum angular, horizonte de eventos.

2ª parte: Aplicação do segundo problema em ABP. Esse momento foi elaborado para a realização dos trabalhos com o 2º problema em ABP, usados em 3 encontros. Os conceitos físicos envolvidos nesse problema foram relacionados à teoria da relatividade, especificamente: conceitos iniciais da teoria da relatividade, investigar os estudos realizados pelo físico Galileu Galilei e pelo Newton. Assim como analisar o abandono do éter e entender as quebras de paradigma que ocorriam naquela época do surgimento da teoria da relatividade. Esse momento foi estruturado de modo a contemplar um encontro (reunião pelo google Meet) para a explanação do problema intercalados por um momento extraclasse e mais dois encontros em sala de aula.

3º parte: Aplicação do terceiro problema em ABP e a apresentação do filme interestelar. Esse momento foi elaborado para a realização dos trabalhos com o 3º problema em ABP, usados em 3 encontros. Os conceitos físicos envolvidos no problema foram relacionados à teoria da relatividade, especificamente: conhecer os dois postulados de Einstein para a relatividade restrita aplicar os postulados de Einstein para discutir eventos simultâneos e a medida do intervalo de tempo por dois observadores em referenciais inerciais em movimento relativo. Esse momento foi estruturado de modo a contemplar um encontro (reunião pelo google Meet) para a explanação do problema intercalados por um momento extraclasse e mais dois encontros em sala de aula.

Os materiais utilizados nesta proposta de intervenção foram criteriosamente considerados, desde a formulação dos problemas. Os materiais disponíveis auxiliaram os estudantes a realizarem estudos extracurriculares, para isso,

disponibilizamos links para vídeos do YouTube, artigos e livros. Os materiais de apoio ficaram disponíveis na plataforma de sala de aula do Google, bem como em um grupo de WhatsApp, que é o meio de comunicação para os alunos acessarem o material. Além dos materiais de apoio, foram realizadas atividades extracurriculares com o objetivo de fazer o levantamento do uso dos materiais disponíveis pelos alunos, bem como avaliar sua assiduidade em relação ao uso de documentos. Essa é uma estratégia para envolvê-los na pesquisa e trazer para a aula suas dúvidas e também para compartilhar seus conhecimentos com seus colegas, ou outros grupos, bem como com o restante da turma.

Dentro do universo dos alunos que estavam participando do ensino remoto, neste período de aplicação em que a escola estava em regime híbrido, cumprindo o regime proposto pela Secretaria de Educação da Ciência e Tecnologia da Paraíba por causa da pandemia da COVID-19, tivemos um total de 12 (doze) estudantes do segundo ano participando, formando assim 3 grupos tutoriais com 4 (quatro) componentes.

Com relação aos grupos tutoriais que foram formados, a proposta era de que tivéssemos grupos bastante diversificados com relação as características dos estudantes. Portanto, foram formados 3 grupos com 4 componentes com as seguintes características.

#### Grupo 1:

E1: Tinha características de um aluno atento, extrovertido, fala muito bem e lidera os colegas. Tem um desempenho considerável, dedicado às atividades, atento durante as aulas, demonstrava um entendimento relativo aos assuntos trabalhados. Possuía desempenho considerado ótimo.

E2: Tinha características de uma aluna atenta, dedicada e estudiosa, demonstra entendimento dos conceitos, apesar de ser bastante introvertida e não interagir (ao menos que fosse diretamente questionada). Possuía desempenho considerado muito bom.

E3: Tinha características de uma aluna atenta, dedicada e estudiosa, tinha um conhecimento limitado aos conceitos (por não se identificar com a área de exatas), apesar de interagir bem com o grupo, realizar todas as atividades e ser dinâmica. Possuía um desempenho considerado bom.

E4: Tinha características de uma aluna muito extrovertida, demonstrava facilidade em entender os conceitos e em resolver os problemas, porém sua falta de

atenção às explicações lhe trazia empecilhos. Realizava boa parte das atividades e interagia nas aulas. Era uma aluna considerada regular em termos de desempenho.

#### Grupo 2:

E5: Tinha característica de um aluno muito sério, estudioso e dedicado, demonstra facilidade em entender conceitos e até resolver problemas. Buscava fazer as atividades propostas com empenho mediano. Era um aluno considerado bom em termos de desempenho.

E6: Tinha características de ser uma aluna atenta, dedicada e estudiosa, porém demonstrava pouco entendimento com relação aos conceitos apresentados, apesar de ser muito participativa e dedicada com as atividades propostas. Era uma aluna considerada muito boa em termos de desempenho.

E7: Tinha características de ser uma aluna atenta, dedicada e estudiosa, porém demonstrava um entendimento considerável com relação aos conceitos apresentados, apesar de ser muito pouco participativa era dedicada com as atividades propostas. Era uma aluna considerada boa em termos de desempenho.

E8: Tinha característica de ser uma estudante pouco motivada, porém era dedicada a estar presente nas aulas e em realizar as atividades propostas. Não conseguia compreender bem os conceitos, mas estava sempre buscando melhorar. Era uma aluna considerada regular em termos de desempenho.

#### Grupo 3:

E9: Tinha características de ser uma aluna exemplar em termos de comportamento, demonstrar facilidade em manipular equações de forma coerente e organizada e possuir raciocínio rápido, porém se via ocupada com as suas atividades de estagiária e não disponha de tempo para realizar todas as atividades que eram propostas e não participava de todos os encontros. Seu desempenho era considerado muito bom.

E10: Tinha característica de ser uma aluna muito tímida, não participava ativamente das aulas (apenas se fosse questionada), participava parcialmente dos encontros, porém realizava boa parte das atividades. Seu desempenho era considerado regular.

E11: Tinha características de ser uma aluna que tem um comportamento muito bom, sempre tentava fazer as atividades que lhes eram propostas e interagir bem com seus colegas de sala, mostrar bastante vontade de aprender, porém apresentar muita dificuldade. Seu desempenho era considerado não satisfatório.

E12: Tinha características de uma aluna muito ativa, ser extrovertida, estudiosa, falar muito bem e liderar os colegas. Apesar de não ser questionadora durante as aulas, tinha a vontade de ir em busca de informações. Apresentava dificuldades, aparentemente, devido à falta de estudos. Possuía desempenho considerado muito bom.

Como foi indicada na literatura revisada, a metodologia em ABP exige que a organização dos estudantes por equipes sejam feitas de um modo que os estudantes organizem os grupos bem variados e que cada componente tenha uma função dentro do grupo tutorial. Diante do exposto, podemos ver que a recomendação de diversificar os grupos tutoriais, foi seguida.

#### **4.4.1 Avaliação da proposta**

A avaliação da proposta se deu através da observação e do diário de bordo realizado pela tutora durante todos os encontros com os grupos tutoriais, através da comparação das atitudes e comportamentos dos estudantes individuais e do grupo tutorial. Comparando as aulas convencionais na qual o professor é o que mais atua em sala de aula, com a nova metodologia a qual os estudantes são ativos no processo de aprendizagem.

Para a avaliação, também utilizamos a avaliação entre os pares e a autoavaliação, pois durante os fechamentos de nossos encontros, os estudantes eram orientados a fazerem a avaliação de seus pares e sua própria avaliação com relação ao seu desempenho nas atividades realizadas, essa avaliação de pares era realizada de acordo com a instrução da tabela que está disponível no google drive<sup>6</sup>.

#### **4.5 Coleta de dados (observações da intervenção e questionário)**

A coleta de dados para a análise foi obtida a partir de dois momentos: o primeiro deles, relativo ao produto educacional. Para esta fase, fizemos um diário de bordo no qual gerou um material escrito de observação, onde está descrito a

---

<sup>6</sup> Link para acesso a tabela de avaliação individual e dos pares:  
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1MEBfvMbxW3GDZHPzmLPpuerEcl4GD11v/edit?usp=sharing&ouid=103049323184860137386&rtpof=true&sd=true>

participação dos estudantes durante a intervenção. Foi um instrumento primordial para obtermos grande parte dos resultados de nossa pesquisa. Durante a intervenção, pudemos verificar a mudança dos estudantes e a possível aceitação do método de ensino utilizado. Os aspectos que observamos foram as dificuldades, interesses e posicionamentos mediante a abordagem utilizada, bem como a evolução apresentada pelos estudantes com relação aos conceitos abordados em sala, durante a aplicação do produto educacional.

O segundo momento foi a aplicação do questionário<sup>7</sup> (Apêndice A), que tinha como objetivo sondar em que medida a metodologia da ABP em suas visões favoreceram ou dificultaram o processo de ensino aprendizagem dos conceitos da Física. Esse questionário foi dividido em 4 etapas: a) buscamos fazer um levantamento sobre os educandos, b) a segunda parte em buscamos a opinião dos estudantes sobre a dinâmica dos momentos, incluindo, obviamente, a participação ativa, o trabalho em grupo e a solução de problemas e se o estudante foram capazes de adquirir conhecimentos através da metodologia ABP nos tópicos que foram abordados e como eles agiram diante da metodologia, c) Buscamos verificar se os estudantes conseguiram ter aderência ao método ABP, assim como suas opiniões sobre a aplicação da proposta como um todo, sondamos suas posições quanto à exigência de participação, a forma como o processo de ensino foi desenvolvido - utilizando problemas e desenvolvendo habilidades, trabalhando em grupo - e finalmente, se trabalhar utilizando problemas no formato ABP ajudou a compreender assuntos da Física e d) Buscamos verificar as dificuldade e facilidades que os estudantes tiveram com relação aos temas trabalhados.

---

<sup>7</sup>Link para acesso ao questionário:  
[https://docs.google.com/forms/d/1kCY1wksStpWSYPlvcfCc8LyY46-YXZPXrYELzLN0V1E/viewform?edit\\_requested=true](https://docs.google.com/forms/d/1kCY1wksStpWSYPlvcfCc8LyY46-YXZPXrYELzLN0V1E/viewform?edit_requested=true)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para este capítulo, nos concentramos a responder nossas questões de pesquisa, as quais norteiam este trabalho. Descrevemos os resultados obtidos durante a aplicação da sequência de ensino (Produto Educacional), resultados estes que foram obtidos durante as duas etapas que consiste este trabalho, já descritas no capítulo introdutório. Para a análise da intervenção, vamos fazer o relato em três partes. A cada intervenção foi apresentado um problema motivador.

### 5.1 Análise da intervenção com uso da metodologia ativa ABP.

#### 5.1.1 Relato da intervenção I

Inicialmente, apresentamos para os estudantes como iriam ocorrer os nossos próximos encontros, 4º bimestre, utilizando a metodologia de ensino em ABP. Foram apresentados para os estudantes a nova metodologia que iriamos utilizar, com todos os seus requisitos, como a postura dos estudantes e do professor, o clique em ABP, os 7 passos que compõem o ciclo, como iria ser a formação dos grupos tutoriais, como cada componentes do grupo iria se comportar em relação ao grupo com suas respectivas tarefas, assim como foi apresentado para os estudantes os diários de bordo individual e o do grupo, como mostra a Figura 17.

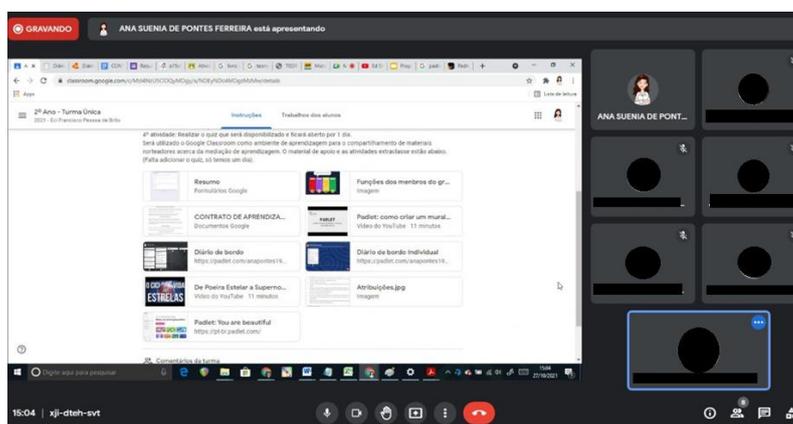
**Figura 17 - Apresentação do desenvolvimento das aulas**



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Em seguida, apresentamos para os estudantes o nosso contrato de aprendizagem, que é uma estratégia de ensino. O contrato ficou disponível para os alunos fazerem a assinatura na plataforma do Google Classroom e firma o nosso compromisso com as aulas. Após isso, chegou o momento da divisão dos grupos tutoriais, então foi explicado para os estudantes a importância de se trabalhar com grupos mais diversificados, pois no mercado de trabalho eles não escolhem os seus companheiros. Visto isso, neste mesmo encontro fizemos a divisão dos grupos, como temos na Figura 18. Percebemos que após a apresentação da proposta, os estudantes se apresentaram bastante empolgados e interessados, porém estavam com muitas dúvidas, como também se mostraram participativos durante o encontro.

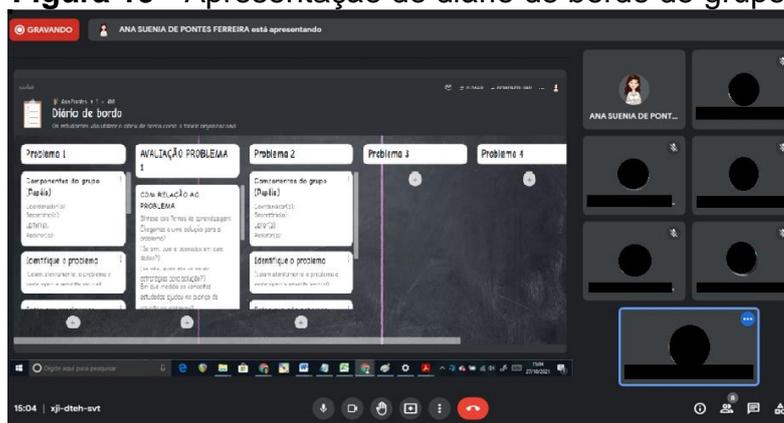
**Figura 18** - Apresentação dos materiais na plataforma do Google Classroom



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Dando seguimento a nossa proposta, foi apresentado para os estudantes os diários de bordo, o individual e o do grupo, que está na Figura 19. Neste diário, eles deveriam anotar todas as etapas que iriam seguir para a realização dos problemas que viriam a ser apresentados, assim como as atividades que cada um ficaria responsável. Com isso seriam feitas as anotações no diário de bordo individual. Neste momento, os estudantes tiveram bastantes dúvidas, porém conseguimos saná-las e orientá-los a como manipular o documento online, como o diário já estava pronto foi postado um link no *google classroom* com o documento e postado um vídeo do *youtube* com o tutorial para que eles assistissem e tirassem todas as dúvidas sobre o *padlet* e em seguida fizessem uma clonagem para as suas contas, essa foi a primeira atividade voltada ao assunto.

**Figura 19** - Apresentação do diário de bordo do grupo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022..

Seguindo a nossa intervenção, chegou o momento da apresentação do primeiro problema motivador. No entanto, antes apresentamos aos estudantes a função de cada um dentro do grupo tutorial e pedimos para que eles definissem os seus cargos, que eram: Coordenador, Secretário, Leitor e Redator. A partir desse momento, os estudantes voltaram a atenção para o problema motivador. Posteriormente, os estudantes foram direcionados para salas em reuniões separadas utilizando o provedor do mozilla Firefox, porém nesta aula não tivemos êxito, pois o computador não suportou a quantidade de abas abertas e travava muito, esse foi um ponto negativo, não testamos antes. Neste momento não foi possível dar seguimento e esperamos para o próximo encontro.

Dando sequência a nossa proposta, conseguimos contratar na plataforma do Google Workspace uma ferramenta que nos auxiliou bastante, a sala temática. Nela tínhamos a possibilidade de separar os estudantes em grupos em uma mesma chamada. Desse modo, foi possível dar seguimento a nossa proposta, com todos os estudantes alocados em seus respectivos grupos, foi possível apresentar o problema motivador que é mostrado na Figura 20.

**Figura 20 - Primeiro problema motivador: Buracos Negros**

**PROBLEMA** 

Os estudantes da ECI Francisco Pessoa de Brito montaram um grupo de pesquisa para observação noturna, o clube de protagonismo: **DESVENDANDO ENIGMAS**; O grupo é responsável pela pesquisa e desenvolvimento da exploração espacial da região de Araçagi-PB e tem a finalidade de criar programas e missões para explorar o universo através de tecnologia de ponta – foguetes, satélites, robôs e etc. Sua missão é "fomentar o futuro na pesquisa, descoberta e exploração espacial". Em uma de suas observações identificaram uma região bem escura que dista cerca de 3.500 anos luz da terra, decidiram então nomear essa região como V616 Monocerotis, após algumas pesquisas conseguiram encontrar algumas informações sobre a região, e descobriram que um físico teórico já tinha falado sobre tal região e que tinha chamado de "estrela escura" e que elas são resultado de um colapso gravitacional, uma das características dessa região é que ela é a deformação do espaço-tempo e que o seu poder é tão grande que a luz não consegue escapar, de acordo com o Albert Einstein. Para que possam desmistificar e a ajudar na divulgação da ciência atual esse grupo de pesquisadores vai à busca de mais informações. Sua primeira missão é explorar essa região, com a equipe unida os estudantes têm que apresentar e explicar para a comunidade escolar o que é essa região, porque elas se formam dentre outras características que eles possam apresentar.

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

De posse do problema, os estudantes iniciaram o ciclo em ABP, fizeram a leitura e observaram alguns conceitos. Esse foi o primeiro passo, neste momento os estudantes solicitaram a ajuda da tutora, uma vez que não conseguiam dar continuidade. Logo, foram orientados a reler o problema, retirar dele frases e conceitos, a que eles não conhecem e as que já compreendiam. Com o diário de bordo em mãos, cada grupo organizou os conceitos que não conheciam e os que já conheciam, citaram:

Conceitos que já conheciam:

G1 e G2: "Anos luz"

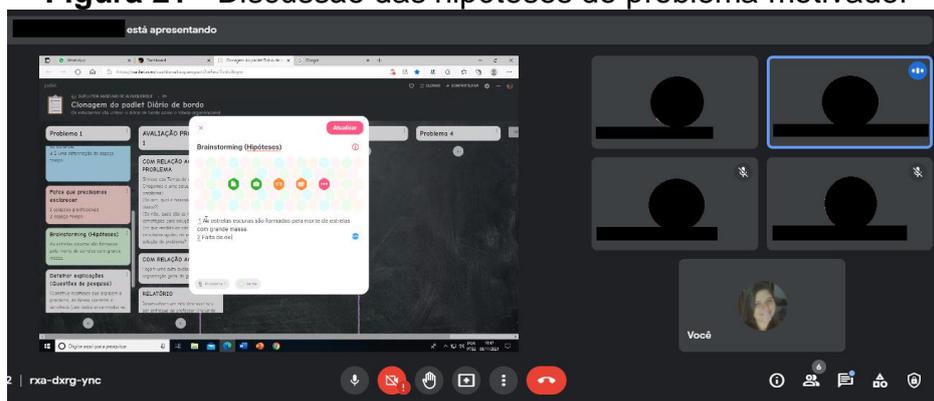
Conceitos que não conheciam:

G1, G2 e G3: "A região da qual os pesquisadores pretendem explorar V616 Monocerotis", "Estrela escura", "Colapso Gravitacional", "Porque a luz não é visível nessa estrela", "É possível um robô habitar essa estrela para a exploração", "Colapso gravitacional, como ocorreu o colapso que deu origem a estrela escura", "Quais as características da estrela escura".

Seguindo, os grupos tutoriais ainda precisavam encontrar a ideia central do problema motivador. Neste momento, eles tiveram certa dificuldade, até então compreensível, porque era o primeiro contato deles com a metodologia. Mas eles conseguiram entender que a ideia central era a "estrela escura=buracos negros". Após isso, os grupos foram orientados a formularem hipóteses/afirmações sobre o contexto do problema, e surgiram as seguintes afirmações: "Os buracos negros são formados por colapsos gravitacionais", "toda galáxia tem um buraco negro", "O colapso acontece por conta da forma da estrela". A partir desse momento, os grupos

se juntaram e discutiram sobre essas observações que eles acreditavam. Com isso, nesse primeiro momento os estudantes foram orientados a fazerem a distribuição das atividades autodirigidas, eles iriam pesquisar sobre os conceitos que eles não conhecem como é mostrado na Figura 21

**Figura 21 - Discussão das hipóteses do problema motivador**



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Em nosso próximo encontro com os grupos já divididos, pudemos fazer as discussões sobre o que eles pesquisaram. A partir dessas conversas entre os grupos tutoriais, eles se reuniram e fizeram um mini relatório para ser apresentado aos grupos. Esse mini relatório junto com os cartazes foram apresentados no fechamento do problema motivador. Para esse problema motivador, foi necessário dividir em duas partes.

Na segunda parte para a resolução do primeiro problema motivador, os estudantes se ocuparam em responder as características dos buracos negros. Como já tinham feito pesquisas sobre os buracos negros e estudado os materiais que estavam disponíveis na plataforma que usamos para as atividades, eles já estavam mais conscientes do que iriam fazer. Neste momento, fizeram a releitura do problema e deram seguimento aos conceitos que precisavam compreender. Com o diário de bordo em mãos eles organizaram os conceitos que não conheciam e os que já conheciam, neste momento os grupos citaram:

Conceitos que já conheciam:

*G1, G2 e G3: “Buracos negros”, “colapso gravitacional”, “a origem dos buracos negros”, “nem a luz consegue escapar de um buraco negro”*

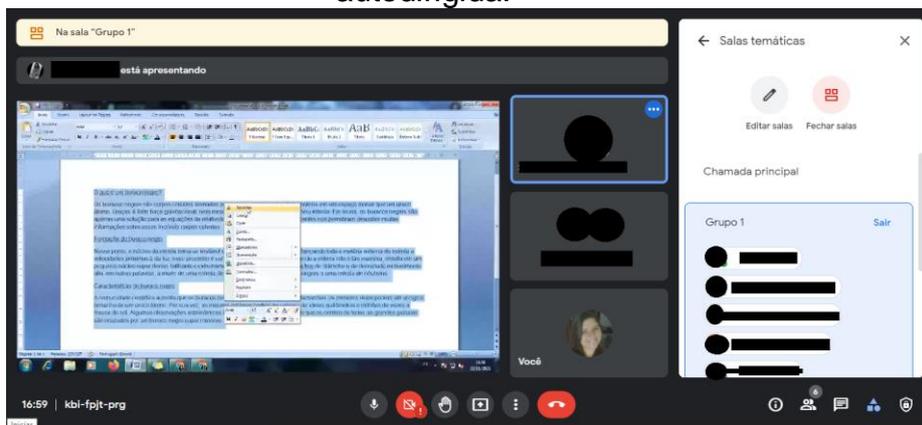
Conceitos que não conheciam: Neste momento os estudantes necessitaram de uma ajuda, então pontuamos algumas questões para que esses pesquisassem.

G1, G2 e G3: *“Singularidade”, “O horizonte de eventos”, “O que acontece com objetos que se aproximam de um Buraco Negro”, “Os buracos negros se movem”, “Efeito espaguetificação”.*

Seguindo, os grupos tutoriais precisavam encontrar a ideia central do problema motivador. Neste momento, eles já compreendiam que estavam explorando os conceitos referentes aos buracos negros. Nessa etapa, conseguiram entender que a ideia central era *“as características dos buracos negros”*. Após isso, os grupos foram orientados a formularem hipóteses/afirmações sobre o contexto do problema e surgiram as seguintes afirmações: *“quais as características dos buracos negros”, “Porque objetos não podem se aproximar dos buracos negros”, “O que é o espaço tempo”, “Será que os Buracos negros crescem”*. A partir desse momento, os grupos se juntaram e discutiram sobre essas observações que eles acreditavam. Com isso, neste momento os grupos foram orientados a fazerem a distribuição das atividades autogeridas, eles iriam pesquisar sobre os conceitos que eles não conhecem.

