



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS**



**PATRICK LUIZ GUEVARA DELGADO**

**O GPS A PARTIR DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS**  
**NA EXPLICITAÇÃO DOS INVARIANTES OPERATÓRIOS**  
**RELACIONADOS AO CAMPO CONCEITUAL DA RELATIVIDADE**

**CAMPO GRANDE - MS**

**2023**

PATRICK LUIZ GUEVARA DELGADO

O GPS A PARTIR DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS NA  
EXPLICITAÇÃO DOS INVARIANTES OPERATÓRIOS RELACIONADOS AO CAMPO  
CONCEITUAL DA RELATIVIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

**Área de Concentração:** Ensino de Ciências Naturais.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lisiane Barcellos Calheiro

CAMPO GRANDE - MS

2023

## TERMO DE APROVAÇÃO

### O GPS A PARTIR DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS NA EXPLICITAÇÃO DOS INVARIANTES OPERATÓRIOS RELACIONADOS AO CAMPO CONCEITUAL DA RELATIVIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências, sob orientação da Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lisiane Barcellos Calheiro

**Área de Concentração:** Ensino de Ciências Naturais.

**Linha de Pesquisa:** A construção do conhecimento em Ciências.

### BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Lisiane Barcellos Calheiro  
Orientadora/UFMS

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Daniele Correia /UFMS

---

Prof. Dr. Dioni Paulo Pastorio/UFRGS



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS**  
**MESTRADO**

Aos catorze dias do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte e três, às oito horas, na Videoconferência, da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos membros: Lisiane Barcellos Calheiro (UFMS), Daniele Correia (UFMS) e Dioni Paulo Pastorio (UFRGS), sob a presidência do primeiro, para julgar o trabalho do mestrando: **PATRICK LUIZ GUEVARA DELGADO**, CPF 036.817.821-80, Área de concentração em Ensino de Ciências Naturais, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Curso de Mestrado, da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, apresentado sob o título "**O GPS A PARTIR DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS NA EXPLICITAÇÃO DOS INVARIANTES OPERATÓRIOS RELACIONADOS AO CAMPO CONCEITUAL DA RELATIVIDADE**" e orientação de Lisiane Barcellos Calheiro. A presidente da Banca Examinadora declarou abertos os trabalhos e agradeceu a presença de todos os Membros. A seguir, concedeu a palavra ao aluno que expôs sua Dissertação. Terminada a exposição, os senhores membros da Banca Examinadora iniciaram as arguições. Terminadas as arguições, a presidente da Banca Examinadora fez suas considerações. A seguir, a Banca Examinadora reuniu-se para avaliação, e após, emitiu parecer expresso conforme segue:

**EXAMINADOR:**

Dra. Lisiane Barcellos Calheiro ( Orientadora / Membro Interno )

Dra. Daniele Correia ( Membro Interno )

Dr. Dioni Paulo Pastorio (Membro Externo)

Dr. Wellington Pereira de Queiros ( Suplente / Membro Interno)

Dra. Carla Beatriz Spohr (Suplente / Membro Externo)

**RESULTADO FINAL: Aprovada**

<input checked="" type="checkbox"/>	Aprovação	<input type="checkbox"/>	Aprovação com revisão	<input type="checkbox"/>	Reprovação
-------------------------------------	-----------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	------------

**OBSERVAÇÕES:**

Nada mais havendo a ser tratado, o Presidente declarou a sessão encerrada e agradeceu a

todos pela presença

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Daniele Correia, Professora do Magistério Superior**, em 22/02/2024, às 09:27, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Lisiane Barcellos Calheiro, Professora do Magistério Superior**, em 22/02/2024, às 10:10, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Patrick Luiz Guevara Delgado, Usuário Externo**, em 22/02/2024, às 15:40, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Dioni Paulo Pastorio, Usuário Externo**, em 26/02/2024, às 08:59, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufms.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 4674519 e o código CRC A81FE1B0.

#### COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha orientadora, Lisiane Barcellos Calheiro, pelo empenho, dedicação, correções e horas de conversa e ideias sobre o projeto desenvolvido. Não poderia ter tido uma mentora melhor.

Agradeço também ao professor Além-Mar Bernardes Gonçalves pelo auxílio nas montagens dos aparatos experimentais e ideias no desenvolvimento dos produtos. Sem ele, muitos componentes teriam sido queimados.

Agradeço a minha mãe, Giseli Patrícia Guevara da Silva, heroína que me deu apoio desde a graduação e que, sem ela, não teria chego até aqui.

Agradeço a minha esposa, Débora Regina Menezes de Oliveira, pelo incentivo nas horas difíceis, de desânimo, cansaço e que apesar de todas às dificuldades me fortaleceu e sempre acreditou em meu potencial.