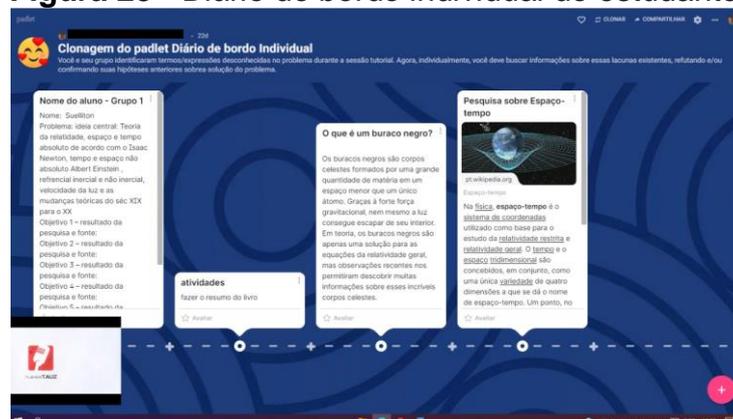
Voltando aos nossos encontros e visto que eles já tinham realizado as atividades propostas, feito as pesquisas do estudo autogerido, chegou o momento de se juntarem para organizar o mini relatório e montar as suas explicações sobre o tema estudado, momento que está exemplificado na Figura 22 e 23. Com as equipes reunidas fizeram a apresentação dos temas que tinham ficado responsáveis utilizando os cartazes que foram produzidos. Na Figura 24, é apresentado um dos cartazes produzidos por um grupo tutorial. Após isso, juntos em equipe montaram o relatório final para apresentação aos demais estudantes. Feito isso, chegou o momento da avaliação, a avaliação proposta pela metodologia em ABP é a avaliação em pares, onde os estudantes avaliam a si mesmo e aos seus colegas, o modelo de ficha de avaliação é apresentado na Figura 25. A professora tutora também faz a sua avaliação.

**Figura 22 - Apresentação dos conceitos que pesquisaram na aprendizagem autodirigida.**



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 23 - Diário de bordo individual do estudante.**



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 24 - Cartaz produzido por um das equipes para apresentação.**



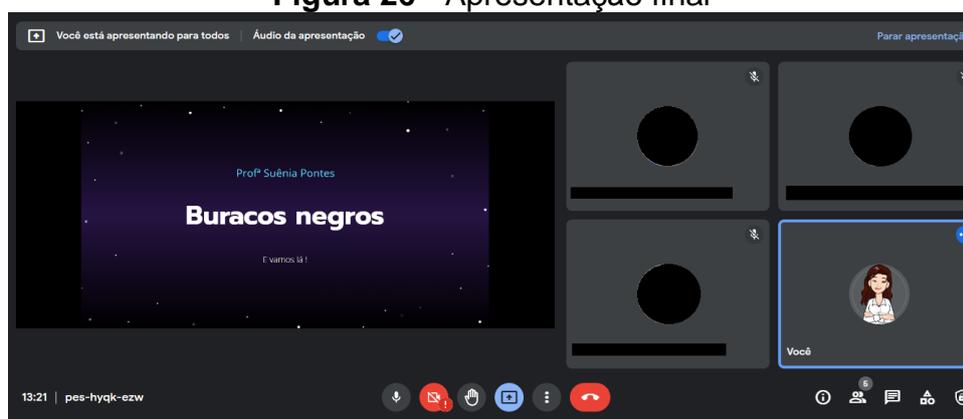
Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 25** - Ficha de avaliação de pares

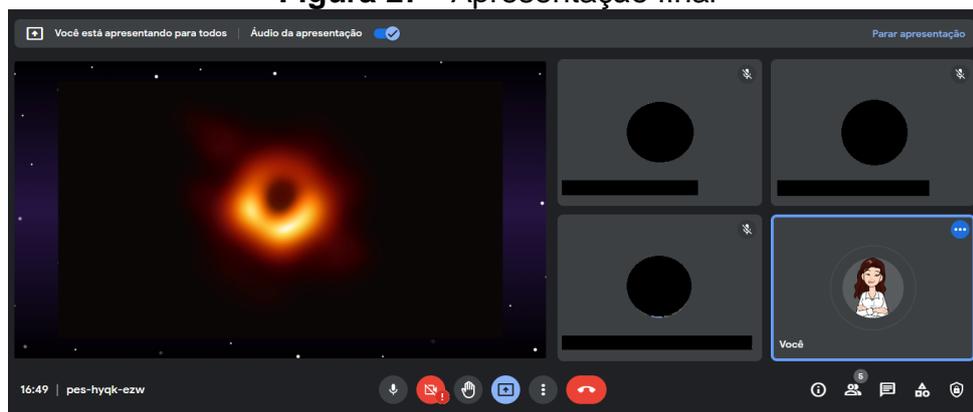
Ficha de Auto Avaliação/ Avaliação de pares				
Nome:			Turma e Equipe:	2º B, EQUIPE 3
Colegas de Equipe:				
	Aluno 1	Aluno 2	Aluno 3	Aluno 4
Interação e respeito aos colegas	A	A	A	A
Participa ativamente de todas as etapas	A	A	A	A
Fez a pesquisa individual	A	A	A	A
Contribui para a solução do problema com argumentações pertinentes	B	B	B	B
Participou das avaliações propostas...	B	B	B	B
Presença e pontualidade	B	A	A	A

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Diante do cenário percorrido pelos estudantes, com o intuito de chegar a uma solução para o problema, passando pelo ciclo de ABP, conseguimos ter uma interação maior com relação às equipes, considerando que eles se dedicaram bastante realizando pesquisas, tiravam as dúvidas e socializavam o que estava sendo discutido. Contudo, vimos a necessidade de uma intervenção maior por parte da tutora, pois os estudantes estavam tendo o seu primeiro contato com a metodologia e o nosso primeiro problema englobava muitos conceitos. Nesse caso, montamos uma aula para elencar os principais pontos que foram discutidos no problema para finalizar o nosso primeiro problema, esse momento da intervenção está sendo apresentado nas Figuras 26 e 27, esse encontro foi muito proveitoso os estudantes interagiram bastante, porque já estavam por dentro do tema trabalhado.

**Figura 26** - Apresentação final

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 27 - Apresentação final**

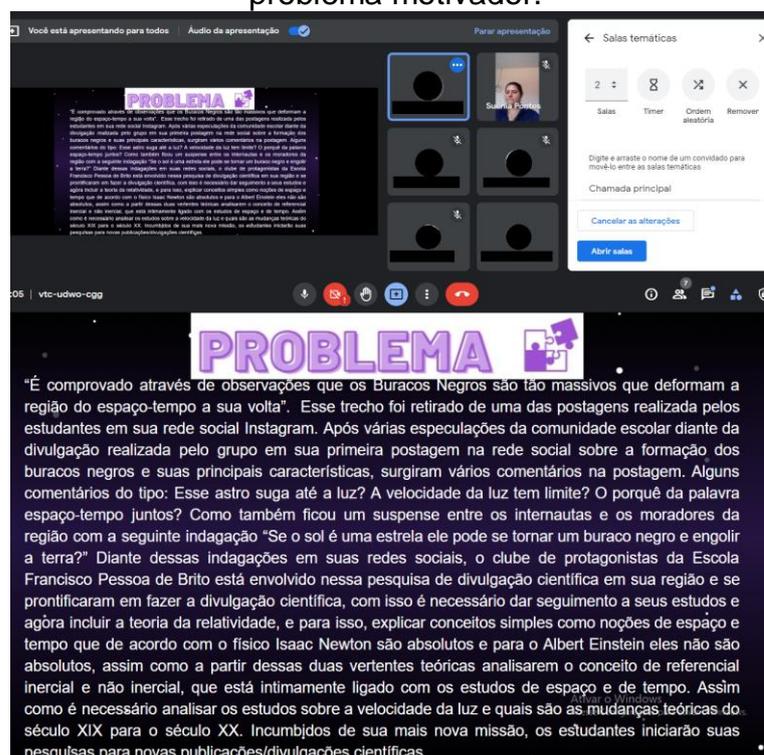
**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Com a apresentação e definição dos conceitos referente aos buracos negros, e a proposta de avaliação realizada, pudemos concluir que para este encontro a metodologia utilizada foi proveitosa e satisfatória, os estudantes participaram de maneira efetiva durante todos os momentos, contribuindo e colaborando, apresentando questionamentos e dúvidas durante os encontros. Com relação às atividades propostas que foram realizadas com os estudantes, pudemos perceber que eles conseguiram compreender os conceitos que foram abordados referentes ao tema.

### **5.1.2 Relato da intervenção II**

Inicialmente, apresentamos para os estudantes o segundo problema motivador, que tinha como objetivo analisar os conceitos iniciais que foram mudados ao longo do século para chegar aos postulados propostos pelo Einstein. Logo, os educandos, diante do segundo problema, já sabiam que o primeiro passo era a leitura. Então, direcionamos os grupos tutoriais para as suas salas temáticas e demos início à leitura do problema, que está na Figura 28.

**Figura 28** - Organização dos estudantes nas salas temáticas e apresentação do problema motivador.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Dando seguimento a nossa intervenção, os estudantes nesse momento tiveram certo tempo para fazer a leitura do problema junto com seus colegas e como eles não estavam acostumados com a rotina dos sete passos, a professora tutora foi orientando para que os mesmos não pulassem nenhuma etapa. Após a realização da leitura, os estudantes tiveram um pouco de dificuldade em encontrar a questão central. Seguimos nosso encontro dando algumas orientações como a seguinte: *“Segundo o que está escrito, qual era o pensamento de Newton e de Einstein com relação ao espaço e o tempo?”*. A partir de algumas indagações realizadas pela tutora os estudantes foram montando as suas ideias iniciais.

Neste momento, tínhamos a intenção de observar quais as possíveis ideias que eles tinham, não se preocupando em explicar o porquê ou como, após isso eles pontuaram algumas respostas para a ideia central:

*E2: “é estudar a relatividade”, E7: “Einstein pensava diferente de Newton com relação ao espaço e o tempo”, E9: “um diz que o tempo é absoluto e o outro não”*. Então, a professora tutora interveio mais uma vez e fez a seguinte pergunta: *Que mudanças aconteceram após a divulgação do pensamento de Einstein sobre espaço e tempo que era diferente de Einstein?*

Após essa pergunta, os estudantes fizeram outra leitura do problema e conseguiram se aproximar da ideia central do problema que era *a divulgação científica sobre os conceitos iniciais para estudar a relatividade e necessariamente fazer essa divulgação científica*. Desse modo, eles decidiram fazer a divulgação através dos cartazes.

Seguindo a proposta, partimos para o segundo passo do ciclo em ABP, neste momento os estudantes fizeram a delimitação do problema que já tinham em mente que o problema estava relacionado com as mudanças que ocorreram no século XIX para o século XX, assim como precisavam estudar sobre o espaço-tempo e referencial inercial e não inercial. Foi neste passo que os mesmos organizaram os conceitos.

Conceitos que já conheciam:

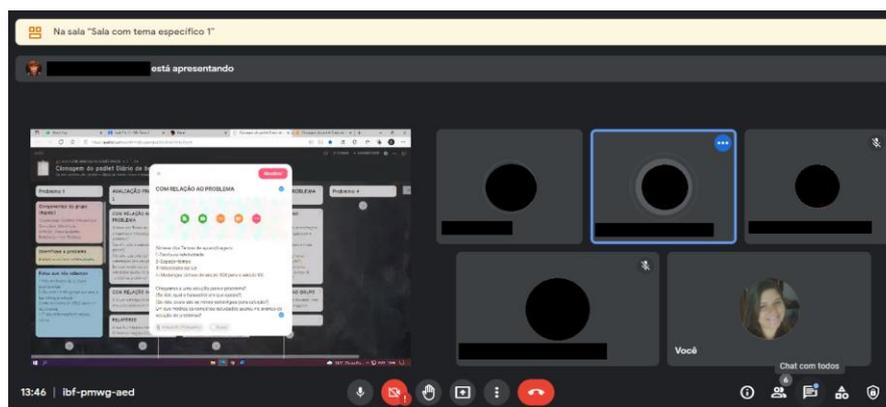
G1, G2 e G3: *“Buracos negros”, “Tempo absoluto”*.

Conceitos que não conheciam:

G1, G2 e G3: *“Espaço-tempo”, “constância da velocidade da luz é comprovada?”, “mudanças teóricas do século XIX para o século XX”, “Referencial inercial e não inercial” e “o tempo não é absoluto”*.

Assim, os estudantes encerraram o segundo passo e começaram a construir as hipóteses para esses conceitos, organizando as suas ideias e organizando uma possível solução para o problema que foi apresentado para os colegas posteriormente no quinto passo. Ainda no quinto passo (Figura 29), os estudantes organizaram os temas para as aprendizagens autogerenciadas e o redator do grupo apresentou oralmente sobre o que foi realizado nos grupos tutoriais para os seus colegas de classe.

**Figura 29** - Organização dos temas a serem pesquisados

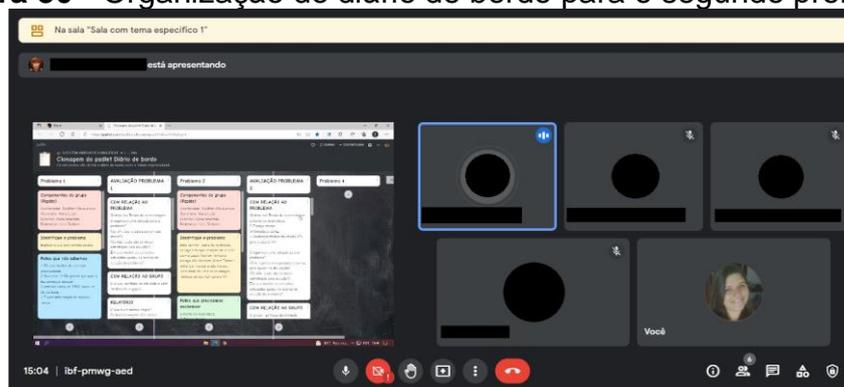


Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

No sexto passo, separaram os conceitos que precisavam pesquisar para compreendê-los. Encerramos nosso encontro com muitos afazeres para os estudantes, além dos temas autogerenciados, eles iriam fazer as atividades propostas no google sala de aula e estudar os materiais que estavam disponíveis para que em nosso próximo encontro pudessemos compartilhar os conhecimentos adquiridos.

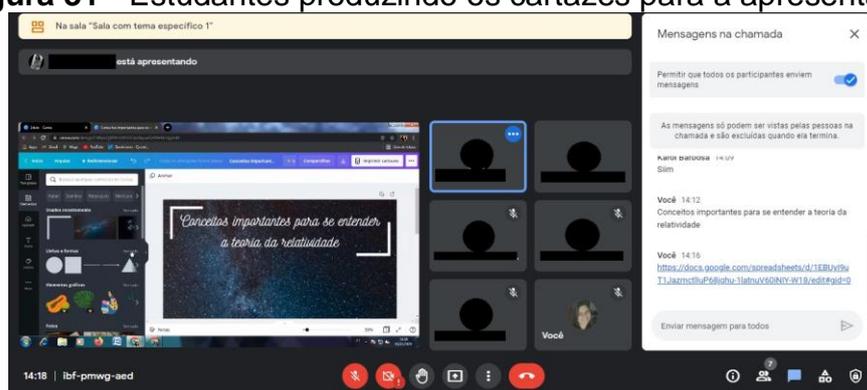
Chegado o dia do encontro, foi o momento de compartilhar os conhecimentos, o sétimo passo é o momento de avaliação e de retorno dos estudantes as equipes. Nesta aula, separamos os grupos tutoriais para organizarem seus pensamentos e tentarem solucionar o problema, tudo organizado no diário de bordo, como mostrado na Figura 30. Com os conhecimentos revisados e de posse da solução do problema, os estudantes organizaram os cartazes e atualizaram os relatórios para a apresentação, como apresentado na Figura 31 com as produções dos cartazes. Após a apresentação destes, a professora tutora deu um feedback de todos os conceitos que foram aprendidos nesse ciclo de ABP. E chega o momento dos estudantes realizarem a avaliação dos pares, que está representado na Figura 32.

**Figura 30** - Organização do diário de bordo para o segundo problema.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 31** - Estudantes produzindo os cartazes para a apresentação



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 32** - Ficha de avaliação dos pares para o segundo problema.

Ficha de Auto Avaliação/ Avaliação de pares					
Nome:	[Redacted]			Turma e Equipe:	2º ano-1
Colegas de Equipe:	[Redacted]				
	Aluno 1	Aluno 2	Aluno 3	Aluno 4	
Interação e respeito aos colegas	A	A	A		
Participa ativamente de todas as etapas	A	A	A		
Fez a pesquisa individual	A	A	A		
Contribui para a solução do problema com argumentações pertinentes	A	A	A		
Participou das avaliações propostas...	A	A	A		
Presença e pontualidade	A	A	A		

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

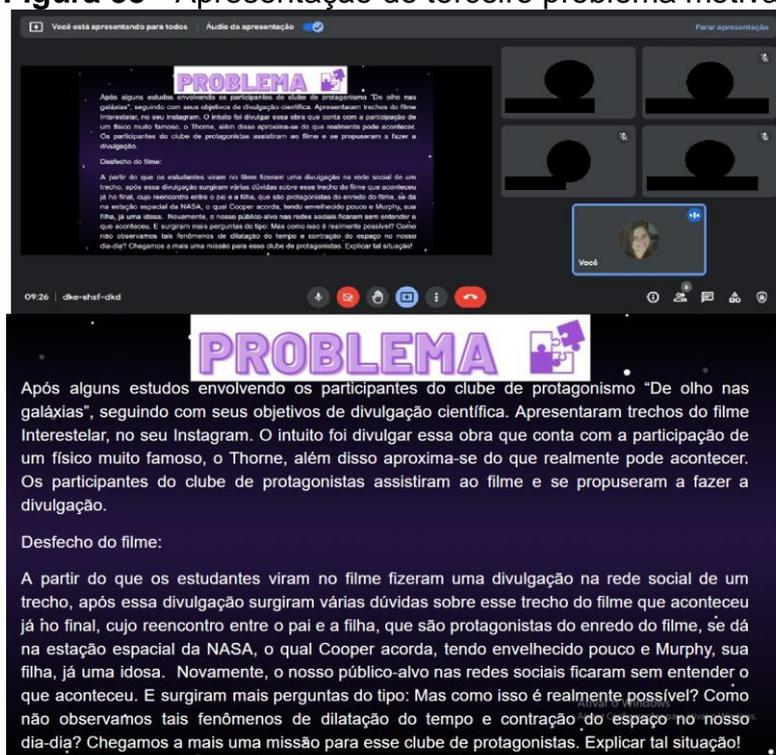
Percebemos que após a realização desse encontro com a finalização do segundo problema motivador, os estudantes já estavam mais acostumados com os passos que deveriam seguir em ABP, assim como percebemos que um dos grupos tutoriais estava mais dedicado ao cumprimento dos afazeres e das atividades que estavam desenvolvendo, considerando que os estudantes estavam no período de férias, esse foi um dos obstáculos que encontramos em nossa aplicação, o calendário anual teve uma mudança e antecipou o término das aulas. Todavia, tivemos um índice satisfatório com a participação de todos utilizando a metodologia.

### 5.1.3 Relato de intervenção III

Inicialmente, como de costume em nossos encontros fizemos a apresentação do problema motivador para que pudéssemos dar início ao terceiro problema em ABP, que tinha como objetivo conhecer os dois postulados de Einstein para a relatividade restrita e aplicar estes postulados, discutindo eventos simultâneos e a

medida do intervalo de tempo por dois observadores em referenciais inerciais em movimento relativo. No problema motivador, apresentado na Figura 33, tínhamos além do texto motivador, dois recortes de vídeo do filme *Interstellar*<sup>8</sup>, que foram apresentados para os estudantes como o problema inicial como mostrado na Figura 34.

**Figura 33** - Apresentação do terceiro problema motivador



**PROBLEMA**

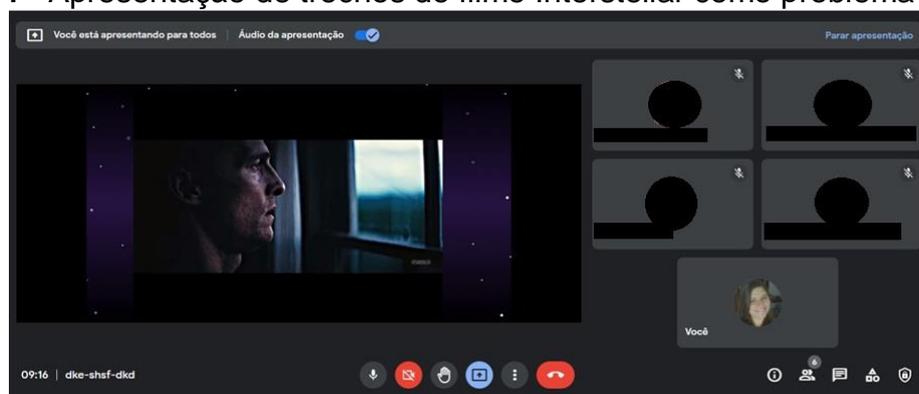
Após alguns estudos envolvendo os participantes do clube de protagonismo "De olho nas galáxias", seguindo com seus objetivos de divulgação científica. Apresentaram trechos do filme *Interstellar*, no seu Instagram. O intuito foi divulgar essa obra que conta com a participação de um físico muito famoso, o Thorne, além disso aproxima-se do que realmente pode acontecer. Os participantes do clube de protagonistas assistiram ao filme e se propuseram a fazer a divulgação.

**Desfecho do filme:**

A partir do que os estudantes viram no filme fizeram uma divulgação na rede social de um trecho, após essa divulgação surgiram várias dúvidas sobre esse trecho do filme que aconteceu já no final, cujo reencontro entre o pai e a filha, que são protagonistas do enredo do filme, se dá na estação espacial da NASA, o qual Cooper acorda, tendo envelhecido pouco e Murphy, sua filha, já uma idosa. Novamente, o nosso público-alvo nas redes sociais ficaram sem entender o que aconteceu. E surgiram mais perguntas do tipo: Mas como isso é realmente possível? Como não observamos tais fenômenos de dilatação do tempo e contração do espaço no nosso dia-dia? Chegamos a mais uma missão para esse clube de protagonistas. Explicar tal situação!

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 34** - Apresentação de trechos do filme *Interstellar* como problema motivador



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

<sup>8</sup> Título: *Interstellar* (Original), Ano produção: 2014, Dirigido por: Christopher Nolan, Duração: 168 minutos, Gênero: Aventura, Drama e Ficção Científica, Países de Origem: Estados Unidos da América, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte.

Após a apresentação do problema motivador, os estudantes ficaram muito empolgados com a história do filme e já estavam discutindo alguns conceitos que iríamos estudar, tais como: a diferença de idade dos dois que estava relacionada a como o tempo passa para cada um dos personagens do filme e lembraram a questão do tempo relativo do nosso problema anterior, lembraram os estudos realizados sobre os buracos negros esse momento inicial foi bastante proveitoso, assim como ficaram curiosos para assistirem ao filme.

Dando seguimento, eles foram orientados a retirar a questão central do problema. Neste ponto, eles já estavam acostumados com a dinâmica de nossos encontros.

Nesta etapa seguinte, os estudantes já estavam conscientes que iriam procurar e formular a questão central que estava relacionada com a diferença de idade entre a filha e o pai no filme, pois um fenômeno acontece quando um objeto está se deslocando com velocidades próximas à velocidade da luz. A partir desse problema, os estudantes foram verificar com quais teorias esse fenômeno estava relacionado. Como eles já estavam trabalhando com conceitos relevantes para a teoria da relatividade, já conseguiram compreender algumas concepções e após uma pesquisa rápida que fizeram, observaram que deveriam estudar os postulados da teoria da relatividade, a contração do espaço e dilatação do tempo.

Quando indagados sobre a questão central do problema, os estudantes responderam que: precisamos saber o porquê o pai está mais novo que a filha dele, entender a teoria da relatividade restrita de Albert Einstein e escolher uma forma de fazer a divulgação científica. Neste caso, os estudantes realizar um *podcast* a respeito da teoria da relatividade restrita. Convém lembrar que o filme trata da dilatação gravitacional, porém nos preocupamos em estudar os conceitos referente a dilatação temporal cinemática. Dando seguimento, os estudantes retiraram do problema motivador os conceitos que conheciam e que não conheciam.

Conceitos e palavras que conheciam:

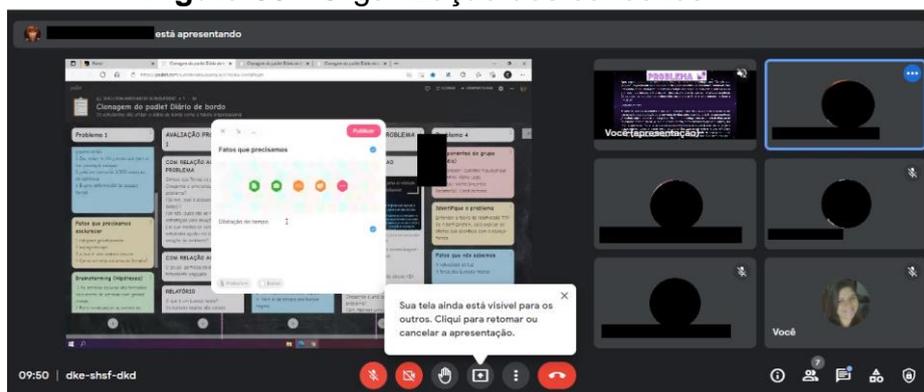
G1, G2 e G3: *“A velocidade da luz”, “A força dos buracos negros”, “Nem a luz consegue escapar dos buracos negro”, “tempo relativo”.*

Conceitos e palavras que não conheciam:

E2 e E6: *“Contração do tempo”, E4 e E10: “dilatação do espaço”, E3: e E8: “teoria da relatividade restrita”.*

Seguindo nossos passos em ABP, os estudantes partiram para o passo três, que é o levantamento das hipóteses, momento que está representado na Figura 35, diante do que eles já estudaram e pesquisaram, o G1 falou que “*a mudança na idade se deu por causa da força gravitacional dos buracos negros onde o pai estava viajando próxima a velocidade da luz no filme, e o tempo passa devagarzinho*”.

**Figura 35 - Organização dos conceitos**

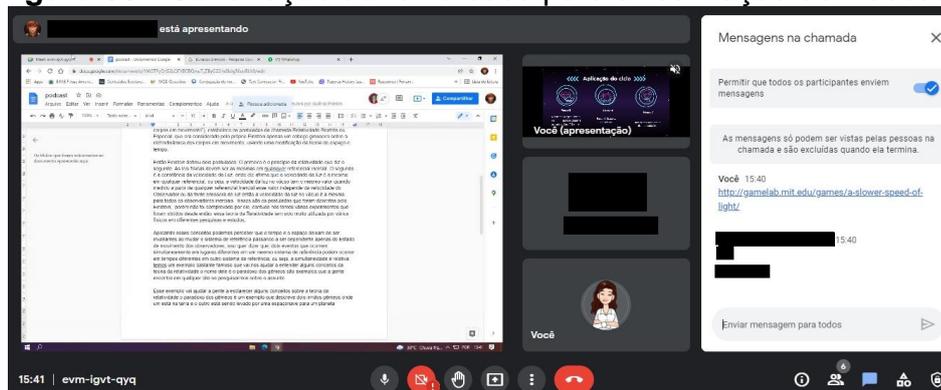


**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Dando seguimento ao nosso encontro na sala de aula do Google, chegamos no quarto passo, em que os estudantes iriam organizar as informações obtidas para chegarem a uma informação coerente para a solução do problema que, basicamente, eles fizeram na etapa anterior. Logo, os estudantes organizaram seus pensamentos chegaram a conclusão que precisavam de mais pesquisas para formular essas hipóteses. De modo que passamos para o quinto passo, organizando os temas autodirigidos para as pesquisas individuais, momento registrado na Figura 36. Então, eles fizeram a divisão do que precisavam estudar para solucionar o problema, organizaram um dia para assistir ao filme e foi finalizado o encontro após a realização do feedback.



**Figura 38 - Construção do texto base para a realização do Podcast.**



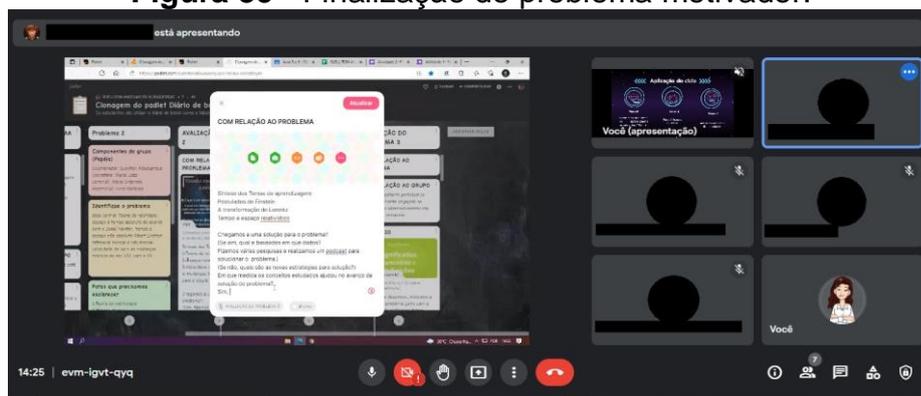
Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

A produção do texto aconteceu de maneira satisfatória, alcançando os objetivos estabelecidos pela professora. Os integrantes dos grupos tutoriais participaram apresentando contribuições pertinentes sobre os conceitos estudados. Concluímos que o uso desta ferramenta avaliativa foi benéfico para o que desejamos, tendo em vista que os estudantes demonstraram interesse e participação, interagindo com seus colegas e com a professora como pretendido.

Após a apresentação dos grupos, e a organização do texto, a professora tutora pontuou conteúdos de Física que foram estudados através do problema, assim como utilizou os simuladores<sup>9</sup>, a primeira simulação (simulação 1) mostra os efeitos da dilatação do tempo e da contração do espaço, através de uma nave espacial em uma viagem interestelar. A segunda mostra o conceito de simultaneidade (simulação 2), através da emissão de dois fótons (dois eventos), estes ficaram disponíveis na plataforma do *google classroom* para que os estudantes possam visualizar os efeitos da relatividade, abordando em síntese de revisão dos conteúdos estudados, como mostrado nas Figuras 39, 40, 41 e 42.

<sup>9</sup> Disponível em: WALENDOWSKY, João Francisco et al. Uma proposta para o ensino da relatividade restrita através de simulações desenvolvidas a partir da ferramenta computacional Easy Java Simulations. 2019.

Figura 39 - Finalização do problema motivador.



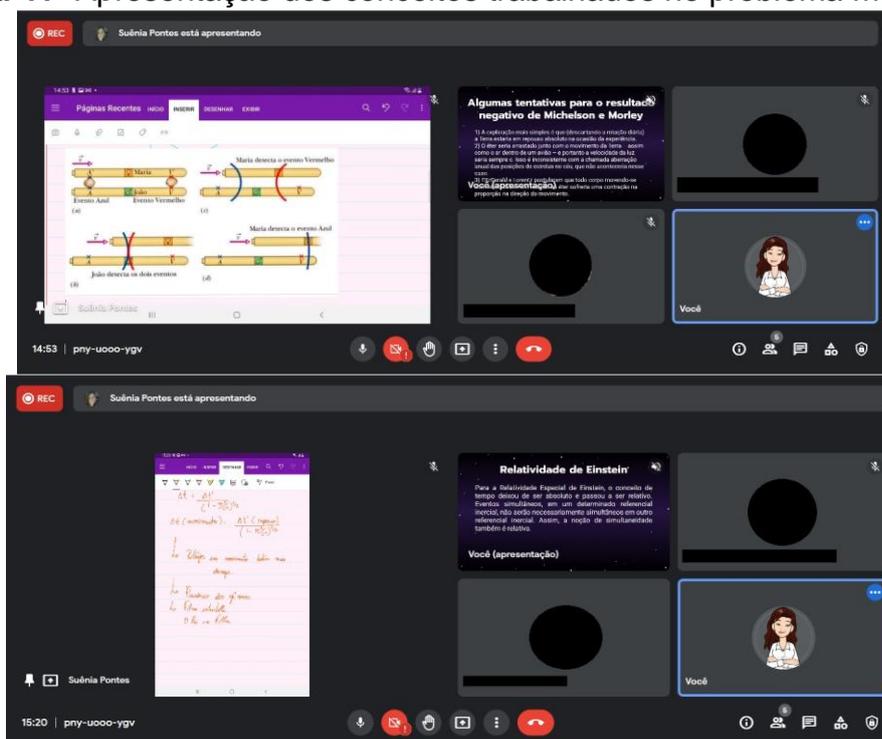
Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Figura 40 - Avaliação dos pares do terceiro problema.

Ficha de Auto Avaliação/ Avaliação de pares				
Nome:	Turma e Equipe:			
Colegas de Equipe:	Aluno 2	Aluno 3	Aluno 4	
1. Interação e respeito aos colegas	A	A	A	A
2. Participa ativamente de todas as etapas	D	A	B	A
3. Faz a pesquisa individual	C	H	B	B
4. Contribui para a solução do problema com argumentações pertinentes	B	B	B	B
5. Participou das avaliações propostas.	B	A	A	A
6. Presença e pontualidade:	F	A	A	A

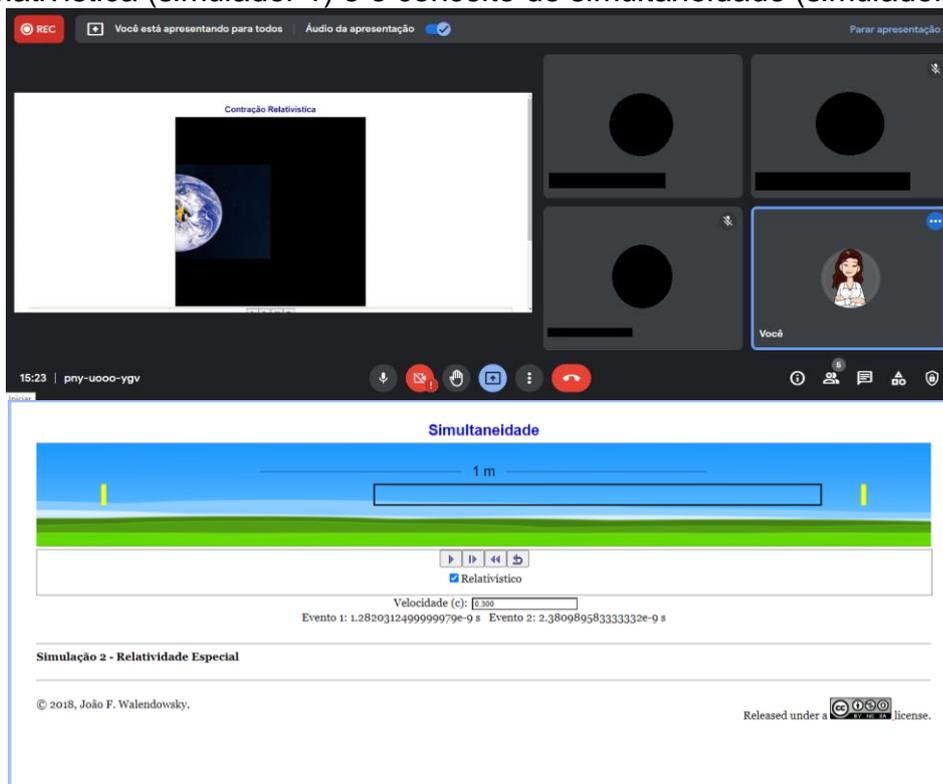
Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Figura 41- Apresentação dos conceitos trabalhados no problema motivador



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

**Figura 42** - Simuladores que foram utilizados para apresentar a contração relativística (simulador 1) e o conceito de simultaneidade (simulador 2).



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Com a aplicação desta sequência de ensino, acreditamos que todas as intervenções realizadas foram relevantes para o processo de construção de conhecimento, relacionados a disciplina de Física, como também, conhecimentos para a vida, uma vez que utilizamos uma metodologia de ensino que trabalha o protagonismo dos envolvidos, fazendo com que estes construam os seus conhecimentos a partir das pesquisas realizadas e da interação com seus colegas de grupo.

Com relação ao comportamento dos estudantes diante dos procedimentos realizados durante a intervenção, tivemos uma melhora significativa, com a participação dos educandos nas aulas remotas. Em relação aos grupos tutoriais, convém ressaltar que eram sempre separados em sala temática. Nessas intervenções foi possível observar que os líderes desempenharam um papel importante tanto na cobrança das atividades como na participação e no incentivo para os demais participarem.

## 5.2 Análise do questionário

Nesta segunda parte da pesquisa em busca de responder às questões problemas, e com o intuito de trazer as considerações dos sujeitos da pesquisa, aplicamos um questionário semiestruturado com os estudantes que participaram da sequência. A coleta de dados ocorreu logo após a aplicação do método ABP, quando disponibilizamos o questionário para os estudantes através do grupo do WhatsApp e eles tiveram quinze dias para responder.

A partir do referido questionário, buscamos compreender qual a posição dos nossos estudantes com relação a utilização da metodologia ativa em ABP. O questionário estava dividido em quatro partes: Na seção I, foi registrado o levantamento sobre os educandos. Na seção II, procuramos entender se os estudantes foram capazes de adquirir conhecimentos através da metodologia ABP nos tópicos que foram abordados. Na seção III, procuramos identificar se os estudantes conseguiram ter aderência ao método ABP, e na seção IV, procuramos identificar a dificuldade/facilidade dos estudantes com relação aos temas trabalhados.

Através do questionário os estudantes puderam expressar suas opiniões sobre as etapas da sequência de ensino, bem como ponderações sobre a metodologia e os recursos utilizados. Da nossa amostra de estudantes, eles se enquadravam na faixa etária de 16 a 18 anos de idade, 20% era do sexo masculino e 80% do sexo feminino, todos os participantes eram da 2<sup>o</sup> série do ensino médio.

Quando indagados sobre a metodologia de ensino em ABP utilizando o ciclo dos setes passos 100% da amostra respondeu que gostaram. Alguns estudantes justificaram dizendo que:

E1: “É uma metodologia muito interessante e muito ampla. Ótima forma de aprender”.

E2: “Me fez entender a matéria com mais facilidade”.

E6: “Achei tudo muito interessante”.

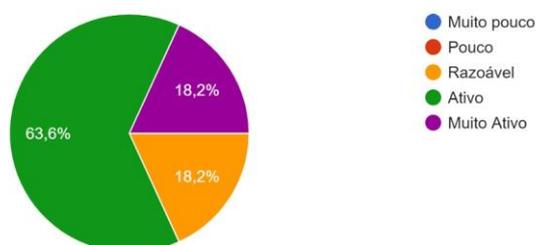
E7: “Bem, achei muito colaborador com a aprendizagem”.

E9: “Achei interessante aprender com métodos novos”.

Quando perguntados sobre a participação deles na resolução dos problemas motivadores nesta nossa metodologia de ensino que utilizava o ciclo de ABP e organizados em grupos tutoriais, a maioria dos estudantes respondeu que se sentiram ativo e muito ativo, um percentual de 63,6% respondeu que se sentiu ativo, enquanto 18,2% da amostra se sentiram muito ativo e os demais participantes com

18,2% se sentiram razoáveis, esses índices são apresentados no gráfico exposto na Figura 43. Um número bem expressivo, já que todos os participantes dos grupos tutoriais têm as suas atribuições dentro da metodologia utilizada.

**Figura 43** - Participação dos estudantes nos problemas motivadores



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

De acordo com a metodologia de ensino em ABP, o papel do estudante passa a ser de protagonista. Nesta metodologia, o estudante deve participar do processo de ensino e aprendizagem ativamente, promovendo a autonomia do estudante. O estudante precisa desenvolver a capacidade de descobrir e usar informações, construir suas próprias habilidades para resolver problemas e aprender o conteúdo necessário (BOROCHOVICIUS; TORTELLA, 2014).

Quando questionados se conseguiram evoluir/adquirir alguns conhecimentos em seus estudos através da utilização da metodologia ativa ABP, nenhum estudante fez referência em não ter adquirido conhecimentos.

Visto o índice de respostas positivas, os estudantes ficaram satisfeitos com as condições de estudos que lhes foram disponibilizadas e que realizaram aprendizagens importantes utilizando o método ABP. A maioria dos estudantes justificou a sua resposta com base no fato de ter conseguido evoluir, porque estavam mais envolvidos na proposta de ensino e por ter muitas leituras nas atividades e materiais extras.

E1: “Porque essa metodologia usa muito a leitura então eu consegui aprender mais”.

E2: “Ajudou a ter mais conhecimento nos assuntos”.

E6: “Me fez querer me aprofundar mais nos assuntos”.

E8: “Foi algo novo, e construtivo”.

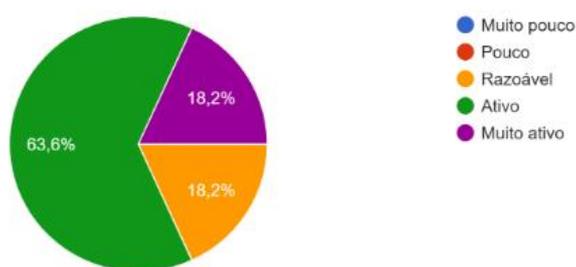
E9: “Consegui ter uma reação melhor com os estudos, pois me fez ter mais interesse”.

E12: “Consegui aprender mais, pois me fez ter uma nova visão”.

Observamos que os estudantes se sentiram mais engajados e responsáveis com o seu desenvolvimento pessoal, promovendo assim um hábito de ir em busca de seus conhecimentos. Os estudantes dentro da proposta realizavam as atividades de leitura de textos/artigos/livros. Acredita-se que essa postura fez com que os estudantes se dedicassem de forma mais efetiva.

No que diz respeito à formação e interação dos grupos tutoriais foi perguntado aos estudantes se eles conseguiram alcançar um desenvolvimento favorável nos trabalhos realizados em seus grupos tutoriais. A respeito disso, 63,6% da amostra disseram que se sentiram ativos na realização dos trabalhos em grupo, enquanto 18,2% se sentiram muito ativos e os demais 18,2% se sentiram razoáveis frente aos trabalhos realizados em seus grupos tutoriais e em seu desenvolvimento perante o grupo, como podemos observar nos índices apresentados na Figura 44.

**Figura 44** - Atividades realizadas com os grupos tutoriais

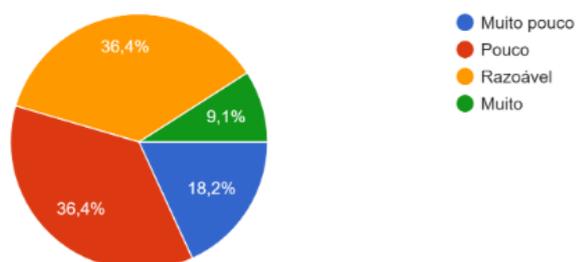


**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

A maioria dos estudantes respondeu que se sentiram ativos nas atividades que foram desenvolvidas dentro dos grupos tutoriais, a outra parte respondeu que se desenvolveram razoavelmente e muito ativos. Como a metodologia está ligada à construção dos conhecimentos também através da colaboração, esse resultado é visto como positivo.

Quando questionados sobre a dificuldade em seguir a rotina dos setes passos em seus respectivos grupos tutoriais, a maioria dos estudantes respondeu que tiveram pouca dificuldade. Como é possível observar no gráfico apresentado na Figura 45, onde 36,4% dos estudantes sentiram uma dificuldade razoável, e 36,4% disseram que sentiram pouca dificuldade e 18,2% sentiu muito pouca dificuldade, os demais 9,1% da amostra sentiram muita dificuldade em trabalhar com a rotina dos setes passos com seu grupo tutorial.

**Figura 45** - Dificuldade em trabalhar com o grupo tutorial com os sete passos em ABP.

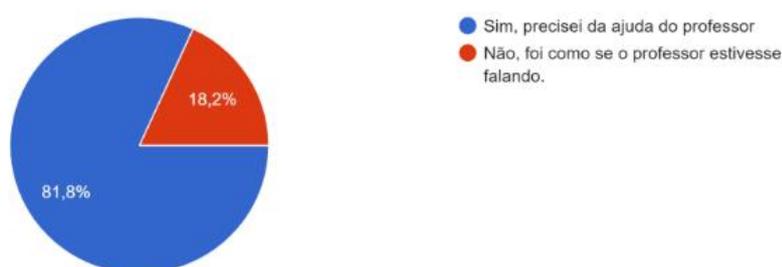


**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Visto o índice de respostas positivas que obtivemos com relação ao trabalho desenvolvido nos grupos tutoriais com a rotina do ciclo em ABP, os estudantes se sentiram bem em trabalhar com seus colegas na resolução de problemas. O estudante que não se sentiu confortável em trabalhar com o grupo tutorial justificou que o grupo não ajudava na resolução do problema e que na maioria das vezes desenvolvia as atividades extraclases sem a ajuda dos demais.

Quando questionados se sentiam dificuldades em seguir as etapas dos setes passos no ciclo de ABP a maioria dos estudantes, um total de 81,8%, responderam que sentiram dificuldade e necessitaram da ajuda do professor. Como podemos observar nos resultados expostos na Figura 46, os estudantes, diante dessa metodologia que usamos, sentiram certa dificuldade em conseguir formular as hipóteses e, inicialmente, em encontrar a questão central do problema. No entanto, ao longo dos desafios que eles conseguiam vencer, foram acostumando-se com o novo método em que o professor passou a ser o tutor e eles a construírem seus conhecimentos.

**Figura 46** - Sentiram dificuldades em seguir as etapas do ciclo em ABP.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Nesse cenário, a professora tutora buscou em suas aulas fugir ao máximo das aulas em que o professor explana o conteúdo com um breve momento de discussões e atividades em que os estudantes são orientados a fazer, provendo momentos mais didáticos, utilizando-se de algumas estratégias em nosso regime de ensino remoto. Contudo, o uso de uma metodologia em que o papel do estudante muda completamente é um grande desafio.