Agradeço aos meus alunos da Escola Estadual Cívico-Militar Marçal de Souza Tupã-Y pelo empenho nas atividades, que mesmo com todas as reclamações por conta do trabalho realizado, sempre se mostraram muito produtivos. Sem vocês nada disso teria sido possível.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

## RESUMO

A sociedade atual está cada vez mais dependente do uso de tecnologias e, apesar disso, são poucos os que compreendem como elas funcionam; aprende-se a utilizar um aplicativo e isso é o suficiente. Porém, muitos desconhecem que grande parte dos aparelhos utilizados diariamente, como os eletroeletrônicos, equipamentos para diagnósticos médicos e os próprios celulares, tem tecnologias fundamentadas na Física Moderna e Contemporânea. Como exemplo podemos citar o GPS, o qual utiliza em sua tecnologia, para garantir uma boa precisão na localização de objetos no globo terrestre, conceitos da Teoria da Relatividade descrita por Einstein. Assim, demonstrar aos estudantes como as tecnologias atuais funcionam é importante não só para aprimorar seus conceitos científicos, como também desenvolver seus conhecimentos como cidadão, visto ser um dos objetivos dessa instituição formar cidadãos críticos, capazes de entender e lidar com questões contemporâneas. A inserção de tópicos da Física Moderna e Contemporânea consta no currículo do Ensino Médio; a exploração do funcionamento das tecnologias relacionadas a monitoramento remoto é um exemplo. A presente dissertação, considerando esse contexto, apresenta uma sequência de ensino desenvolvida a partir da metodologia da Aprendizagem Baseada em Projetos – ABP, implementada em duas turmas de terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública localizada em Campo Grande /MS, contanto com um Projeto Piloto e um Projeto Final. Para tanto, utilizamos a Teoria dos Campos Conceituais para explicitar os possíveis invariantes operatórios relacionados à Teoria da Relatividade. O trabalho objetivou investigar como o estudo do GPS pode contribuir para um possível domínio do Campo Conceitual da Relatividade. Sobre os resultados da pesquisa, foram elaborados três trabalhos. O primeiro artigo foi publicado no 16º Simpósio de Investigação em Educação de Física, resultado do Projeto Piloto que buscou identificar os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito do GPS, bem como compreender quais eram as expectativas e anseios dos alunos relacionados ao projeto desenvolvido. Um segundo artigo, que foi aprovado para publicação na Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino, teve como objetivo analisar os invariantes operatórios sobre o campo conceitual de velocidade e aceleração, conceitos estes importantes para o estudo da Teoria da Relatividade. O terceiro trabalho foi enviado para a Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico e teve por objetivo explicitar os Invariantes Operatórios utilizando um produto tecnológico, a respeito da Teoria da Relatividade Restrita através de uma atividade investigativa, aguardando ainda um parecer da equipe editorial. Por fim, concluímos que o estudo do GPS, estruturado a partir de um ABP, se apresentou potencialmente significativo para a explicitação e evolução do domínio do Campo Conceitual da Teoria da Relatividade, promovendo uma maior difusão do estudo dessa área do conhecimento, utilizando a respectiva tecnologia como Questão Motriz, corroborando para uma aprendizagem com potencial para ser significativa.

**Palavras-chave:** Teoria dos Campos Conceituais, Aprendizagem Baseada em Projetos, Física Moderna e Contemporânea, Teoria da Relatividade, GPS.

## ABSTRACT

The current society is increasingly dependent on the use of technologies, yet few understand how they function; one learns to use an application, and that's sufficient. However, many are unaware that a large portion of the devices used daily, such as electronics, medical diagnostic equipment, and even mobile phones, have technologies grounded in Modern and Contemporary Physics. An example is the GPS, which employs concepts from Einstein's Theory of Relativity to ensure accurate object location on Earth. Therefore, demonstrating to students how current technologies operate is essential not only to enhance their scientific concepts but also to develop their knowledge as citizens. This institution aims to produce critical citizens capable of understanding and dealing with contemporary issues. The curriculum for High School includes topics from Modern and Contemporary Physics, and the exploration of technologies related to remote monitoring is an example. This dissertation, considering this context, presents a teaching sequence developed using Project-Based Learning (PBL) methodology. It was implemented in two third-year High School classes at a public school in Campo Grande/MS, involving both a Pilot Project and a Final Project. To achieve this, we utilized the Theory of Conceptual Fields to elucidate possible operational invariants related to the Theory of Relativity. The study aimed to investigate how the study of GPS could contribute to a potential mastery of the Conceptual Field of Relativity. Three works were produced as a result of the research. The first article, stemming from the Pilot Project, was published in the 16th Symposium on Physics Education Research. This article sought to identify students' prior knowledge about GPS and understand their expectations and aspirations related to the project. The second article, approved for publication in the Journal of Educational Products and Research in Teaching, aimed to analyze operational invariants on the conceptual field of velocity and acceleration—concepts crucial to the study of the Theory of Relativity. The third work was submitted to the Journal of Studies and Research in Technological Education, intending to elucidate operational invariants using a technological product related to the Theory of Relativity through an investigative activity, awaiting feedback from the editorial team. In conclusion, the study of GPS, structured through PBL, proved potentially significant for elucidating and advancing the mastery of the Conceptual Field of the Theory of Relativity. It promotes a broader dissemination of knowledge in this area, utilizing technology as a Driving Question, contributing to a learning experience with the potential to be truly meaningful.