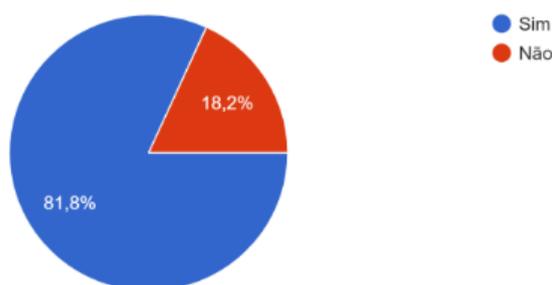
De acordo com Souza e Dourado (2015):

Um dos maiores desafios da educação na atualidade é promover reformas que, de fato, acompanhem o desenvolvimento científico, tecnológico, social, cultural, econômico e ambiental, tendo em vista contribuir para o desenvolvimento de uma sociedade mais justa, social e economicamente (SOUZA; DOURADO, 2015, p.183).

Desse modo, a utilização da metodologia ativa nos permitiu conhecer um modo totalmente diferente de trabalhar com os estudantes, promovendo a este um novo meio de construir seus conhecimentos, desenvolver habilidades, competências e atitudes nesse processo de aprendizagem, além de favorecer a aplicação de seus princípios em outros contextos de sua vida.

Quando questionados se achavam pertinente o uso dessa metodologia em próximas aulas, a maioria deles responderam que sim, totalizando 81,8% dos estudantes, os demais, que foram 18,2% da amostra dos estudantes, se opuseram ao método. Como podemos observar no gráfico exposto na Figura 47, os discentes justificaram falando que sentiram falta do entrosamento de seu grupo tutorial, que seu grupo não se dedicava tanto na resolução dos problemas e que poderia usar o método, mas de maneira razoável não em todas as aulas.

**Figura 47** - Referente ao uso da metodologia nas próximas aulas.

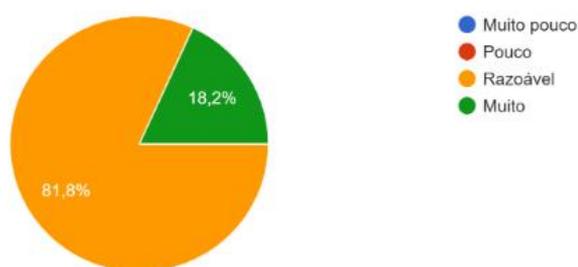


**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

A maioria que respondeu que sim, justificou dizendo que o modo como eram abordados os conteúdos tinham curiosidades e que as leituras e pesquisas que foram desenvolvidas para a resolução do problema contribuem bastante para a aquisição de conhecimento e desenvolvimento pessoal.

No que diz respeito aos materiais que foram organizados e disponibilizados na plataforma do Google Classroom pelo professor tutor para que os estudantes fizessem as leituras e as atividades propostas, foi perguntado qual a intensidade que os alunos estudavam o material e a maioria, com um total de 81,8%, responderam que faziam o uso razoável. Observou-se, então, que os estudantes faziam uso dos materiais que estavam disponíveis quando era cobrada uma atividade referente a este, como podemos observar na Figura 48.

**Figura 48** - Referente aos materiais disponibilizados no google classroom.

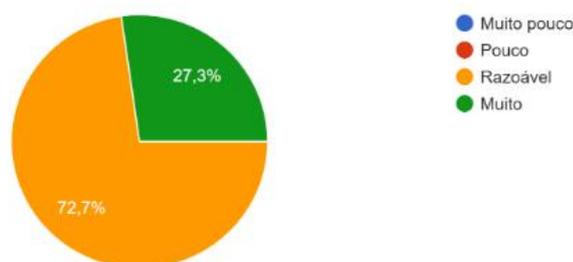


**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Quando perguntados em que medida os estudos eram realizados depois da aula, isto é, os estudos autogeridos, para conseguir resolver os problemas motivadores os ajudaram a compreender os conceitos abordados em sala de aula (remoto), a maioria correspondente a 72,7% respondeu que foi razoável. Logo, observou-se que os estudantes realizavam as leituras dos materiais que eram cobrados, atividades e os demais, somatizando 27,3%, responderam que ajudaram muito. Esses últimos tiveram acesso a todos os materiais que estavam disponíveis, como apresentado através do gráfico exposto na Figura 48. Neste caso, todo o material que foi disponibilizado para os estudantes foi pensado e organizado para que eles pudessem complementar os seus estudos autogeridos. Alguns materiais tinham um nível mais elevado para o Ensino Médio. Contudo, o uso destes

materiais foi intencional para que gerassem dúvidas na leitura e eles fossem a busca de respostas para resolução do problema motivador.

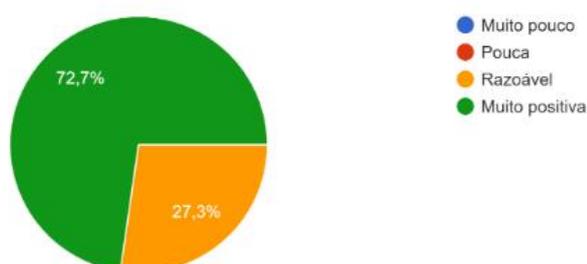
**Figura 49** - Pergunta referente ao uso dos materiais disponibilizados na plataforma.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Quando questionados sobre trabalhar com problemas motivadores, como foi nossa sequência, se foi positivo trabalhar com resolução de problemas a maioria, um total de 72,7% da amostra respondeu que foi muito positivo, na Figura 50 é apresentado o gráfico que expõe tais resultados. Os estudantes justificaram essa pergunta dizendo que se sentiram motivados a realizarem as pesquisas e a produzirem os materiais para explicar as equipes.

**Figura 50** - Pergunta referente aos trabalhos desenvolvidos através de problemas.

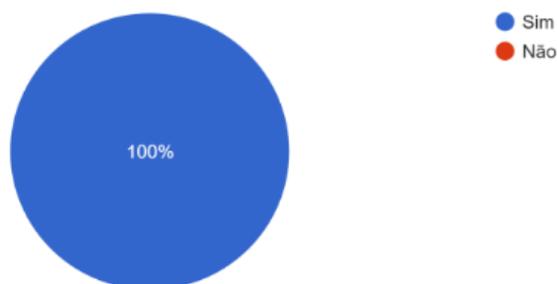


**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Quando questionado se esse trabalho poderia ser considerado positivo todos responderam que sim (100%), verificamos que o tipo de metodologia que usamos foi favorável para o ensino aprendizagem dos estudantes tornando-os mais ativos em seus conhecimentos, como é apresentado na Figura 51. A maioria justificou dizendo que conseguiu compreender melhor os conteúdos que foram

abordados, por ter se envolvido mais na busca de resolver a questão central dos problemas e de informações para averiguar as suas hipóteses.

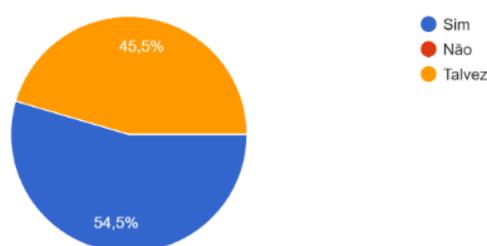
**Figura 51** - Referente ao resultado do trabalho com o método de ensino



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Quando questionado se conseguiam adaptar-se a essa metodologia de ensino, um total de 54,5% respondeu que sim e 45,5% disse que talvez, respostas apresentadas no gráfico exposto na Figura 52. Essa conduta é esperada, visto que a utilização da metodologia ativa em sala de aula exige bastante do estudante, além do que, cada estudante tem uma função dentro da metodologia, sem contar que para que ele consiga se desenvolver é necessário que ele seja pontual com as atividades, seja responsável com o grupo tutorial, seja protagonista quando se é coordenador de um grupo tutorial e que possa contribuir com todos os seus colegas na colaboração dos conteúdos estudados no estudo autodirigido. De acordo com alguns autores na literatura, como Woods (2001), Ribeiro (2008) e Berbel (1998) os estudantes devem estar preparados para as responsabilidades que vão enfrentar no mercado de trabalho e na vida acadêmica e o uso de uma metodologia ativa é favorável para a preparação dos estudantes.

**Figura 52** - Referente a aderência ao método utilizado.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Alguns estudantes não souberam justificar o porquê de sua resposta e os que justificaram mencionaram que:

E1: “Não foi muito difícil me adaptar a essa metodologia, porque eu já tenho hábito de leitura e de pesquisa”.

E2: “Com a ajuda da nossa professora facilitou nosso entendimento”.

E5: “Porque simplesmente podemos aprender mais e mais, e ser evolutivos”.

E8: “Pois facilita bastante o estudo”.

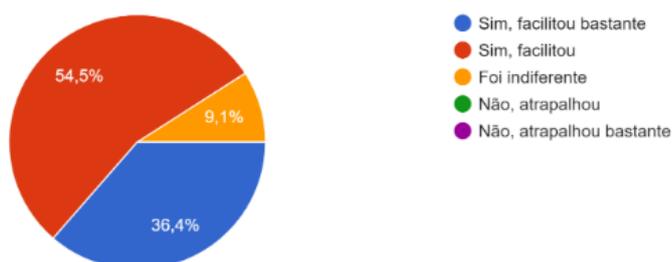
E9: “Sim, apesar de ser um pouco diferente, consegui me adaptar e me ajudou a ser mais ativo em outras matérias”.

E11: “Não tem bem uma justificativa, aprendi mais”.

Desse modo, podemos notar que as razões para justificar as suas opiniões são bem parecidas e vão desde os que melhoraram o seu desenvolvimento em outras disciplinas, que conseguiram compreender melhor os conteúdos vistos, e que fizeram pesquisas e várias leituras. O que podemos considerar como um ponto positivo mediante a metodologia utilizada.

Quando questionados sobre a forma que foram apresentados os problemas e como foram trabalhados com o ciclo de sete passos em ABP, se esse modo facilitou a compreensão deles, 54,5% da amostra disse que facilitou, 36,4% da amostra disse que facilitou bastante e 9,1% dos estudantes disse que foi indiferente, como podemos observar na Figura 53. A respeito dos estudantes que mencionaram que foi “indiferente”, estes não apresentaram a justificativa para tal.

**Figura 53** - Referente a forma como as atividades foram apresentadas e trabalhadas



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

A organização que é utilizada com o ciclo de ABP utilizando-se a rotina dos setes passos é muito bem estruturada para que não fiquem lacunas abertas para uma perda da organização dos conhecimentos.

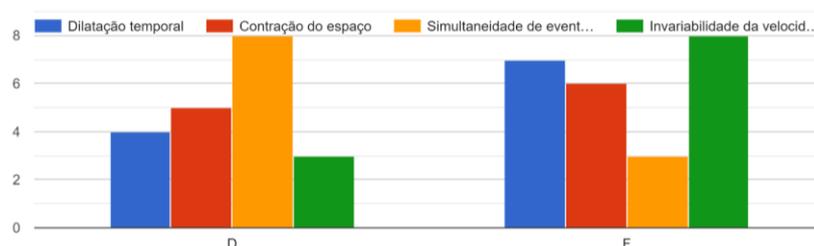
Quando questionados sobre a diferença da metodologia que utilizávamos antes, que as aulas eram expositivas e dialogadas com a que foi utilizada na proposta de ensino, a maioria dos estudantes mencionou que era a forma de estudar que tinha mudado, tinham mais leituras, que aprenderam a ir à busca de informações para resolver os casos, tiveram uma maior participação na resolução dos problemas. E foi perguntada também qual metodologia eles mais se adequaram e por que. A respeito disso, uma estudante falou que está acostumada com a metodologia tradicional. Os demais estudantes responderam que se sentiram mais ativos durante as aulas e que conseguiram aprender no seu ritmo de estudo.

E2: “Gostei da metodologia de resolver problemas em grupo, me ajudou a ser mais ativa na sala, e ir em busca de respostas. Porque me senti mais envolvida nas aulas, consegui interagir mais com meus colegas”.

Diante dos desafios que os professores enfrentam diariamente, como bem sabemos, sentimos por parte de alguns estudantes um desinteresse em estar presente nas aulas, em tirar suas dúvidas, em ter um diálogo sobre o assunto que está sendo lecionado. Em muitos casos, ao longo de nossas aulas, presenciamos os estudantes não interagirem e apenas ficarem ouvindo o professor falar e, quando questionados, é que fazem uma participação. Porém, quando passamos a trabalhar a sequência de ensino com os estudantes, sentimos uma melhora na comunicação entre os colegas de grupos tutoriais. Embora alguns só se comunicassem através do chat pelo Google Meet, a maioria estava interagindo através dos microfones, e com o professor que era a todo instante chamado para tirar dúvidas que surgiam no momento da intervenção, embora tivessem problemas e perda de conexão em nossos encontros estavam sempre informando que a internet não estava boa e, quando perdiam algum encontro, os grupos passavam o feedback do que tinha acontecido em aula remota, ou seja, eles nunca ficavam por fora do que tinha conhecido.

Na pesquisa, buscamos compreender quais os conteúdos os estudantes sentiram mais dificuldade para compreender, e dos assuntos que foram abordados na teoria da relatividade restrita, os discentes responderam que tiveram mais dificuldade em assimilar os conceitos de simultaneidade de eventos, contração do tempo e dilatação temporal. Portanto, cerca de 72% dos estudantes sentiram dificuldade em compreender o conceito de simultaneidade de eventos, enquanto 28% dos estudantes sentiram facilidade nesse conceito, para o conceito de contração do espaço 45% dos estudantes sentiram dificuldades enquanto 55% dos estudantes sentiram facilidade neste tópico, para o conteúdo de dilatação temporal cerca de 36% dos estudantes sentiram uma dificuldade maior para compreender enquanto 64% não sentiram dificuldade, e com relação a invariabilidade da velocidade cerca de 27% da amostra disse que sentiu dificuldade em entender a constância da velocidade da luz, enquanto 73% dos estudantes compreenderam com facilidade, esses resultados podem ser observados na Figura 54.

**Figura 54** - Conceitos da TRR que sentiram dificuldade em compreender.



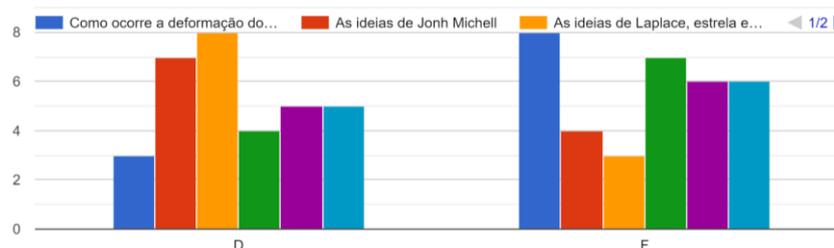
**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

No que diz respeito aos conteúdos vistos sobre os buracos negros, os estudantes responderam que sentiram uma dificuldade maior para entender as ideias de Laplace sobre as estrelas escuras e as ideias de John Michell. Portanto, cerca de 72% dos estudantes disseram que sentiram dificuldade em compreender os estudos relacionados as estrelas de Laplace e 28% sentiram uma certa facilidade em compreender. Com relação aos conteúdos sobre as estrelas de John Michell, 63% tiveram uma dificuldade em compreender, enquanto 37% sentiram certa facilidade em assimilar.

Na compreensão sobre as características dos buracos negros 45% dos estudantes sentiram dificuldades em entender, enquanto 55% dos estudantes sentiram facilidade, e com relação a conceito de velocidade de escape, 45% dos

estudantes sentiram dificuldade e 55% dos estudantes compreenderam facilmente. Sobre a formação dos buracos negros, cerca de 36% dos estudantes sentiram dificuldade, enquanto os demais 64% sentiram facilidade em compreender, e com relação a como ocorre a deformação do espaço tempo causado pelos buracos negros, cerca de 27% dos estudantes sentiram dificuldade em compreender e 73% sentiram facilidade em compreender o assunto abordado, como podemos observar no gráfico exposto na Figura 55.

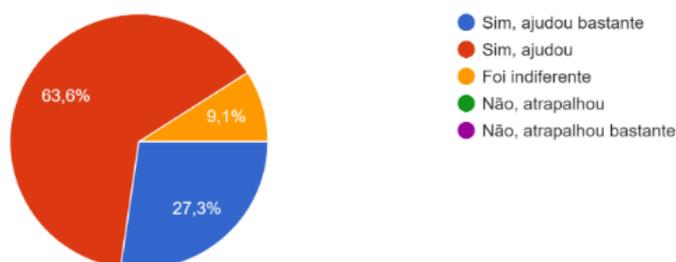
**Figura 55** - Conceitos dos Buracos Negros que sentiram dificuldades em compreender.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Foi perguntado aos estudantes se o uso dos applets de simulação que foram disponibilizados dentre os materiais propostos e mostrado em sala de aula remota contribuiu para a compreensão dos conceitos trabalhados durante a intervenção do terceiro problema e a maioria dos estudantes responderam que ajudou e que ajudou bastante. Diante de nossa proposta de ensino, utilizamos várias estratégias para conseguir o nosso objetivo. Como mostra o gráfico exposto na Figura 56, cerca de 60% dos estudantes responderam que sim, ajudou na compreensão dos conceitos, 30% respondeu que sim, ajudou bastante e o restante que compreende a 10% disse que foi indiferente.

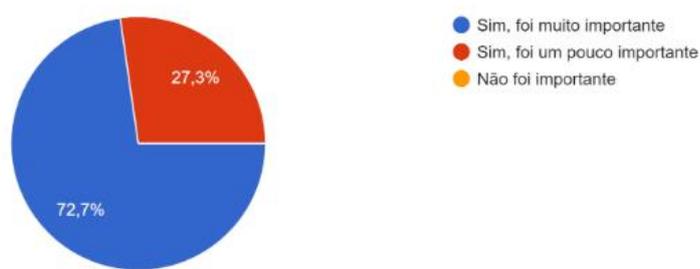
**Figura 56** - Os applets (simuladores) que foram usados ajudaram a compreender o conteúdo abordado.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Quando questionados sobre a importância de conhecer os conceitos acerca da teoria da relatividade e dos buracos negros, a maioria respondeu que foi muito importante cerca de 70% da amostra responderam que “sim”, que “foi muito importante” e 30% responderam que “sim foi um pouco importante”, como está apresentado na Figura 57. Alguns estudantes ainda têm em mente que não precisam estudar tal conteúdo e que esse conteúdo não servirá em sua vida profissional, porém sempre mostramos para eles as habilidades e competências que os estudantes podem adquirir com os conteúdos abordados durante as aulas.

**Figura 57** - Referente aos conteúdos vistos na sequência.

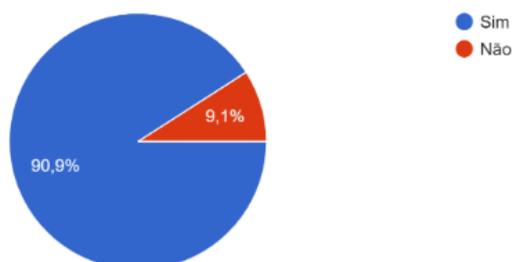


**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Quando questionados se sentiam interesse em aprofundarem-se nos assuntos referentes à teoria da relatividade, cerca de 90% deles responderam que sim, como pode ser observado na Figura 58.

A maioria dos estudantes se dedicou e gostou de trabalhar com os conteúdos sobre os buracos negros e a teoria da relatividade restrita.

**Figura 58** - Pergunta se os estudantes pretendem se aprofundar nos assuntos abordados.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

Diante do exposto, podemos perceber que a proposta metodológica foi bem aceita pelos estudantes, tendo em vista que eles gostaram de trabalhar com a metodologia de ensino proposta e, ainda, gostaram de trabalhar na resolução dos problemas. Com os sete passos da ABP, o uso de tarefas extraclasse e dos estudos autogeridos realizados pelos estudantes, proporcionaram aos discentes uma maneira de se organizarem e se prepararem para estudos posteriores. No tocante a interação que tivemos com os grupos tutoriais, podemos apontar que esta foi desenvolvida com muita responsabilidade e respeito aos colegas. Acreditamos que abordar conceitos físicos em toda a sua dimensão, utilizando metodologias que estimulam a participação ativa dos estudantes e com o uso de alguns recursos, como simuladores, vídeos curtos e artigos/livros para leitura, com uma abordagem diferenciada, possibilita a construção de conceitos e fenômenos físicos.

De maneira geral, a aplicação da sequência de ensino apresentou um efeito bastante positivo nos aspectos desejados, uma vez que demonstrou uma forma de se trabalhar a disciplina de Física e os conteúdos da TRR e dos Buracos Negro de maneira mais atrativa e inovadora, saindo do tradicionalismo, sem que precisássemos fazer uso de materiais de apoio caros e de difícil acesso. As atividades que foram desenvolvidas na sequência com o uso da metodologia ativa ABP, foi bastante eficaz, pois permitiu a participação dos estudantes de forma ativa, assim como possibilitou que os mesmos pudessem construir os seus conhecimentos, uma vez que a relação entre os estudantes nos grupos tutoriais e dos estudantes com a professora tutora foi de cooperação, respeito e crescimento.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de Física ainda se apresenta na maioria das vezes de um modo descontextualizado frente às novas demandas exigidas para a educação básica, é observado diariamente que o ensino ainda carrega em sua base uma metodologia mais tradicional que está preocupada com o resultado final, com uma nota para a avaliação dos estudantes. Em oposição a esse processo, este trabalho teve como objetivo aplicar, analisar e desenvolver uma proposta de ensino embasada na metodologia de ensino ativa ABP, buscando compreender como as aulas e as novas posturas dos estudantes podem contribuir para o entendimento de conceitos físicos, em especial conceitos da Física contemporânea.

Além das demandas e desafios já destacados, ainda tivemos algumas problemáticas que foram enfrentadas pelos professores e estudantes nos anos de 2020 e 2021, que tiveram que se adaptar aos meios digitais e plataformas virtuais, modificando todo o processo de ensino, por estarem enfrentando uma pandemia. Frente a essa problemática, não ficamos de fora e enfrentamos essa realidade. Sendo assim, a sequência de ensino que foi pensada para ser aplicada de modo presencial passou por alguns ajustes para que pudesse ser aplicada em regime remoto, tendo em vista que a população vem enfrentando um cenário pandêmico e isto dificultou ainda mais o processo de ensino.

Partindo destes pressupostos, respondemos ao seguinte questionamento: a metodologia ativa de aprendizagem baseada em problemas, para o ensino remoto, pode favorecer o processo de ensino e aprendizagem da Física no Ensino Médio? E como os estudantes avaliam essa metodologia ativa?

Para responder à questão de pesquisa, elencamos alguns objetivos: I) realizar uma revisão bibliográfica dos trabalhos que já haviam sido publicados sobre a Física moderna, em especial a teoria da relatividade restrita e dos buracos negros no ensino médio, entre os anos de 2015 a 2020, realizando uma revisão nos principais periódicos da área de Ciências/Física, e obtendo com isso uma visão geral das pesquisas realizadas; II) desenvolver uma proposta de ensino que fosse adequada para trabalhar com estudantes do Ensino Médio, e examinar o processo de elaboração e aplicação da proposta; III) investigar se a utilização conjunta das estratégias de aprendizagem atreladas a uma metodologia de ensino ativa surte mudanças referente ao interesse e atitude dos estudantes. Para isso, foi realizado as observações em uma amostra de estudante frente às aulas que foram

ministradas com a metodologia ativa ABP; IV) conhecer a opinião dos estudantes sobre a metodologia utilizada realizando a sondagem por meio da aplicação de um questionário sobre o processo de ensino, se este favorece ou dificulta o processo de ensino aprendizagem na Física.

Com este trabalho, tínhamos como objetivo investigar as possíveis contribuições da utilização de uma metodologia ativa, mas especificamente a aprendizagem baseada em problemas, a fim de proporcionar aos nossos estudantes uma forma mais crítica e reflexiva no ensino de Física. Outrossim, propomos a construção de conceitos a partir de estudos autodirigidos e através de discussões realizadas entre os colegas dos grupos tutoriais e a professora tutora.

Em termos de aplicabilidade dessa sequência, verificamos que esta auxilia no processo de ensino em sala de aula, sobretudo, para o modelo de ensino remoto. No entanto, devemos salientar que alguns fatores técnicos devem ser levados em consideração, em especial, no que se refere ao uso da internet. Por outro lado, a proposta terá um êxito maior quanto aos meios técnicos adequados.

Na aplicação da proposta, verificamos que a própria natureza da metodologia de ensino que foi utilizada impõe a participação dos estudantes, principalmente no momento da aula, apesar de que, no início da aplicação, os estudantes estavam com vergonha e receosos, embora tivessem uma relação muito boa com a professora tutora. Contudo, ao longo dos encontros, tivemos uma interação de todos os participantes, uns mais ativos que outros, mas a maior parte sempre participando. A respeito da possível contribuição da proposta de ensino para a compreensão dos conceitos de Física, podemos apenas especular, por meio da observação aos questionários respondidos, que houveram aspectos positivos associados à metodologia utilizada. O que pudemos observar e declarar é que conseguimos obter o envolvimento dos estudantes nas aulas frente às suas mudanças de posições e declarações diante da metodologia que foi usada.

Dentro do que presenciamos na aplicação da sequência, conseguimos obter resultados positivos e promissores para nossas próximas intervenções. Foi possível averiguar e atestar o uso da metodologia ativa em ABP como uma ótima forma de trabalhar o protagonismo dos estudantes e de obter resultados promissores referente à postura dos estudantes, assim como conseguimos perceber a mudança de comportamento ao se expressarem sobre os conceitos que foram vistos em nossa sequência. Porém, um fator que nos foi desfavorável em nossa intervenção,

foi a internet, que em alguns momentos não conseguimos alcançar todos os estudantes dos grupos tutoriais, mas ao final do processo sempre era feito um feedback dos estudantes e a professora tutora podia perceber possíveis dúvidas e dificuldades de aprendizagem, que foram sanadas após a apresentação dos pontos mais importantes que foram vistos no problema.

Portanto, como resposta a questão da pesquisa – se a metodologia ativa, para aulas remotas, pode favorecer o processo de ensino e aprendizagem da Física no ensino médio – dizemos que: relativamente, depende das condições que se apresenta tanto para o professor quanto para os estudantes, principalmente no que tocante aos meios utilizados, como smartphone, notebook, tablets. A utilização da metodologia ativa atrelada a algumas estratégias de ensino, assim como utilizando-a presencialmente, pode contribuir para o processo de ensino aprendizagem.

Por fim, como resultado do trabalho, pretendemos oferecer aos professores a possibilidade de conhecer e utilizar diferentes estratégias e metodologias que permitam aos estudantes a participação e colaboração mais efetiva em sala de aula, como também a construção efetiva de conceitos de Física.

Devemos, ainda, enfatizar que apesar dos resultados terem sido favoráveis e satisfatórios neste trabalho, não podemos finalizar as conclusões sobre a investigação, pois não existe nada definitivo sempre é possível encontrar algo novo. Posto isso, podemos realizar outros trabalhos com o propósito de contribuir e expandir experiências através do uso de novas metodologias voltadas para o Ensino de Física.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. A. B. S. de. **Possibilidades e limites da aprendizagem baseada em problemas no ensino médio**. 2007. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciência). Universidade Estadual Paulista: Bauru.
- ABREU, J. R. P. **Contexto Atual do Ensino Médio: Metodologias Tradicionais e Ativas - Necessidades Pedagógicas dos Professores e da Estrutura das Escolas**. 2002. 105 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.
- AUFFRAY, J. P.; DUARTE, João CS. **O espaço-tempo**. 1.ed. Instituto Piaget. 1999.
- BALOLA, R. **Princípios matemáticos da filosofia natural: a lei da inércia**. Tese de mestrado, Estudos Clássicos, Universidade de Lisboa, Faculdade de Letras, 2011.
- BERBEL, N. A. N. **A problematização e a aprendizagem baseada em problemas: diferentes termos ou diferentes caminhos**. Interface — Comunicação, Saúde, Educação, v.2, n.2, p. 139-154, 1998.
- BERBEL, N. A. N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia dos estudantes. **Semina: Ciências Sociais e Humanas**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 25-40, jan./jun. 2011.
- BORGES, T.S; ALENCAR, G.; Metodologias ativas na promoção da formação crítica do estudante: o uso das metodologias ativas como recurso didático na formação crítica do estudante do ensino superior. **Cairu em Revista**; nº 04, p. 119-143, 2014.
- BOROCHOVICIUS, E.; TORTELLA, J. C. B. Aprendizagem Baseada em Problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas educativas. **Ensaio**. V.22, n.83, p. 263- 294, jun. 2014.
- COSTA, G. M. C. **Metodologias ativas: métodos e práticas para o século XXI**. Quirinópolis: Editora IGM, 2020.
- COUTO, R. V. L.; FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L. da. Astronomia no Ensino Médio: uma abordagem simplificada a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Revista do Professor de Física**, [S. l.], v. 3, n. Especial, p. 15–16, 2019.
- CYRINO, E. G. **Contribuições ao desenvolvimento curricular da Faculdade de Medicina de Botucatu**: descrição e análise dos cursos de Pediatria e Saúde Coletiva como iniciativas de mudança pedagógica no terceiro ano médico. 2002. 246 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina de Botucatu, 2002.
- CYRINO, E. G.; TORALLES-PEREIRA, M.L. Trabalhando com estratégias de ensino-aprendizado por descoberta na área da saúde: a problematização e a aprendizagem baseada em problemas. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 20 (3):780-788, mai-jun, 2004.

CRISTOVÃO, A. M. et al. DESAFIANDO CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS COM KIT LEGO: Releitura do experimento de lançamento vertical em movimento com o uso de um Kit LEGO. **Seminário de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação**, 2016.

DA SILVA, A. C; DE CHIARO, S. O impacto da interface entre a aprendizagem baseada em problemas e a argumentação na construção do conhecimento científico. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 3, p. 82, 2018.

DIESEL, A; BALDEZ, A. L. S; MARTINS, S. N. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. **Revista Thema**, v. 14, n. 1, p. 268-288, 2017.

FAGUNDES, H. V. **Teoria da Relatividade no Nível Matemático do Ensino Médio**. 1. ed. SP: Editora Livraria da Física, 2009.

FONSECA, S. M.; MATTAR, J. Metodologias ativas aplicadas à educação a distância: revisão da literatura. **Revista EDaPECI**, v. 17, n. 2, p. 185-197, 2017.

FRANCHI, C. M. G. G.; REIS, R. G.; NETO, MF Borges. Breve História dos buracos negros. **Revista científica UNILAGO**, v.1, n.1, 2014.

FRANCO, E. K; MASETTO, M. T. Currículo por projetos no ensino superior: desdobramentos para a inovação e qualidade na docência. **Revista Triângulo**, v. 5, n. 2, 2012.

GONÇALVES, Karen Magno. **Uma proposta para o ensino de conceitos da física moderna por meio da aprendizagem baseada em problemas**. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino Tecnológico) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro, Manaus, 2020.

HALLIDAY, D. 1916-2010 **Fundamentos de física, volume 4 : óptica e física moderna** / David Halliday , Robert Resnick , Jearl Walker ; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. - 10. ed. – [Reimpr.]. Rio de Janeiro : LTC, 2019.

INTERESTELAR. Direção: Christopher NOLAN. Warner Bros. **Pictures**. 2014

LOPES, R. M. et al. **Características gerais da aprendizagem baseada em problemas**. AUTORES (MINICURRÍCULO), p. 45, 2019.

MACHADO, R. R. e TORT, A. C. Michell, Laplace e as estrelas negras: uma abordagem para professores do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 38, n. 2, 2016.

MARTINS, D. A. N. **Tratamento interdisciplinar e inter-relações entre Matemática e da Física: potencialidades e limites da implementação dessa perspectiva**. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) PUC/SP, 2005.

MARTINS, G. A., THEÓPHILO, C. R. **Metodologia da Investigação Científica para Ciências Sociais Aplicadas**. São Paulo: Atlas, 2007.

MORÁN, J. **Mudando a educação com metodologias ativas**. Coleção mídias contemporâneas. Convergências midiáticas, educação e cidadania: aproximações jovens, v. 2, n. 1, p. 15-33, 2015.

MOREIRA, M. A. Pesquisa em ensino: aspectos metodológicos. **Actas del PIDEDEC**: Programa internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias 5: 101-136, 2003.

NEVES, J. Relatividade bem comportada: buracos negros regulares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, 2017.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica: Ótica, relatividade, física quântica (vol. 4)**. 2. ed. Editora Blucher, 2014.

PINHEIRO, T.F.; PINHO-ALVES, J. O que pensam os estudantes do Ensino Médio sobre projetos temáticos nas aulas de Física. **X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Londrina, PR. Atas do X EPEF, v. 1. p. 1-10. 2006.

POZO, J.I. **Aprendizes e mestres. A nova cultura da aprendizagem**. Porto Alegre, Artemed, 1. ed. 2002.

RIBEIRO, L. R. C. Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em Engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 27, p. 23-32, 2008.

RIBEIRO, L. R. C. **Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior**. 1. ed. São Carlos: UduFSCAR, 2008.

RIBEIRO, Luis Roberto de Camargo. **A aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma implementação na educação em engenharia na voz dos atores**. 2005. 236 f. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

RIBEIRO, L. R. C; MIZUKAMI, M. G. N. Uma experiência com a PBL no ensino de engenharia sob a ótica dos alunos. **Revista de Ensino de Engenharia**, v.23, n. 1. 2004.

RODRIGUES, Magna Coeli Soares. **A ABP como estratégia didática e a astronomia como contexto no ensino da quantidade de movimento**. 2019. 273 f. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

SANTOS, A. B. **A teoria da relatividade restrita em uma sequência de ensino potencialmente significativa com o uso de histórias em quadrinhos**. Dissertação (mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física- MNPEF)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS, Tramandaí-RS. 2019.

SANTOS, C.G.B. **Explorando a Aprendizagem Baseada Problemas no Ensino Médio par tratar de temas interdisciplinares a partir das aulas de química**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). Universidade de São Paulo: São Paulo.

SANTOS, M. L. dos. **Aplicação do Problem Based Learning (PBL): uma percepção dos coordenadores dos cursos de Ciências Contábeis**. 2014. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cont. Atuariais) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2014.

SCHINZEL, G. H. **Buracos negros: uma proposta de sequência didática em forma de UEPS para o Ensino Médio**. 2021. 216 f., il. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física)-Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SCHWARTZ, J. **O momento criativo**. São Paulo: Editora Best Seller, 1992.

SILVA, J. G. **Aprendizagem baseada em problemas na perspectiva da sala de aula invertida: uma proposta no ensino de física**. 2020. Dissertação (Curso de / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba. 2020.

SILVA, W. B.; DELIZOICOV, D. Aprendizagem baseada em problemas e metodologia da problematização: perspectivas epistemológicas, diferenças e similitudes. **V ENPEC-V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2005.

SOARES, M.A. **Aplicação do método de ensino Problem Based Learning (PBL) no curso de Ciências Contábeis: um estudo empírico**. 2008. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade). Universidade de São Paulo: Ribeirão Preto.

SOUZA, S. C; DOURADO, L. Aprendizagem baseada em problemas (ABP): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. **Holos**, v. 5, p. 182-200, 2015.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A.; **Física Moderna**. 5. ed., Editora LTC, 2010.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 1994.

VALENTE, J. A. A comunicação e a educação baseada no uso das tecnologias de digitais de informação e comunicação. **Revista Unifeso – Humanas e Sociais**, v. 1, n. 1, p.141–166, 2014.

WOODS, D. R. **Problem-based learning: How to get the most out of PBL**. 2. ed. 2001.

YOUNG, H. D. **Física IV: Sears e Zemansky: óptica e física moderna** / Hugh D. Young, Roger A. Freedman; colaborador A. Lewis Ford; tradução Daniel Vieira ; revisão técnica Adir Moysés Luiz. – 14. ed. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

ZABALZA, M. A. **Diários de aula: contributo para os estudos dos dilemas práticos dos professores.** Porto: Porto Editora, 1994.

### APÊNDICE A – Questionário

<p>a) a seção que faz o levantamento sobre os educandos.</p>
<p>Email:  Nome:  Idade:  Série:  Turma:</p>
<p>b) a segunda parte em que procuramos entender se os estudantes foram capazes de adquirir conhecimentos através da metodologia ABP nos tópicos que foram abordados e como eles agiram diante da metodologia,</p>
<p>Você gostou da metodologia de aula?  <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não  Justifique a pergunta anterior.  Com relação ao formato que nossas aulas foram realizadas, fez com que você fosse mais participativo na resolução dos problemas que lhes foram apresentados?  <input type="checkbox"/> Muito pouco  <input type="checkbox"/> Pouco  <input type="checkbox"/> Razoável  <input type="checkbox"/> Ativo  <input type="checkbox"/> Muito Ativo  Com a utilização da metodologia ativa ABP que utilizamos, você conseguiu evoluir/adquirir conhecimentos nos seus estudos?  <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não  Justifique a pergunta anterior.   Com relação aos trabalhos que foram realizados em grupos tutoriais, em que medida este trabalho em grupo foi favorável para o seu desenvolvimento pessoal ?  <input type="checkbox"/> Muito pouco  <input type="checkbox"/> Pouco  <input type="checkbox"/> Razoável  <input type="checkbox"/> Ativo  <input type="checkbox"/> Muito Ativo   Você sentiu dificuldades em trabalhar no grupo discutindo o problema através da rotina dos 7 passos?  <input type="checkbox"/> Muito pouco  <input type="checkbox"/> Pouco  <input type="checkbox"/> Razoável  <input type="checkbox"/> Muito   Você sentiu dificuldade em entender as etapas a serem seguidas nos problemas apresentados?  <input type="checkbox"/> Sim, precisei da ajuda do professor  <input type="checkbox"/> Não, foi como se o professor estivesse falando.  Você acha viável o uso dessa metodologia em suas próximas aulas?  <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não  Justifique a sua resposta:  Com relação ao material que foi disponibilizado pelo professor, com qual intensidade você estudou os materiais de apoio?</p>

Muito pouco

Pouco

Razoável

Muito

Em que medida estudar depois da aula para resolver os problemas lhe ajudou a compreender conceitos da disciplina de Física?

Muito pouco

Pouco

Razoável

Muito

Em que medida trabalhar através de problemas, como os que lhes foram apresentados, foi uma experiência positiva para você?

Muito pouco

Pouca

Razoável

Muito positiva

O resultado do trabalho realizado pode ser considerado positivo?

Sim  Não

Justifique a sua resposta:

c) Identificar se os estudantes conseguiram ter aderência ao método ABP

Com relação a aderência ao método de ABP, você conseguiu adaptar-se a essa nova metodologia de ensino ?

Sim  Não  Talvez

Porque ? (Justificação da anterior)

Você acha que a forma como as atividades foram apresentadas e trabalhadas (metodologia) facilitou a compreensão dos conteúdos?

Sim, facilitou bastante

Sim, facilitou Foi indiferente

Não, atrapalhou

Não, atrapalhou bastante

Agora, qual a maior diferença entre o método que utilizamos e a metodologia tradicional de ensino?

Qual a metodologia que você mais se adequa depois de ter participado dessa experiência. E por quê?

d) Identificar a dificuldade/facilidade dos estudantes com relação aos temas trabalhados.

Dos assuntos abordados nas aulas sobre relatividade restrita, marque com um "D" o que teve mais dificuldade em compreender e marque com "F" o que teve mais facilidade de compreensão.

Dilatação temporal.

Contração do espaço

Simultaneidade de eventos relativísticos

Invariabilidade da velocidade da luz

Dos assuntos abordados nas aulas sobre buracos negros, marque com um "D" o que teve mais dificuldade em compreender e marque com "F" o que teve mais facilidade de compreensão.

Como ocorre a deformação do espaço.

As ideias de Jonh Michell.

As ideias de Laplace, estrela escura.

<p><input type="checkbox"/> Formação do buraco negro.</p> <p><input type="checkbox"/> Características do buraco negro.</p> <p><input type="checkbox"/> O conceito de velocidade de escape.</p>
<p>Os applets (simuladores) sobre contração do espaço, dilatação temporal e simultaneidade ajudaram na compreensão dos conceitos tratados durante a aula?*</p> <p><input type="checkbox"/> Sim, ajudou bastante</p> <p><input type="checkbox"/> Sim, ajudou</p> <p><input type="checkbox"/> Foi indiferente</p> <p><input type="checkbox"/> Não, atrapalhou</p> <p><input type="checkbox"/> Não, atrapalhou bastante</p>
<p>Você acha que os conteúdos aprendidos durante as aulas de relatividade restrita foram importantes para a sua formação enquanto estudante?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim, foi muito importante</p> <p><input type="checkbox"/> Sim, foi um pouco importante</p> <p><input type="checkbox"/> Não foi importante</p>
<p>Você gostaria de aprofundar seus conhecimentos sobre a teoria da relatividade restrita para melhor compreendê-la?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim</p> <p><input type="checkbox"/> Não</p>
<p>Deixe aqui alguma sugestão ou comentário sobre as aulas de Buracos Negros e Relatividade Restrita.</p>

## **APÊNDICE B – Produto Educacional**



Universidade  
Estadual da  
Paraíba

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



# SEQUÊNCIA DE ENSINO

PRODUTO EDUCACIONAL

**ABP: UMA PROPOSTA  
PARA O ENSINO DA  
RELATIVIDADE**

**Ana Suênia de Pontes Ferreira**

**Ana Raquel Pereira de Ataíde.**

*Olá, professora! Olá, professor!*

Este material é um produto educacional que visa facilitar o trabalho do(a) professor(a) na inclusão de metodologias ativas. Abordando temas da física contemporânea a sequência de ensino foi elaborada como pré-requisito parcial para a obtenção do título de mestre de um dos autores junto ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Este material corresponde a uma sequência de ensino pensada e elaborada para tornar as aulas mais dinâmicas e interativas seja no ensino presencial, híbrido<sup>10</sup> ou remoto. A sequência é apresentada para ser trabalhada em um ambiente de ensino remoto, podendo ser adaptada para híbrido e presencial.

Neste guia, as atividades e aulas são desenvolvidas norteando as habilidades e competências que são propostas pela BNCC para que os estudantes tenham a capacidade de tomar decisões no meio social de maneira mais autônoma, além de desenvolver a habilidade de resolver problemas, trabalhar a criatividade, comunicar-se melhor, criar a competência de argumentação e outros objetivos que são contemplados para que o estudante seja o protagonista. Nele, o foco será em temas que abranjam a dimensão da aprendizagem centrada no/a estudante e na construção de um ambiente colaborativo.

Desse modo, construímos este guia como forma de auxiliar os professores de Física durante a inserção do conteúdo de relatividade utilizando o tema Buracos Negros como eixo motivador, em turmas do segundo/terceiro ano do ensino médio ou em uma turma mista que contempla os estudantes do primeiro, segundo e terceiro ano do ensino médio (ELETIVA)<sup>11</sup>. O nosso principal objetivo nesse guia é proporcionar aprendizagens mais significativas dos conceitos, fenômenos e equações<sup>12</sup> inseridos nessa temática.

Assim, os temas que vão nortear os problemas geradores na sequência são: Buracos Negros, Conceito de Relatividade, Tempo e Espaço, Contração e Dilatação do Tempo, Equações de Galileu e Lorentz. Esses conceitos são abordados superficialmente em livros didáticos. Para atender nossa proposta iremos fazer uso

---

<sup>10</sup> Como sugestões usar o classroom

<sup>11</sup> ELETIVA: Definimos a eletiva como uma disciplina de livre escolha dos estudantes, respeitando suas reais necessidades e interesses (art. 2º da Res. 57/2000). Essas disciplinas podem ser computadas para efeito de carga horária necessária para a integralização curricular.

<sup>12</sup> Livro a teoria da relatividade no nível médio.

de uma metodologia ativa ABP-PBL (Aprendizagem Baseada em Problemas- Problem Based Learning).

Portanto, diante desse contexto apresentamos uma sequência de ensino para professores da educação básica, em especial professores de Física, com o objetivo de promover a utilização de vários recursos como filme, documentário, simuladores, e tem como eixo principal utilizar os problemas geradores que foram construídos pelo professor como um elemento facilitador para a construção de conhecimentos físicos. A finalidade dos problemas geradores é auxiliar na abordagem do conteúdo de Relatividade e engajar o aluno no processo de aprendizagem desse conteúdo.

Este objeto de estudo é composto por uma sequência de 18 aulas<sup>13</sup>, a primeira e segunda aula contém uma inserção as estratégias de ensino da ABP, da terceira até a oitava abordaram o tema buracos negros, da nona até a decima oitava serão inseridos temas que versam sobre a teoria da relatividade.

Deste modo, você encontrará 04 temas:

01 – Tema 1- Metodologia ABP (2 aulas)

02 – Tema 2 - Buracos Negros (6 aulas)

03 – Tema 3 – Teoria da Relatividade (1ª parte) (6 aulas)

04 – Tema 4 – Teoria da Relatividade (2ª parte) (4 aulas)

---

<sup>13</sup> Não é necessário que o tempo proposto seja seguido. Depende do desempenho da turma

# TEMA 1

## *Metodologia ABP*

*“O futuro está aqui, só não  
está uniformemente  
distribuído.”  
-William Gibson*

---

**TEMA:**

Aprendizagem Baseada em Problemas

---

**OBJETIVO:**

Compreender o que é a metodologia ativa ABP e como será utilizada nas aulas.

---

**PÚBLICO-ALVO:**

Ensino Médio

---

**DURAÇÃO:**

1 momento de 50 min

Inicialmente será apresentado aos discentes o cronograma da disciplina, com os conteúdos que serão abordados, as atividades e avaliações, que acontecerão durante a disciplina. Em seguida, o(a) professor(a) deverá explicar para os discentes a metodologia ativa de ensino que será utilizada nesse processo metodológico. Nesta explicação, o(a) professor(a) deve pontuar todos os conceitos que estão presentes na ABP desde o posicionamento do aluno até a nova característica do professor, o tutor, e deixar bem claro as etapas que os estudantes terão que passar para a resolução do problema. Como essa metodologia depende bastante do envolvimento do estudante para ter um desempenho satisfatório é necessário que neste momento o(a) professor(a) realize um contrato com a turma, para que eles possam entender que boa parte dessa estratégia depende deles. Esse contrato servirá para que o aluno compreenda o seu papel, o do professor e o da instituição de ensino. Portanto, é necessário que o(a) professor(a) utilize-se dessa estratégia “contrato de aprendizagem”. O objetivo dessa prática é chamar a atenção do aluno para o seu papel dentro dessa metodologia ativa, como também sobre a sua responsabilidade no processo de assimilação do conhecimento e de desenvolvimento das competências necessárias para o exercício profissional.

Acadêmico(a): (Fulana da Silva), residente e domiciliado(a) na Rua (xxx), nº (xxx), bairro (xxx), CEP (xxx), Cidade (xxx), no Estado (xxx), devidamente matriculado(a) no (nome da escola).  
Professor Genésio Dantas, docente da (nome da instituição).

As partes acima identificadas têm, entre si, justo e acertado, o presente Contrato de Aprendizagem, que se regerá pelas cláusulas seguintes descritas no presente.

#### **DO OBJETO DO CONTRATO**

Cláusula 1ª. O presente contrato tem como OBJETO o plano de aprendizagem, a ser vigorado de (xxx) a (xxx), a ser seguido pelos alunos e professor.

Parágrafo Único. O plano de aprendizagem poderá sofrer ajustes no decorrer do semestre letivo, para melhor adequação à demanda dos alunos, do calendário letivo e do processo de ensino-aprendizagem.

#### **CONDIÇÕES GERAIS**

Cláusula 2ª. O presente contrato passa a vigorar entre as partes a partir da sua assinatura.

Cláusula 3ª. Segue, em anexo, o plano de aprendizagem do estudante.

#### **DO PROCESSO DE APRENDIZAGEM**

Cláusula 4ª. O processo de aprendizagem universitária, de acordo com suas características próprias, deverá ter como princípios:

O protagonismo do estudante no processo de aquisição do conhecimento, incluindo-se a mediação do docente.

- I. A essência como significado: quando esse tipo de aprendizagem ocorre, o elemento de significado para o aprendiz é construído na experiência total.
- II. A dedicação à pesquisa: o estudante deve dedicar parte de seu tempo acadêmico ao desenvolvimento da pesquisa relacionada com os conteúdos apresentados em aula.
- III. O compromisso com a extensão: o estudante deve dedicar-se à extensão como parte significativa da práxis formativa e da formação do cidadão crítico e reflexivo.
- IV. O empreendedorismo: o estudante dos cursos da (nome da instituição de ensino superior – IES) deve demonstrar espírito empreendedor dentro de suas respectivas atuações profissionais como forma de intervir na realidade social local.

#### **DO PERFIL DO ESTUDANTE**

Cláusula 5ª. O perfil do estudante de (curso) da (IES) deve conjugar-se aos objetivos estabelecidos pela instituição e contemplar:

- I. Envolvimento pessoal: inclusive seus sentimentos aos aspectos cognitivos.
- II. Autonomia: mesmo havendo o estímulo por parte do docente, o aluno deve ter a consciência de que o maior estímulo é intrínseco.
- III. Responsabilidade: o estudante é responsável pela execução das atividades propostas, bem como pela participação nas atividades sugeridas.

#### **DAS ATRIBUIÇÕES DO DOCENTE**

Cláusula 6ª. Compete ao docente da disciplina:

- I. Mediar o processo de aprendizagem.
- II. Incentivar o estudante a resolver as atividades de forma autônoma.
- III. Auxiliar aqueles que demonstrarem dificuldades com a metodologia ativa.
- IV. Propor situações concretas e debruçar-se na resolução delas.
- V. Apresentar o planejamento das atividades docentes.

#### **DA AVALIAÇÃO**

Cláusula 7ª. Todas as avaliações elaboradas no curso devem ser de natureza formativa, processual e participativa.

Cláusula 8ª. As avaliações serão discutidas até 24 horas após sua realização.

Cláusula 9ª. As partes elegem a (IES) como depositária do contrato.

Por estarem assim justos e contratados, firmam o presente instrumento, em 2 (duas) vias de igual teor, juntamente com 2 (duas) testemunhas.

(Local, data e ano)

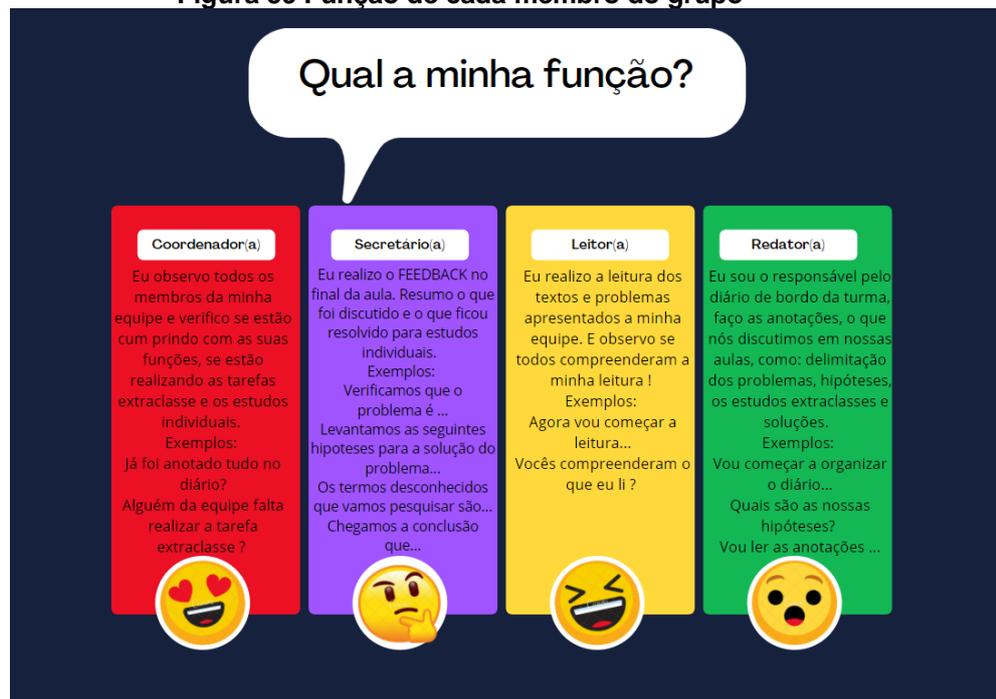
(Nome e assinatura do discente) (Nome e assinatura do discente)

FONTE: Carmargo, Fausto. (2018)

Após a realização do contrato com os discentes, chegou o momento em que o(a) professor(a) terá que realizar a divisão dos grupos, como na explicação os estudantes já tem noção que vão trabalhar com grupos tutoriais. Neste momento o(a) professor(a) tem que conhecer o perfil dos estudantes, pois é necessário que a formação dos grupos seja bem diversificada, para que os grupos tenham alunos bem distintos com relação à postura em sala de aula. Para que os estudantes fiquem acomodados com a situação do grupo é bom o tutor(a) argumentar os pontos positivos, por exemplo, que futuramente na vida profissional não temos a opção de escolher nossos colegas de trabalho, e ainda assim temos que aprender a trabalhar de forma colaborativa.

Seguindo, o tutor(a) realizará a montagem dos grupos. Cada grupo deverá conter no máximo cinco indivíduos. Com todas as equipes definidas, cada estudante receberá um cartão explicativo de funções (Figura 1) que deverá exercer em seu grupo.

Figura 59 Função de cada membro do grupo



Fonte: Adaptado de Silva (2020)

A utilização de funções para os estudantes irá guiá-los em suas tarefas em sala de aula, em como eles devem proceder com seus colegas de turma, é importante ressaltar ao grupo que o coordenador é a figura principal, ou seja, o líder da equipe, entretanto ele também deve ser observado com relação as suas funções,

assim todos podem dar contribuições para ele exercer bem as duas funções. O objetivo de incumbir funções é principalmente estimular a participação de todos os membros da equipe de forma equivalente. O(A) professor(a) poderá indicar a função de cada estudante em seus respectivos grupos, desde que os estudantes façam um rodízio de funções entre eles para que todos possam ter a experiência de cada função.

Neste momento o(a) professor(a) informa aos estudantes que será criado um grupo no WhatsApp para facilitar a comunicação dos integrantes. Neste grupo serão passados avisos importantes e algumas atividades, textos, documentários entre outros, que serão encaminhadas tanto na sala de aula do Google Classroom como no WhatsApp.

## ATIVIDADE EXTRACLASSE

A primeira atividade deverá ser a criação do diário de bordo<sup>14</sup> dos grupos tutoriais. Os integrantes do grupo deverão criar um PADLET<sup>15</sup> e compartilhar com o(a) professor(a) para que ele possa acompanhar o progresso das resoluções de problemas dos integrantes do grupo, cada grupo deve escolher um nome para a sua equipe. Para isto deve ser disponibilizado aos estudantes o *link* (<https://www.padlet.com/>).

O(A) professor(a) pode disponibilizar para os estudantes o seguinte vídeo Padlet: como criar um mural virtual (<https://youtu.be/tfAXW8pW2vc>) que mostra as funções desse site e como criar. O(A) professor(a) indicará o modelo de Padlet de coluna. Veja um exemplo neste link (<https://padlet.com/anapontes198/svbp9uathj2rssa>). Cada aluno terá o seu diário de bordo individual que poderá ser como este exemplo (<https://padlet.com/anapontes198/uvt4hryvax3mwmbt>)

## MATERIAL DE APOIO

<sup>14</sup> Para o(a) professor(a) que vai aplicar a proposta no modo presencial pode acessar o link para imprimir a tabela organizacional que é o nosso diário de bordo.

<sup>15</sup> Padlet permite o compartilhamento dos murais com outras pessoas, facilitando a distribuição de tarefas em equipes de trabalho e turmas de estudo. Neste ambiente os estudantes e principalmente o redator do grupo tem que fazer as suas anotações e divisão de atividades.

Professor(a), este vídeo que será disponibilizado para os estudantes é para que eles se familiarizem com o que vão estudar em nossas próximas aulas. Este vídeo fala sobre a origem e a morte das estrelas, o vídeo é intitulado como “De poeira estelar a supernovas: O ciclo de vida das estrelas” está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1wPSGIV84aI>. Neste vídeo, o apresentador faz uma breve descrição do processo de evolução das estrelas e como acontece a morte dessas estrelas tornando-se supernovas, anãs brancas, estrelas de nêutrons ou buracos negros que é o nosso estudo principal. Esse vídeo deve ser passado para que o estudante consiga compreender todo o processo antes da morte de uma estrela.

## ATIVIDADE EXTRACLASSE

A segunda atividade será a realização de um quizz sobre o vídeo que eles assistiram, a realização desse quizz é uma forma de verificar se os estudantes assistiram ao vídeo, fizeram a leitura e se eles fizeram uma pesquisa sobre o ciclo das estrelas, até porque o vídeo é bem resumido, é necessário que o discente vá em busca de mais informações.

Fica a critério do(a) professor(a) o que irá utilizar para fazer o questionário com os estudantes. No quadro de sugestões temos o formulário do Google Forms<sup>16</sup> e o Quizizz<sup>17</sup>, os dois permitem que o(a) professor(a) faça o questionário. Assim, neste link o(a) professor(a) terá acesso ao questionário no Quizizz:

### Sugestões:

1. Formulário do Google forms
2. Quizizz



<sup>16</sup> é um serviço gratuito de múltipla escolha, faz opções. A ferramenta para eventos, convites

<sup>17</sup> É uma ferramenta

avaliação na forma de escolha múltipla ou verdadeiro/ falso, mas que também pode ser usada para receber feedback das aprendizagens dos alunos, em tempo real, em sala de aula ou como trabalho de casa. Link com a explicação de como realizar a conta e começar a criar os quiz. [https://esfdferreira.files.wordpress.com/2018/03/tutorial\\_quizizz.pdf](https://esfdferreira.files.wordpress.com/2018/03/tutorial_quizizz.pdf)

pesquisas de , entre outras zar inscrições

os para fazer

<https://quizizz.com/admin/quiz/60dc560bc6e97b001d263023> (OBS: o professor pode copiar esse mesmo quiz e receber as repostas de seus estudantes).

Para a utilização do Quizizz o(a) professor(a) terá que realizar o cadastro na plataforma, esse cadastro é gratuito, basta entrar com um e-mail e senha. É uma plataforma em que os alunos utilizam o seu dispositivo móvel para visualizar as perguntas e para respondê-las, sendo de imediato informado se acertou ou não nas respostas.

# TEMA 2

## *Buracos Negros*

*"Eu sou apenas uma criança que nunca cresceu. Eu ainda faço perguntas de 'como' e 'por que'. Ocasionalmente eu encontro uma resposta."*

*- Stephen Hawking*

---

TEMA:

Buracos Negros

---

OBJETIVO:

Compreender as características de um Buraco Negro, por meio da metodologia ativa ABP.

---

PÚBLICO-ALVO:

Ensino Médio

---

DURAÇÃO:

6 aulas de 50 min

---

COMPETÊNCIAS DA BNCC:

1. Conhecimento.
  2. Pensamento científico, crítico e criativo.
  6. Cultura digital.
  7. Argumentação.
  9. Empatia e cooperação.
  10. Responsabilidade e cidadania.
- 

HABILIDADES IDEPB:

Matriz de referência de Língua Portuguesa:

H1- Reconhecer a unidade temática de um texto.

H2- Localizar informações explícitas em um texto.

H3- Inferir o sentido de uma palavra ou expressão.

H4- Inferir uma informação implícita em um texto.

Matriz de referência de Matemática:

H08 - Resolver situações-problema que envolvem área e perímetro de superfícies planas limitadas por segmentos de retas e/ou arcos de circunferência, propondo soluções adequadas às demandas da região, envolvendo as medições e cálculos supramencionados.

H09 – Resolver e elaborar problemas que envolvam grandezas determinadas pela razão ou pelo produto de outras (velocidade, densidade demográfica, etc.).

H05 - Resolver e elaborar problemas em contextos que envolvem fenômenos periódicos reais (ondas sonoras, fases da lua, movimentos cíclicos, entre outros) e comparar suas representações com as funções seno e cosseno, no plano cartesiano, com ou sem apoio de aplicativos de álgebra e geometria.

H04 – Resolver problema que envolva variação proporcional, direta ou inversa, entre grandezas.

Inicialmente pretendemos organizar os estudantes em seus grupos tutoriais. Cada um será direcionado em uma sala temática do Google Meet<sup>18</sup>, (OBS: Na criação das salas temáticas o(a) professor(a) tem que assinar a plataforma do google workspace para ter acesso a essa função, ou pode utilizar o Firefox nele é possível o(a) professor silenciar as reuniões de cada grupo, ou pode escutar todos os grupos simultaneamente, se um dos grupos pedir alguma informação, o professor pode ouvir apenas um grupo silenciando os demais.). Assim, com os grupos organizados o(a) professor(a) vai disponibilizar a planilha com os resultados e questões do último questionário para os discentes, cada grupo vai analisar as questões que o componente do grupo errou e tentar explicar para ele a questão correta, essa estratégia é conhecida como *brainwriting*, após essa análise e discussões dessas questões os estudantes estão liberados para os próximos passos.

Posteriormente no segundo encontro, com os grupos tutoriais organizados, o(a) professor(a) deverá retomar sucintamente aos sete passos que compõem a metodologia, para que alunos tenham noção das funções que todos os estudantes devem desenvolver. Contudo, é importante ressaltar que o mais importante é o empenho do grupo para a resolução do problema, uma vez que é através dele que serão adquiridos conhecimentos relacionados a temas da disciplina.

Depois dessas orientações, o(a) professor(a) deverá verificar o modelo de diário de bordo do grupo tutorial (modelo disponível: <https://padlet.com/anapontes198/svbp9uatrhj2rssa>) e o problema em ABP a seguir.

## PROBLEMA

---

<sup>18</sup> É um serviço de comunicação por vídeo desenvolvido pelo Google. Essa ferramenta vem auxiliando os professores no ensino remoto. Como nossa proposta é para ser realizada no ensino remoto, ele irá nos ajudar nesse propósito.

Os estudantes da ECI Francisco Pessoa de Brito montarão um grupo de pesquisa para observação noturna, o clube de protagonismo: **DESVENDANDO ENIGMAS**; O grupo é responsável pela pesquisa e desenvolvimento da exploração espacial da região de Araçagi-PB e tem a finalidade de criar programas e missões para explorar o universo através de tecnologia de ponta – foguetes, satélites, robôs e etc. Sua missão é "fomentar o futuro na pesquisa, descoberta e exploração espacial". Em uma de suas observações identificaram uma região bem escura que dista cerca de 3.500 anos luz da terra, decidiram então nomear essa região como V616 Monocerotis, após algumas pesquisas conseguiram encontrar algumas informações sobre a região, e descobriram que um físico teórico já tinha falado sobre tal região e que tinha chamado de “estrela escura” e que elas são resultado de um colapso gravitacional, uma das características dessa região é que ela é a deformação do espaço-tempo e que o seu poder é tão grande que a luz não consegue escapar, de acordo com o Albert Einstein. Para que possam desmistificar e ajudar na divulgação da ciência atual esse grupo de pesquisadores vai em busca de mais informações. Sua primeira missão é explorar essa região, com a equipe unida os estudantes tem que apresentar e explicar para a comunidade escolar o que é essa região, porque elas se formam dentre outras características que eles possam apresentar.

Após a apresentação da situação problema, os alunos serão guiados pelo(a) professor(a) para que eles não pulem nenhum passo de nossa metodologia. Nesse momento é importante que o professor esteja atento ao que os discentes estão debatendo em cada grupo tutorial.

**Passo 1 – Leitura e Identificação do problema (8 min)**

Neste passo o(a) professor(a) apresentará o problema para os discentes, espera-se que os mesmos de posse dos setes passos da metodologia ABP e com o diário de bordo aberto, faça a leitura e consiga tirar do problema a ideia central.

Na construção do problema que é do tipo estruturado, foram inseridos conceitos, propositalmente não conhecidos pelos discentes, mas que não interferem na compreensão da questão central. Desse modo, espera-se que os discentes percebam que a ideia central do problema é *a região escura que foi chamada de “estrela escura” que vista 3.500 anos luz da terra e que a missão desses pesquisadores é a divulgação científica sobre essa região.*

Assim, os estudantes precisam identificar que região é essa que é chamada de estrela escura? Como se formam essas regiões? Quais os tipos e por que eles estão no centro de galáxias? Se isso é comprovado? Quais são as características principais dessa região e entender o conceito de ano luz. E qual é a solução mais adequada à resolução deste problema?

Professor(a) deixe que os estudantes deem sugestões de como eles pretendem fazer essa divulgação científica seja com um blog, uma página no Facebook ou Instagram da escola ou um específico.

O próprio problema traz essas informações, mas se os discentes não conseguirem achar a ideia central, o(a) professor(a) deve ajudá-los, tendo um cuidado para não dar as respostas, porque como já estamos acostumados com a metodologia tradicional pode ser que você fique tentado a responder. É importante conduzir o estudante através de perguntas, como por exemplo:

- ✓ *De acordo com o que vocês leram na redação do problema, ele se refere a quê? (professor(a))*
- ✓ *Segundo o que está escrito, qual a região que os pesquisadores pretendem explorar? O que eles precisam divulgar para a comunidade escolar? (professor(a))*

O(a) professor(a) deve explicar que o propósito deste momento ainda não é explicar o porquê ou como, mas definir em forma de pergunta o problema a ser solucionado. Espera-se que para este momento, os estudantes percebam que a solução para o problema é: *a divulgação científica sobre os buracos negros.* Portanto, questões como as que seguem abaixo, podem ser elaboradas pelas equipes como síntese do problema:

- ✓ *Como podemos conseguir mais informações sobre os buracos negros, a sua formação, as primeiras observações e as suas características? (equipes)*
- ✓ *Como podemos fazer a divulgação científica sobre os buracos negros para a comunidade escolar? (equipes)*
- ✓ *O que vamos produzir para essa divulgação (Ex.: Vídeo explicando, cartazes, uma palestra)? (equipes)*

Após isso vamos para o segundo passo

### **Passo 2 - Delimitar o problema (10 min)**

Neste momento o(a) professor(a), deve nortear os alunos para que eles anotem os pontos que estão claros no problema e os que eles não conhecem. O que está explícito no problema e que eles podem conhecer são:

- ✓ É uma região que deforma o espaço-tempo e nem a luz consegue escapar dessa região.

E as expressões que os estudantes não conhecem e que precisam ser estudadas, são:

- ✓ “Estrela escura” = Buracos Negros.
- ✓ V616 Monocerotis.
- ✓ Colapso gravitacional.
- ✓ Dista 3500 anos luz da terra.

Nesse momento o(a) professor(a) pode orientar os estudantes a irem pensando sobre que tipo de decisão pode ser tomada para a solução do problema.

### **Passo 3 - *Brainstorming*/ chuva de ideias/ análise do problema com conhecimentos prévios (15 min)**

Neste passo, os estudantes serão orientados pelo(a) professor(a) para discutir o problema utilizando os conhecimentos prévios e o senso comum para formular explicações e buscar respostas para o problema sem se preocuparem com a exatidão das informações ou com preconceitos sobre as ideias sugeridas no grupo.

É importante e necessário que todos da equipe expressem as suas ideias e sugestões, levantando, pelo menos uma hipótese/afirmação sobre o contexto do problema. O respeito pela opinião dos colegas de equipe deverá ser um ponto estimulado.

Perpassando esse momento o(a) professor(a) deverá levantar questões, fazendo com que as equipes percebam o enquadramento do problema, se por acaso algum grupo não chegar à questão chave do problema, pode ser feito algumas indagações para todos os grupos ou apenas para os que não conseguiram achar a questão do problema. Por exemplo:

- ✓ *Por que vocês acham que os buracos negros são formados através dos colapsos de estrelas?*
- ✓ *Por que depende da massa da estrela? Como vocês chegaram a essa afirmação? (professora)*
- ✓ *Quais seriam os passos para que isso ocorra? (professora)*
- ✓ *Por que vocês acham que ele engole qualquer coisa que se aproxime dele? (professora)*

Professor(a), os estudantes têm que estar conscientes que as suas respostas são ou devem ser fundamentadas nos dados disponibilizados no problema. Por exemplo: a formação dos Buracos Negros e o entendimento da evolução estelar.

**SUGESTÃO:**  
**Professor (a) essa aula pode ser dividida em dois momentos.**

- 1º momento: aborda os conceitos iniciais para formação do BN
- 2º momento: Apresenta o que são os BN e as suas características.



É importante que neste passo os estudantes se sintam à vontade, expressando suas posições e entendendo a importância da discussão para elaborarem e fundamentarem suas hipóteses.

#### **Passo 4 - Detalhar explicações / Sistematizar análises e hipóteses de explicação ou solução do problema (10 min)**

Neste momento, os estudantes devem ser orientados a resumir a discussão, selecionando e organizando na tabela as afirmações e/ou hipóteses levantadas, que expliquem de forma coerente a possível solução do problema.

### **Passo 5 - Propor temas de aprendizagem autodirigida (8 min)**

Neste momento, os grupos tutoriais devem discutir o problema e definir o objetivo, assim como deve, sistematizar a aprendizagem autodirigida, ou seja, precisa-se definir o que será pesquisado sobre o problema para que assim eles possam propor uma solução no nosso próximo encontro.

Finalizando o encontro em sala de aula, após realizarem todos os passos anteriores, os estudantes devem ser orientados a fazerem um resumo oral sobre o que foi realizado em sala de aula. Assim, o escritor de cada uma das equipes, de posse do diário de bordo, fará um resumo e feedback do que foi discutido, o que foi resolvido e o que ficou para pesquisas individuais. (Tempo estimado: 14 min).

Espera-se que entre os temas para pesquisa estejam os de colapso gravitacional, formação dos buracos negros, ano luz, e V616 monocerotis. Caso essas expressões não se encontrem na lista dos objetivos de pesquisa, o(a) professor(a) poderá chamar atenção dos grupos, questionando-os sobre o que significam e o que elas têm a ver com o problema anunciado, assim os estudantes poderão perceber que tais expressões necessitam ser mais bem estudadas.

Professor(a) fique atento a este passo, pois através dele será possível perceber os temas que foram citados pelos estudantes. Para que a partir daí você se organize para preparar e disponibilizar materiais de apoio para os estudos extraclasse, caso esses não estejam em seu planejamento anterior.

### **Passo 6 - Busca de informações no estudo individual**

Após esse encontro, cada estudante tem consigo uma seleção de temas, termos ou expressões confusas e/ou desconhecidas que foram selecionados do problema para serem pesquisados em ambiente extraclasse.

É o momento no qual os alunos farão estudos a respeito dos conteúdos, inseridos intencionalmente e como parte integrante do problema. Os materiais de apoio a serem disponibilizados, proporcionam aos estudantes informações que esclareçam esses conceitos. Vejamos.

## **MATERIAL DE APOIO**

Essa primeira parte do material de apoio será voltada para a formação dos buracos negros, os tipos de buracos negros e os primeiros estudos e teóricos que estudavam sobre os buracos negros.

1. O primeiro material de apoio é o vídeo: Nascimento de um buraco negro que está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=lszKXnUhrNU>, esse vídeo é um recorte do documentário sobre os buracos negros da Discovery Channel e está legendado.
2. Buracos negros, como eles surgem. Está disponível em: <https://youtu.be/WvQlhMjGo4M>, neste vídeo os estudantes vão se nortear com a base de todo o estudo dos buracos negros a gravidade e estudar parcialmente como eles se formam.
3. Nosso terceiro material é uma leitura de um artigo disponível em: [https://www.sbhc.org.br/arquivo/download?ID\\_ARQUIVO=2900](https://www.sbhc.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=2900) que está intitulado como as estrelas, a luz e os corpos escuros no século XVIII: uma tradução comentada de um artigo de John Michell (1724-1793). Professor(a), nesse momento é bom deixar claro para os estudantes que eles não precisam se atentar as equações matemáticas nesse momento, até porque a nossa principal ideia é a teoria da relatividade, e o conteúdo de buracos negros é a motivação.
4. Nosso quarto material é um Podcast sobre os buracos negros na ciência ON. Disponível em: <https://anchor.fm/ciencion/episodes/CienciON10-Buraco-Negro-no-Horizonte-e5mrbm/a-ap855a>. Esse podcast é muito interessante e vai falar sobre os teóricos que iniciaram os estudos sobre os buracos negros, vai nortear o conceito de velocidade de escape e gravidade.

## ATIVIDADE EXTRACLASSE

Como uma forma de incentivar o estudo dos materiais de apoio disponibilizados, os estudantes deverão responder fazer um fichamento sobre o artigo: “As estrelas, a luz e os corpos escuros no século XVIII: uma tradução comentada de um artigo de John Michell (1724-1793)”.

### **Passo 7 – Avaliação. Retorno dos estudantes as equipes**

Nesse momento acontecerá um encontro via Google Meet. Nesta aula os estudantes devem voltar aos grupos tutoriais para que cada um relate aos demais as informações que anotaram durante o estudo autodirigido, sintetizando, integrando os conhecimentos adquiridos e revisando as hipóteses iniciais para o problema.

Após isso, o(a) professor(a) deve pedir que cada grupo prepare uma breve apresentação e desenvolva um mini relatório escrito (incluindo referências e dados usados na solução do problema) a ser entregue juntamente com a tabela organizacional<sup>19</sup> (Apêndice-B).

## MOMENTO 2

Segundo momento está relacionado a nossa quarta aula, vamos nortear os estudantes para as características de um buraco negro. Como esse problema abrange uma questão muito ampla, iremos precisar de mais um momento com os estudantes para que estes se organizem novamente e assim possam reavaliar o problema e passar pelos 7 passos novamente, agora eles vão se nortear para as características dos buracos negros.

### **Passo 1 – Leitura do problema (2 min)**

Neste momento os estudantes já têm o problema delimitado, mas são necessários alguns estudos relacionados às características dos Buracos negros. Assim, é pertinente que os estudantes releiam o problema e veja o que está faltando para a conclusão e o fechamento desse problema.

### **Passo 2 - Delimitar o problema (10 min)**

Neste momento o(a) professor(a), deve nortear os alunos para que eles anotem os pontos que estão faltando para a resolução do problema.

- ✓ Quais as características que estão presentes em um buraco negro?

E as expressões que os estudantes não conhecem e que precisam ser estudadas são:

- ✓ Singularidade.
- ✓ Horizonte de eventos.
- ✓ O que pode acontecer com uma pessoa se ela cair num Buraco Negro?
- ✓ Os buracos negros se movem?
- ✓ Como se alimenta um buraco negro?
- ✓ O que é o Efeito espaguetificação?

---

<sup>19</sup> Se for trabalhar presencial o(a) professor(a) acessa o link e pode fazer o download das tabelas. E quem tiver o interesse de aplicar no modo remoto sugiro colocar a tabela em drive no Excel para cada estudante, ou melhor, abre uma sala no google classroom e cada aluno terá acesso a tabela. Disponível em: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1MEBfvMbxW3GDZHPzmLPpuerEcl4GD11v/edit?usp=sharing&ouid=103049323184860137386&rtpof=true&sd=true>

### **Passo 3 - *Brainstorming*/ chuva de ideias/ análise do problema com conhecimentos prévios (15 min)**

Neste momento, os estudantes são organizados em grupos e a partir do senso comum apresenta aos demais companheiros o que eles já conhecem sobre o problema.

Perpassando esse momento o(a) professor(a) deverá levantar questões, fazendo com que as equipes percebam o que está faltando identificar no problema.

Por exemplo:

- ✓ *Quais as características de um buraco negro? (professor(a))*
- ✓ *Quais as regiões de um buraco negro? (professor(a))*
- ✓ *Por que os objetos não podem se aproximar do horizonte de eventos? (professor(a))*

### **Passo 4 - Detalhar explicações / Sistematizar análises e hipóteses de explicação ou solução do problema (10 min)**

Neste momento, os estudantes devem ser orientados a resumir a discussão, selecionando e organizando no diário de bordo as afirmações e/ou hipóteses levantadas, que expliquem de forma coerente a possível solução do problema.

### **Passo 5 - Propor temas de aprendizagem autodirigida (8 min)**

Como os estudantes já vão estar reunidos em seus grupos tutoriais, repetem o mesmo processo que foi realizado anteriormente, a proposta de temas para a busca de informações. Neste instante, o redator do grupo faz o feedback do que foi discutido e apresenta a equipe o que cada componente vai ser responsável de realizar na pesquisa individual.

Espera-se que entre os temas para pesquisa estejam os de singularidade, horizonte de eventos, raio de Schwarzschild, espaguetificação, o crescimento de um BN. Se por acaso algumas dessas expressões não forem citadas pelos estudantes, o(a) professor(a) poderá conversar com os discentes para que reveja o que é necessário estudar para concluir o problema.

### **Passo 6 - Busca de informações no estudo individual**

Chegou o momento em que os estudantes fazem a busca de informações individuais para sanar as possíveis dúvidas que eles ainda carregam. Após a realização dessa busca, e dos materiais de apoio que estão disponíveis abaixo serem lidos pelos estudantes, eles estarão aptos para solucionar o problema em

nosso próximo encontro, a leitura é realizada extraclasse, os alunos tem em torno de 7 dias para fazer a leitura do material proposto.

## MATERIAL DE APOIO

Professor(a), a segunda parte do material de apoio será voltada para as características de um buraco negro, assim como as novidades que possam aparecer ao longo das aulas sobre as curiosidades e as atuais notícias da evolução dos estudos sobre os buracos negros que fica á critério do estudante se embasar.

1. Minicurso realizado pelo International Center for Theoretical Physics- South American Institute for Fundamental Research (ICTP-SAIFR), com professora palestrante Cecília Chirente sobre os buracos negros realizada em 1 e 8 de maio de 2021, esse minicurso traz muitos conhecimentos sobre os buracos negros, é extremamente importante, está intitulado como Um passeio pela Astrofísica -- destino: buraco negro, a aula 1 disponível em : <https://youtu.be/iwAACs4LyE> e a aula 2 está disponível em: <https://youtu.be/ZfSFtrj7p50>.
2. O segundo material disponível para apoio é um vídeo que fala sobre os primeiros teóricos que estudavam os buracos negros, mas com um diferencial que ele responde à pergunta que os estudantes mais fazem: o que aconteceria se você caísse em um buraco negro? O vídeo está disponível em: <https://youtu.be/GbJJRsS6OR4> e está intitulado como Buracos Negros Explicados.
3. O terceiro é um livro de Buracos negros: palestras da BBC reith lectures, o livro é uma tradução da palestra que foi transmitida pela BBC em 2 de fevereiro de 2016 com o físico Stephen Hawking. Este livro tem leitura rápida, ele tem 62 páginas. O livro está disponível em: <https://cienciadoamanha.files.wordpress.com/2019/02/buracos-negros-stephen-hawking.pdf>
4. Esse material é um vídeo curto da NASA que está disponível em: <https://svs.gsfc.nasa.gov/13773>, intitulado como Ciência Hubble: buracos negros, do mito à realidade tem duração de 2:37 minutos. Está em inglês e legendado.

## ATIVIDADE EXTRACLASSE

Para conseguir monitorar os estudantes com relação aos materiais de apoio, se estão realmente assistindo às palestras e fazendo a leitura, será pedido neste momento um resumo do livro (item três do material de apoio) que contém a palestra traduzida do Stephen Hawking. Como pretendo utilizar o Google sala de aula, as atividades e material vão estar inseridos neste ambiente.

### **Passo 7 – Avaliação. Retorno dos estudantes às equipes**

Neste passo, que é desenvolvido em uma aula de 50 min, é o momento de os estudantes se juntarem e compartilharem o que estudaram e pesquisaram durante o estudo autogerido, sintetizando, integrando os conhecimentos adquiridos e revisando as hipóteses iniciais para o problema. Como eles já tem em mente como vão fazer a divulgação científica, só vai organizar para a divulgação.

Após isso, o(a) professor(a) deve pedir que cada grupo prepare as suas apresentações e atualize o mini relatório escrito (incluindo referências e dados usados na solução do problema) que foi pedido nas aulas anteriores.

Após a apresentação dos grupos, o(a) professor(a) deve pontuar os conteúdos de física que foram estudados através do problema, abordando em síntese de revisão os conteúdos estudados. Em seguida o(a) professor(a) apresenta uma autoavaliação e avaliação entre pares do grupo conforme seu empenho no desenvolvimento do projeto proposto.

Por fim, o(a) professor(a) fará um feedback de todo o processo da atividade em ABP, fechando a sequência de atividades e concluindo a segunda aula da proposta de ensino.

Para encerrar o nosso 1º problema em ABP, iremos ter uma aula para assistir o documentário que está disponível na NETFLIX que está intitulado Buracos Negros no limite do conhecimento. Professor(a) fica ao seu critério passar esse documentário na escola ou deixar como material de apoio. A realidade da minha escola é diferente, logo pretendo passar o filme on-line com os meus estudantes.

# TEMA 3

## *Teoria da Relatividade*

### *1ª Parte*

*“Se eu vi mais longe, foi  
por estar sobre ombros de  
gigantes.”  
-Isaac Newton*

TEMA:

Teoria da Relatividade

---

OBJETIVO:

Compreender os conceitos iniciais para a introdução da relatividade. Compreender que a Teoria da Relatividade constitui um novo modelo explicativo para o universo uma nova visão de mundo.

---

CONTEÚDOS:

1. A Física pré-relativística.
  2. A luz como fenômeno ondulatório.
  3. O aparecimento da relatividade e o abandono do éter.
  4. Referencial inercial
  5. Espaço e tempo
- 

PÚBLICO- ALVO:

Ensino Médio

---

DURAÇÃO:

4 momentos de 50 min

---

COMPETÊNCIAS DA BNCC:

1. Conhecimento.
2. Pensamento científico, crítico e criativo.
6. Cultura digital.

7. Argumentação.
  9. Empatia e cooperação.
  10. Responsabilidade e cidadania.
- 

#### HABILIDADES IDEPB:

Matriz de referência de Língua Portuguesa:

H1- Reconhecer a unidade temática de um texto.

H2- Localizar informações explícitas em um texto.

H3- Inferir o sentido de uma palavra ou expressão.

H4- Inferir uma informação implícita em um texto.

Matriz de referência de Matemática:

H08 - Resolver situações-problema que envolvem área e perímetro de superfícies planas limitadas por segmentos de retas e/ou arcos de circunferência, propondo soluções adequadas às demandas da região, envolvendo as medições e cálculos supramencionados.

H09 – Resolver e elaborar problemas que envolvam grandezas determinadas pela razão ou pelo produto de outras (velocidade, densidade demográfica etc.).

H05 - Resolver e elaborar problemas em

contextos que envolvem fenômenos periódicos reais (ondas sonoras, fases da lua, movimentos cíclicos, entre outros) e comparar suas representações com as funções seno e cosseno, no plano cartesiano, com ou sem apoio de aplicativos de álgebra e geometria.

H04 – Resolver problema que envolva variação proporcional, direta ou inversa, entre grandezas.

Dando seguimento a nossa sequência de ensino vamos abordar o nosso segundo problema que tem como objetivo analisar os conceitos iniciais que foram mudados ao longo do século para chegar aos postulados propostos pelo Einstein. Nesta aula o(a) professor(a) deve apresentar o seguinte problema.

## PROBLEMA

“É comprovado através de observações que os Buracos Negros são tão massivos que deformam a região do espaço-tempo a sua volta”. Esse trecho foi retirado de uma das postagens realizada pelos estudantes em sua rede social Instagram. Após várias especulações da comunidade escolar diante da divulgação realizada pelo grupo em sua primeira postagem na rede social sobre a formação dos buracos negros e suas principais características, surgiram vários comentários na postagem. Alguns comentários do tipo: Esse astro suga até a luz? A velocidade da luz tem limite? O porquê da palavra espaço-tempo juntos? Como também ficou um suspense entre os internautas e os moradores da região com a seguinte indagação “Se o sol é uma estrela ele pode se tornar um buraco negro e engolir a terra?” Diante dessas indagações em suas redes sociais, o clube de protagonistas da Escola Francisco Pessoa de Brito está envolvido nessa pesquisa de divulgação científica em sua região e se prontificaram em fazer a divulgação científica, com isso é necessário dar seguimento a seus estudos e agora incluir a teoria da relatividade, e para isso, explicar conceitos simples como noções de espaço e tempo que de acordo com o físico Isaac Newton são absolutos e para o Albert Einstein eles não são absolutos, assim como a partir dessas duas vertentes teóricas analisarem o conceito de referencial inercial e não inercial, que está intimamente ligado com os estudos de espaço e de tempo. Assim como é necessário analisar os estudos sobre a velocidade da luz e quais são as mudanças teóricas do século XIX para o século XX. Incumbidos de sua mais nova missão, os estudantes iniciarão suas pesquisas para novas publicações/divulgações científicas.

Após a apresentação os alunos vão seguir novamente os sete passos para a resolução do problema. O professor deve guiá-los para que não avancem em nenhuma etapa.

### **Passo 1 – Leitura e Identificação do problema (8 min)**

Neste passo o(a) professor(a) apresentará o problema para os discentes e espera que os mesmos de posse dos setes passos da metodologia ABP e com o diário de bordo aberto faça a leitura e consiga tirar do problema a ideia central.

Seguindo o mesmo raciocínio do problema anterior, que é do tipo estruturado, espera-se que os discentes percebam que a ideia central é *entender a física pré-relativística com os estudos do espaço-tempo e a luz como onda eletromagnética para chegar ao aparecimento da relatividade*.

Desse modo, os estudantes precisam pesquisar sobre a quebra de paradigma que surgiu entre o século XIX e XX com os estudos de Newton e Einstein sobre espaço e tempo, entender sobre o conceito de referencial inercial e não inercial e analisar os conceitos sobre a luz e o abandono do éter. Como também é de se esperar que os mesmos entendam qual é *a solução mais adequada à resolução deste problema (que já deve estar decidido desde o primeiro problema)*.

Professor(a), este momento é bem delicado porque você tem que ter o cuidado de não dar as respostas prontas para os discentes. Como o próprio problema traz algumas informações, o professor deve guiá-los para encontrar a ideia central do problema, caso os estudantes não consigam encontrar. O(A) professor(a) deve conduzir os estudantes através de perguntas, como por exemplo:

- ✓ *De acordo com o que vocês leram na redação do problema, ele se refere a quê? (professor(a))*
- ✓ *Segundo o que está escrito, qual era o pensamento de Newton e de Einstein com relação ao espaço e o tempo? (professor(a))*
- ✓ *Que mudanças aconteceram após a divulgação do pensamento de Einstein sobre espaço e tempo? (professor(a))*
- ✓ *O que os estudos da velocidade influenciaram na física relativística.*
- ✓ *O que eles precisam divulgar para a comunidade escolar? (professor(a))*

O(a) professor(a) deve deixar claro que neste momento não é necessário explicar o porquê ou como, mas definir em forma de pergunta o problema a ser solucionado. Espera-se que para este momento, os estudantes percebam que a

solução para o problema é: *a divulgação científica sobre os conceitos iniciais para estudar a relatividade e necessariamente fazer essa divulgação científica*. Portanto, questões como a seguir, podem ser elaboradas pelas equipes como síntese do problema:

- ✓ *Como podemos conseguir mais informações sobre a quebra de paradigmas, quais os pensamentos dos teóricos daquela época com relação ao espaço e o tempo? (equipes)*
- ✓ *Como podemos analisar os estudos da luz como onda como seguimento para a teoria da relatividade?*
- ✓ *Como podemos fazer a divulgação científica sobre a teoria da relatividade para a comunidade escolar? (equipes)*
- ✓ *O que vamos produzir para essa divulgação (Ex.: Vídeo explicando, cartazes, uma palestra)? (equipes)*

Após isso vamos para o segundo passo

### **Passo 2 - Delimitar o problema (10 min)**

Neste momento o(a) professor(a), deve nortear os alunos para que eles anotem os pontos que estão claros no problema e os que eles não conhecem. O que está explícito no problema e que obviamente eles conhecem são:

- ✓ Qual foi a mudança que ocorreu do Séc. XIX para o XX nos estudos referentes à Física.
- ✓ Apenas um cientista contribuiu para essas mudanças?

E as expressões que os estudantes não conhecem e que precisam ser estudadas são:

- ✓ “espaço-tempo
- ✓ Referencial inercial e não inercial
- ✓ Velocidade limite para a luz
- ✓ Tempo e espaço absolutos.

Nesse momento o(a) professor(a) pode orientar os estudantes a irem pensando sobre que tipo de decisão pode ser tomada para a solução do problema.

### **Passo 3 - *Brainstorming*/ chuva de ideias/ análise do problema com conhecimentos prévios (15 min)**

Como no problema anterior, esse é o momento em que os estudantes vão discutir o problema utilizando os conhecimentos prévios e o senso comum para formular explicações e buscar respostas para o problema, sem se preocuparem com a exatidão das informações ou com preconceitos sobre as ideias sugeridas no grupo.

Sempre é bom lembrar que é importante e necessário que todos da equipe expressem as suas ideias e sugestões levantando, pelo menos, uma hipótese/afirmação sobre o contexto do problema. O respeito pela opinião dos colegas de equipe deve ser um ponto estimulado.

Perpassando esse momento o(a) professor(a) deverá levantar questões, fazendo com que as equipes percebam o enquadramento do problema. Por exemplo:

- ✓ *Por que vocês acham que foram necessárias tais mudanças de paradigmas? (professor(a))*
- ✓ *Por que a ciência gregoriana não servia para os conceitos da mecânica relativística? (professor(a))*
- ✓ *Por que após os estudos realizados com a luz a ciência se desenvolveu mais? (professora(a))*
- ✓ *Por que os resultados da experiência de Michelson e Morley não foi o esperado? Como vocês chegaram a essa afirmação? (professor(a))*
- ✓ *Por que alguns teóricos abandonaram a hipótese do éter? (professor(a))*

### **Passo 4 - Detalhar explicações / Sistematizar análises e hipóteses de explicação ou solução do problema (10 min)**

Os estudantes devem ser orientados a resumir a discussão, selecionando e organizando na tabela as afirmações e/ou hipóteses levantadas, que expliquem de forma coerente a possível solução do problema.

### **Passo 5 - Propor temas de aprendizagem autodirigida (8 min)**

Como os estudantes já vão estar reunidos em seus grupos tutoriais, repetem o mesmo processo que foi realizado anteriormente, a proposta de temas para a busca de informações. Neste instante, o redator do grupo faz o feedback do que foi

discutido e apresenta à equipe o que cada componente vai ser responsável de realizar na pesquisa individual.

Finalizando o encontro em sala de aula, após realizarem todos os passos anteriores, os estudantes devem ser orientados a fazerem um resumo oral sobre o que foi realizado em sala de aula. Assim o escritor de cada uma das equipes, de posse da tabela organizacional, fará um resumo e feedback do que foi discutido, o que foi resolvido e o que ficou para pesquisas individuais. (Tempo estimado: 14 min).

É esperado que entre os temas para a pesquisa estejam os de física pré-relativística, leis do movimento de Newton, leis da eletrodinâmica, experimento de Michelson e Morley, hipótese do éter e o aparecimento da relatividade. Caso essas expressões não se encontrem na lista dos objetivos de pesquisa, o(a) professor(a) poderá chamar atenção dos grupos, questionando-os sobre o que significam e o que elas têm a ver com o problema anunciado, assim os estudantes poderão perceber que tais expressões necessitam ser estudadas melhor.

Neste momento é importante o(a) professor(a) ficar atento, porque terá uma visão dos temas propostos pelos estudantes para os estudos autogeridos e a partir daí organiza-se para preparar e disponibilizar materiais de apoio para os estudos extraclasse, caso esses não estejam em seu planejamento anterior.

### **Passo 6 - Busca de informações no estudo individual**

Neste momento, cada estudante tem consigo uma seleção de temas, termos ou expressões confusas e/ou desconhecidas que foram selecionados do problema para serem pesquisados em ambiente extraclasse.

É o momento no qual os alunos farão estudos a respeito dos conteúdos da Física, inseridos intencionalmente e como parte integrante do problema. Os materiais de apoio a serem disponibilizados, proporcionam aos estudantes informações que esclareçam esses conceitos. Vejamos.

## **MATERIAL DE APOIO**

Professor(a), o material de apoio será voltado para a quebra de paradigma do século XIX e o século XX, assim como os conceitos iniciais mais importantes para a abordagem da teoria da relatividade.

1. O princípio da relatividade - de Galileu a Einstein, disponível em: <https://www.rbhm.org.br/index.php/RBHM/article/view/221/207>.
2. O éter na história da física vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=0Ayx7CYyxTY>
3. O espaço tempo explicado, vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kJ5xNaSleTI>
4. Referencial inercial e não inercial com o professor Douglas, o vídeo explica muito bem os dois conceitos de referenciais. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=oujRf-SsLb8>
5. Equações de Maxwell explicadas, vídeo fala sobre as famosas equações de Maxwell e provam a existência do que nós conhecemos como luz, que nada mais é do que ondas eletromagnéticas que se propagam pelo espaço com velocidade constante (que é a velocidade da luz). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sMpj3Vn0bfE>
6. O livro Teoria da Relatividade: No nível matemático do ensino médio. (Livro disponível na biblioteca da escola). Helio V. Fagundes. Leitura do Capítulo 1
7. Física e História, é um artigo do Roberto de Andrade Martins que faz um resumo dos avanços, fracassos e sucessos da física ao longo do tempo. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v57n3/a15v57n3.pdf>

## ATIVIDADE EXTRACLASSE

Para conseguir monitorar os estudantes com relação aos materiais de apoio, se estão realmente assistindo as palestras e fazendo a leitura será pedido neste momento um fichamento do artigo disponível no item 1, e o resumo do capítulo 1 do livro que está disponível no item 6, esses dois materiais dão suporte para o nosso próximo encontro em sala de aula, assim como para o próximo problema. Como pretendo utilizar o Google sala de aula, as atividades e material vão estar inseridos neste ambiente.

### **Passo 7 – Avaliação. Retorno dos estudantes as equipes**

Neste passo, que deverá ser desenvolvido em uma aula de 50 min, é o momento dos estudantes se juntarem e compartilhar o que estudaram e pesquisaram durante o estudo autodirigido, sintetizando, integrando os conhecimentos adquiridos e revisando as hipóteses iniciais para o problema. Como eles já tem em mente como vão fazer a divulgação científica, eles só organizam para a divulgação.

Após isso, a professora deve pedir que cada grupo prepare as suas apresentações e atualize o mini relatório escrito (incluindo referências e dados usados na solução do problema) que foi pedido nas aulas anteriores.

Após a apresentação dos grupos, o(a) professor(a) deve pontuar os conteúdos de física que foram estudados através do problema, abordando em síntese de revisão os conteúdos estudados. Em seguida o(a) professor(a) apresenta uma autoavaliação e avaliação entre pares do grupo conforme seu empenho no desenvolvimento do projeto proposto.

Por fim, o(a) professor(a) fará um feedback de todo o processo da atividade em ABP, fechando a sequência de atividades e concluindo o terceiro tema das aulas propostas.

# TEMA 4

## *Teoria da Relatividade*

### *2ª Parte*

*“A mente que se abre a uma  
nova ideia jamais voltará ao  
seu tamanho original.”  
-Albert Einstein*

TEMA:

Teoria da Relatividade

---

OBJETIVO:

Compreender que a Teoria da Relatividade constitui um novo modelo explicativo para o universo uma nova visão de mundo.

---

CONTEÚDOS:

1. Os Postulados de Einstein
  2. A transformação de Lorentz
  3. O tempo e o espaço relativístico
    - a. Intervalos entre dois eventos
    - b. Simultaneidade
    - c. Dilatação do tempo
    - d. Massa variável
    - e. O paradoxo dos gêmeos
- 

PÚBLICO-ALVO:

Ensino Médio

---

DURAÇÃO:

4 aulas de 50 min

---

COMPETÊNCIAS DA BNCC:

1. Conhecimento.
2. Pensamento científico, crítico e criativo.
6. Cultura digital.

7. Argumentação.
  9. Empatia e cooperação.
  10. Responsabilidade e cidadania.
- 

#### HABILIDADES IDEPB:

Matriz de referência de Língua Portuguesa:

- H1- Reconhecer a unidade temática de um texto.
- H2- Localizar informações explícitas em um texto.
- H3- Inferir o sentido de uma palavra ou expressão.
- H4- Inferir uma informação implícita em um texto.

Matriz de referência de Matemática:

- H08 - Resolver situações-problema que envolvem área e perímetro de superfícies planas limitadas por segmentos de retas e/ou arcos de circunferência, propondo soluções adequadas às demandas da região, envolvendo as medições e cálculos supramencionados.
- H09 – Resolver e elaborar problemas que envolvam grandezas determinadas pela razão ou pelo produto de outras (velocidade, densidade demográfica, etc.).
- H05 - Resolver e elaborar problemas em

contextos que envolvem fenômenos periódicos reais (ondas sonoras, fases da lua, movimentos cíclicos, entre outros) e comparar suas representações com as funções seno e cosseno, no plano cartesiano, com ou sem apoio de aplicativos de álgebra e geometria.

H04 – Resolver problema que envolva variação proporcional, direta ou inversa, entre grandezas.

Dando seguimento a nosso guia didático, abordaremos o nosso terceiro problema que tem como objetivo analisar os postulados de Einstein e quais as mudanças feitas para que possamos compreender o mundo das grandes velocidades. Nesta aula o(a) professor(a) deve apresentar o seguinte problema. (Professor(a) neste problema é interessante que os estudantes realmente assistam ao filme, Interstellar, para que a partir da obra cinematográfica, possam trazer termos que eles não conhecem e que conhecem). Neste caso, é preferível que o(a) professor(a) separe duas aulas (1 encontro) para que os estudantes possam assistir ao filme na escola.

## PROBLEMA

Após alguns estudos envolvendo os participantes do clube de protagonismo “Desvendando Enigmas”, seguindo com seus objetivos de divulgação científica. Apresentaram trechos do filme *Interstellar*, no seu Instagram. O intuito foi divulgar essa obra que conta com a participação de um físico muito famoso, o Thorne, além disso aproxima-se do que realmente pode acontecer. Os participantes do clube de protagonistas assistiram ao filme e se propuseram a fazer a divulgação.

Desfecho do filme:

A partir do que os estudantes viram no filme fizeram uma divulgação na rede social de um trecho, após essa divulgação surgiram várias dúvidas sobre esse trecho do filme que aconteceu já no final, cujo reencontro entre o pai e a filha, que são protagonistas do enredo do filme, se dá na estação espacial da NASA, o qual Cooper acorda, tendo envelhecido pouco e Murphy, sua filha, já uma idosa. Novamente, o nosso público-alvo nas redes sociais ficaram sem entender o que aconteceu. E surgiram mais perguntas do tipo: Mas como isso é realmente possível? Como não observamos tais fenômenos de dilatação do tempo e contração do espaço no nosso dia-dia? Chegamos a mais uma missão para esse clube de protagonistas. Explicar tal situação!

Após a apresentação de trechos do filme<sup>20</sup> *Interstellar* aos estudantes, que vai servir como base para que eles possam fazer os estudos dos termos que eles conhecem dos que não conhecem o professor pode apresentar o problema em ABP para que eles possam dar seguimento a nossa sequência. Desse modo, os alunos vão seguir novamente os sete passos para a resolução do problema. O professor deve guiá-los para que não pulem nenhuma etapa.

### **Passo 1 – Leitura e Identificação do problema (8 min)**

Neste passo o(a) professor(a) apresentará o problema para os discentes e espera-se que os mesmos de posse dos setes passos da metodologia ABP e com o diário de bordo aberto faça a leitura e consiga tirar do problema a ideia central.

---

<sup>20</sup> Caso não seja possível o(a) professor(a) passar o filme para os estudantes em sala de aula é viável passar como material de apoio para que eles possam diagnosticar mais conceitos que não conhecem, favorecendo um diálogo mais rico nas intervenções em sala de aula.

Seguindo o mesmo raciocínio do problema anterior, que é do tipo estruturado, espera-se que os discentes percebam que a ideia central é *entender os postulados de Einstein e as mudanças que teve naquela época para explicar alguns efeitos que acontecem com o espaço e o tempo quando viajamos em altas velocidades e a partir desses estudos fazer a divulgação científica.*

Desse modo, os estudantes precisam pesquisar sobre os postulados de Einstein, a transformação de Lorentz e sobre o tempo e o espaço na relatividade. Apesar de estar em resumo, dentro desses conceitos principais temos vários outros que precisam ser entendidos. Como também é de se esperar que os mesmos entendam qual é *a solução mais adequada à resolução deste problema com relação a divulgação (que já deve estar decidido desde o primeiro problema).*

Professor(a), este momento é bem delicado porque você tem que ter o cuidado de não dar as respostas prontas para os discentes. Como o próprio problema e o filme trazem algumas informações, o professor deve guiá-los para encontrar a ideia central do problema caso os estudantes não consigam encontrar. O(A) professor(a) deve conduzir os estudantes por meio de perguntas, como por exemplo:

- ✓ *De acordo com o que vocês leram na redação do problema, ele se refere a quê? (professor(a))*
- ✓ *Segundo o que está escrito e o que foi visto no filme sobre o tempo e o espaço, como vocês podem explicar isso? (professor(a))*
- ✓ *Quais as contribuições que essa observação mental trouxe para a física (professor(a))*
- ✓ *O que está acontecendo com o pai e a filha? (professor(a))*
- ✓ *É possível que haja diferentes idades para irmãos que nasceram no mesmo dia? (professor(a))*
- ✓ *Como vocês vão apresentar de forma coerente uma explicação para essa situação? (professor(a))*

O(A) professor(a) deve deixar claro que neste momento não é necessário explicar o porquê ou como, mas definir em forma de pergunta o problema a ser solucionado. Espera-se que para este momento, os estudantes percebam que a solução para o problema é: *a divulgação científica sobre a dilatação do tempo, a contração do espaço, e necessariamente fazer essa divulgação científica.* Portanto,

questões como a seguir, podem ser elaboradas pelas equipes como síntese do problema:

- ✓ *Como podemos conseguir mais informações sobre a possibilidade de o tempo passar mais devagar para uma pessoa e para outra não num mesmo universo? (equipes)*
- ✓ *Como podemos analisar a sensação de o tempo passar mais devagar para uma pessoa e outra não e isso não influenciar no tempo decorrido?*
- ✓ *Como podemos fazer a divulgação científica sobre o paradoxo dos gêmeos para a comunidade escolar? (equipes)*
- ✓ *Qual a possibilidade dessa experiência acontecer? Que exemplo citar para essa explicação? (equipes)*
- ✓ *O que vamos produzir para essa divulgação (Ex.: Vídeo explicando, cartazes, uma palestra)? (equipes)*

Após isso, seguiremos para o passo seguinte

### **Passo 2 - Delimitar o problema (10 min)**

Neste momento o(a) professor(a), deve nortear os alunos para que eles anotem os pontos que estão claros no problema e os que eles não conhecem. O que está explícito no problema e que obviamente eles conhecem são:

- ✓ Idades diferentes.
- ✓ O paradoxo dos gêmeos.

E as expressões que os estudantes não conhecem e que precisam ser estudadas são:

- ✓ Diferentes conceitos de tempo
- ✓ Conceito físico de tempo
- ✓ Velocidade relativa

Nesse momento o(a) professor(a) pode orientar os estudantes a irem pensando sobre que tipo de decisão pode ser tomada para a solução do problema.

### **Passo 3 - *Brainstorming*/ chuva de ideias/ análise do problema com conhecimentos prévios (15 min)**

Como no problema anterior esse é o momento em que os estudantes vão discutir o problema utilizando os conhecimentos prévios e o senso comum para

formular explicações e buscar respostas para o problema sem se preocupar com a exatidão das informações ou com preconceitos sobre as ideias sugeridas no grupo.

Sempre é bom lembrar que é importante e necessário que todos da equipe expressem as suas ideias e sugestões levantando, pelo menos, uma hipótese/afirmação sobre o contexto do problema. O respeito pela opinião dos colegas de equipe deverá ser um ponto estimulado.

Perpassando esse momento o(a) professor(a) deverá levantar questões, fazendo com que as equipes percebam o enquadramento do problema. Por exemplo:

- ✓ *Por que vocês acham que o tempo é relativo para duas pessoas que viajam com velocidades diferentes próximas a velocidade da luz? (professora)*
- ✓ *Por que essa situação pode ser explicada através de partículas elementares?*
- ✓ *Por que vocês acham que a diferença de idade relativa no filme é por causa da velocidade relativa?*

#### **Passo 4 - Detalhar explicações / Sistematizar análises e hipóteses de explicação ou solução do problema (10 min)**

Assim, os estudantes devem ser orientados a resumir a discussão, selecionando e organizando na tabela as afirmações e/ou hipóteses levantadas, que expliquem de forma coerente a possível solução do problema.

#### **Passo 5 - Propor temas de aprendizagem autodirigida (8 min)**

Como os estudantes já vão estar reunidos em seus grupos tutoriais eles repetem o mesmo processo que foi realizado anteriormente, a proposta de temas para a busca de informações. Neste instante, o redator do grupo faz o feedback do que foi discutido e apresenta a equipe o que cada componente vai ser responsável de realizar na pesquisa individual.

Finalizando o encontro em sala de aula, após realizarem todos os passos anteriores, os estudantes devem ser orientados a fazer um resumo oral sobre o que foi realizado em sala de aula. Assim o escritor de cada uma das equipes, de posse da tabela organizacional, fará um resumo e feedback do que foi discutido, o que foi resolvido e o que ficou para pesquisas individuais. (Tempo estimado: 14 min).

É esperado que entre os temas para a pesquisa estejam os postulados de Einstein, paradoxo dos gêmeos e tempos transcorridos entre dois eventos quaisquer. Caso essas expressões não se encontrem na lista dos objetivos de

pesquisa, o(a) professor(a) poderá chamar atenção dos grupos, questionando-os sobre o que significam e o que elas têm a ver com o problema anunciado, assim os estudantes poderão perceber que tais expressões necessitam ser mais bem estudadas.

É importante o(a) professor(a) ficar atento nesta etapa, porque terá uma visão dos temas propostos pelos estudantes para os estudos autodirigidos e a partir daí organiza-se para preparar e disponibilizar materiais de apoio para os estudos extraclasse, caso esses não estejam em seu planejamento anterior.

### **Passo 6 - Busca de informações no estudo individual**

Neste momento, cada estudante tem consigo uma seleção de temas, termos ou expressões confusas e/ou desconhecidas que foram selecionados do problema para serem pesquisados em ambiente extraclasse.

Assim, é o momento no qual os alunos farão estudos a respeito dos conteúdos da Física, inseridos intencionalmente e como parte integrante do problema. Os materiais de apoio a serem disponibilizados, proporcionam aos estudantes informações que esclareçam esses conceitos. Vejamos.

## **MATERIAL DE APOIO**

Professor(a), o material de apoio será voltado para os estudos sobre o paradoxo dos gêmeos e sobre eventos simultâneos assim como os conceitos iniciais mais importantes para a abordagem da teoria da relatividade.

8. O princípio da relatividade - de Galileu a Einstein, disponível em: <https://www.rbhm.org.br/index.php/RBHM/article/view/221/207> , neste artigo que contém 14 páginas.
9. O éter na história da física vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=0Ayx7CYyxTY>
10. O espaço tempo explicado, vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kJ5xNaSleTI>
11. Artigo: Relatividade de Einstein é testada em escala humana que está baseado no artigo (Optical Clocks and Relativity Autores: C. W. Chou, D. B. Hume, T. Rosenband, D. J. Wineland Revista: Science Data: 24 September, 2010). Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=relogios-atomicos-teoria-relatividade-escala-humana#.YQOpNY5KjIU>.
12. O livro Teoria da Relatividade: No nível matemático do ensino médio. (Livro disponível na biblioteca da escola). Helio V. Fagundes. Leitura do Capítulo 1

13. Física e História, é um artigo do Roberto de Andrade Martins que faz um resumo dos avanços, fracassos e sucessos da física ao longo do tempo . Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v57n3/a15v57n3.pdf>

## ATIVIDADE EXTRACLASSE

Para conseguir monitorar os estudantes com relação aos materiais de apoio, se estão realmente assistindo as palestras e fazendo a leitura será pedido neste momento um fichamento do artigo disponível no item 1, e o resumo do capítulo 1 do livro que está disponível no item 6, esses dois materiais dão suporte para o nosso próximo encontro em sala de aula, assim como para o próximo problema. Como pretendo utilizar o Google sala de aula, as atividades e material vão estar inseridos neste ambiente.

### **Passo 7 – Avaliação. Retorno dos estudantes as equipes**

Neste passo que será o nosso último encontro, desenvolvido em uma aula de 50 min é o momento dos estudantes juntarem-se e compartilhar o que estudaram e pesquisaram durante o estudo autogerido, sintetizando, integrando os conhecimentos adquiridos e revisando as hipóteses iniciais para o problema. Como eles já tem em mente como vão fazer a divulgação científica, eles só se organizam para a divulgação.

Após isso, o(a) professor(a) deve pedir que cada grupo prepare as suas apresentações e atualize o mini relatório escrito (incluindo referências e dados usados na solução do problema) que foi pedido nas aulas anteriores.

Após a apresentação dos grupos, a professora deve pontuar os conteúdos de física que foram estudados através do problema, abordando em síntese de revisão os conteúdos estudados. Em seguida o(a) professor(a) apresenta uma autoavaliação e avaliação entre pares do grupo conforme seu empenho no desenvolvimento do projeto proposto.

Por fim, o(a) professor(a) fará um feedback de todo o processo da atividade em ABP, fechando a sequência de atividades e concluindo o terceiro tema das aulas.

Nossa última aula será um questionário (Apêndice A) que será entregue aos estudantes que participaram da sequência de ensino, a respeito da aceitação dessa nova metodologia de ensino que foi utilizada, assim como as contribuições para a compreensão dos fenômenos físicos estudados por meio da aplicação da proposta

de ensino. O questionário a ser apresentado está estruturado em 3 partes: a) a seção que faz o levantamento sobre os educandos (por exemplo: nome, idade, série, turma etc), b) a segunda parte em que procuramos entender se os estudantes foram capazes de adquirir conhecimentos através da metodologia ABP nos tópicos que foram abordados, c) Identificar se os estudantes conseguiram ter aderência ao método ABP.

## REFERÊNCIAS CONSULTADAS:

OSTERMANN, Fernanda; RICCI, Trieste dos Santos Freire. Relatividade restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de física. **Caderno brasileiro de ensino de física. Florianópolis. Vol. 21, n. 1 (abr. 2004), p. 83-102, 2004.**

OSTERMANN, Fernanda; RICCI, Trieste dos Santos Freire. Relatividade restrita no ensino médio: contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de Física. **Caderno brasileiro de ensino de física. Florianópolis. Vol. 19, n. 2 (ago. 2002), p. 176-190, 2002.**

Gonçalves, Karen Magno. **ABP: ensino de física moderna = PBL: moderna physics teaching.** / Karen Magno Gonçalves, João dos Santos Cabral Neto. – Manaus, 2020

SILVA, Janaína Guedes. **Aprendizagem baseada em problemas na perspectiva da sala de aula invertida: uma proposta no ensino de física.** 2020. Dissertação (Curso de / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba. 2020.

GIACOMELLI, Alisson Cristian et al. Teoria da Relatividade: uma proposta didática para o ensino médio. 2016. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática - PPGECEM) da Universidade de Passo Fundo (UPF). 2016.

SANTOS, Andrios Bemfica dos. **A teoria da relatividade restrita em uma sequência de ensino potencialmente significativa com o uso de histórias em quadrinhos.** Dissertação (mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física-MNPEF)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS, Tramandaí-RS, Paraíba. 2019.

## Apêndice A – Questionário

**a) a seção que faz o levantamento sobre os educandos.**

Email:  
 Nome:  
 Idade:  
 Série:  
 Turma:

**b) a segunda parte em que procuramos entender se o estudantes foram capazes de adquirir conhecimentos através da metodologia ABP nos tópicos que foram abordados e como eles agiram diante da metodologia,**

Você gostou da metodologia de aula?

Sim  Não

Justifique a pergunta anterior.

Com relação ao formato que nossas aulas foram realizadas, fez com que você fosse mais participativo na resolução dos problemas que lhes foram apresentados?

Muito pouco

Pouco

Razoável

Ativo

Muito Ativo

Com a utilização da metodologia ativa ABP que utilizamos, você conseguiu evoluir/adquirir conhecimentos nos seus estudos?

Sim  Não

Justifique a pergunta anterior.

Com relação aos trabalhos que foram realizados em grupos tutoriais, em que medida este trabalho em grupo foi favorável para o seu desenvolvimento pessoal ?

Muito pouco

Pouco

Razoável

Ativo

Muito Ativo

Você sentiu dificuldades em trabalhar no grupo discutindo o problema através da rotina dos 7 passos?

Muito pouco

Pouco

Razoável

Muito

Você sentiu dificuldade em entender as etapas a serem seguidas nos problemas apresentados?

Sim, precisei da ajuda do professor

Não, foi como se o professor estivesse falando.

Você acha viável o uso dessa metodologia em suas próximas aulas?

Sim  Não

Justifique a sua resposta:

Com relação ao material que foi disponibilizado pelo professor, com qual intensidade você estudou os materiais de apoio?

Muito pouco

Pouco

Razoável

Muito

Em que medida estudar depois da aula para resolver os problemas lhe ajudou a compreender conceitos da disciplina de Física?

Muito pouco

Pouco

Razoável

Muito

Em que medida trabalhar através de problemas, como os que lhes foram apresentados, foi uma experiência positiva para você?

Muito pouco

Pouca

Razoável

Muito positiva

O resultado do trabalho realizado pode ser considerado positivo?

Sim  Não

Justifique a sua resposta:

### **c) Identificar se os estudantes conseguiram ter aderência ao método ABP**

Com relação a aderência ao método de ABP, você conseguiu adaptar-se a essa nova metodologia de ensino ?

Sim  Não  Talvez

Porque ? (Justificação da anterior)

Você acha que a forma como as atividades foram apresentadas e trabalhadas (metodologia) facilitou a compreensão dos conteúdos?

Sim, facilitou bastante

Sim, facilitou Foi indiferente

Não, atrapalhou

Não, atrapalhou bastante

Agora, qual a maior diferença entre o método que utilizamos e a metodologia tradicional de ensino?

Qual a metodologia que você mais se adequa depois de ter participado dessa experiência. E por quê?

**d) Identificar a dificuldade/facilidade dos estudantes com relação aos temas trabalhados.**

Dos assuntos abordados nas aulas sobre relatividade restrita, marque com um "D" o que teve mais dificuldade em compreender e marque com "F" o que teve mais facilidade de compreensão.

Dilatação temporal.

Contração do espaço

Simultaneidade de eventos relativísticos

Invariabilidade da velocidade da luz

Dos assuntos abordados nas aulas sobre buracos negros, marque com um "D" o que teve mais dificuldade em compreender e marque com "F" o que teve mais facilidade de compreensão.

Como ocorre a deformação do espaço.

As ideias de Jonh Michell.

As ideias de Laplace, estrela escura.

- Formação do buraco negro.
- Características do buraco negro.
- O conceito de velocidade de escape.

Os applets (simuladores) sobre contração do espaço, dilatação temporal e simultaneidade ajudaram na compreensão dos conceitos tratados durante a aula?\*

- Sim, ajudou bastante
- Sim, ajudou
- Foi indiferente
- Não, atrapalhou
- Não, atrapalhou bastante

Você acha que os conteúdos aprendidos durante as aulas de relatividade restrita foram importantes para a sua formação enquanto estudante?

- Sim, foi muito importante
- Sim, foi um pouco importante
- Não foi importante

Você gostaria de aprofundar seus conhecimentos sobre a teoria da relatividade restrita para melhor compreendê-la?

- Sim
- Não

Deixe aqui alguma sugestão ou comentário sobre as aulas de Buracos Negros e Relatividade Restrita.

## Apêndice B - Ficha de auto avaliação e avaliação de pares

Ficha de Auto Avaliação/ Avaliação de pares				
Nome:	Turma e Equipe:			
Colegas de Equipe:				
	Aluno 1	Aluno 2	Aluno 3	Aluno 4
Interação e respeito aos colegas.				
Participa ativamente de todas as etapas.				
Fez a pesquisa individual.				
Contribui para a solução do problema com argumentações pertinentes.				
Participou das avaliações propostas.				
Presença e pontualidade.				
Legenda para avaliação (A,B,C e D)				
A	Ótimo	O aluno é bem participativo.		
B	Bom	O aluno participa da atividade, mas não está totalmente engajado.		
C	Regular	O aluno participa do processo, porém não tem engajamento.		
D	Insuficiente	O aluno não participa do processo.		