**Keywords:** Conceptual Field Theory, Project Based Learning, Modern and Contemporary Physics, Theory of Relativity, GPS.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de Mato Grosso do Sul.....	41
Figura 2 – Transposição do mapa de Mato Grosso do Sul na cartolina utilizando um projetor de imagem feita pelos estudantes. ....	42
Figura 3 – Estudantes realizando o tracejado para determinar o raio de cada satélite. ....	42
Figura 4 – Estudantes apresentando o tema proposto na atividade. ....	45
Figura 5 – Gráfico da posição em função do tempo em Excel com o auxílio de um Arduino. ....	46
Figura 6 – Montagem do Aparato Experimental. ....	46
Figura 7 – Estudantes construindo um gráfico em função do tempo com o Arduino como recurso pedagógico.....	46
Figura 8 – Alunos respondendo as situações-problema sobre a Teoria da Relatividade e o GPS. ....	48
Figura 9 – Aparato experimental para a demonstração da Dilatação Temporal. ....	48
Figura 10 – Estudantes realizando a atividade da dilatação temporal utilizando relógios impressos em uma impressora 3D. ....	50
Figura 11 – Estudantes respondendo o questionário sobre dilatação temporal no Google. ....	51
Figura 12 – Estudantes realizando a montagem da casa inteligente e as marcações da posição dos sensores. ....	52
Figura 13 – Estudantes realizando a montagem do sensor no Arduino e testando as funcionalidades. ....	52
Figura 14 – Casa Inteligente utilizando Arduino para a execução das ações. ....	53
Figura 15 – Estudantes apresentado o Artefato elaborado. ....	53

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Método para a elaboração da Revisão Sistemática.....	19
Quadro 2 – Percorso metodológico utilizado para a obtenção dos trabalhos referente a revisão sistemática. ....	20
Quadro 3 – Critérios de Inclusão e Exclusão para a Revisão Sistemática. ....	22
Quadro 4 – Trabalhos categorizados como Sequência Didática. ....	23
Quadro 5 – Características essenciais da ABP. ....	36
Quadro 6 – Habilidade do Currículo de Referência de Mato Grosso do Sul. ....	39
Quadro 7 – Características Essenciais da ABP presentes na pesquisa. ....	40
Quadro 8 – Quadro SQP .....	40

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Tabela para anotar os dados coletados e calculados a partir do posicionamento dos satélites. ....	43
--	----

## LISTA DE SIGLAS

<b>ABP</b>	Aprendizagem Baseada em Projetos
<b>BNCC</b>	Base Nacional Comum Curricular
<b>BDTD</b>	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
<b>CNT</b>	Ciências da Natureza e suas tecnologias
<b>FMC</b>	Física Clássica e da Física Moderna e Contemporânea
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamento Global
<b>PCN</b>	Parâmetro Curricular Nacional
<b>RS</b>	Revisão Sistemática
<b>TCC</b>	Teoria dos Campos Conceituais
<b>TR</b>	Teoria da Relatividade

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
<b>3 ENQUADRAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1 Teoria dos Campos Conceituais</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2 Aprendizagem Baseada em Projetos</b> .....	<b>34</b>
<b>4 PERCURSO METODOLÓGICO</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1 Contexto da Pesquisa</b> .....	<b>37</b>
<b>4.2 O Planejamento da ABP e o Referencial da Escola</b> .....	<b>38</b>
<b>4.3 Características Essenciais da ABP</b> .....	<b>39</b>
4.3.1 Atividade 1: Conhecimentos Prévios .....	40
4.3.2 Atividade 2: Princípio da Trilateração .....	41
4.3.3 Atividade 3: Velocidade, Aceleração, o Éter, Experimento de Michaelson-Morley e os Postulados de Einstein .....	44
4.3.4. Atividade 4: Atividade experimental para trabalhar os conceitos de Velocidade e Aceleração com o uso do Arduino .....	45
4.3.5 Atividade 5: O GPS e a Teoria da Relatividade .....	47
4.3.6 Atividade 6: Dilatação Temporal .....	48
4.3.7 Atividade 7: Artefato.....	51
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
<b>5.1 Artigo 1 (Publicado no 16º Simpósio de Investigação em Educação de Física.) - A voz e a escolha do aluno para a construção de uma aprendizagem baseada em projetos</b> .....	<b>56</b>
<b>5.2 Artigo 2 (Publicado na Revista de Produtos Educacionais e Pesquisa em Ensino) - A Plataforma Arduino e seu Potencial como Ferramenta de Explicitação de Invariantes Operatórios relacionados aos Conceitos de Velocidade e Aceleração</b> .....	<b>71</b>
<b>5.3 Artigo 3 – O Arduino como Recurso Tecnológico para Explicitação de Invariantes Operatórios Relacionados a Teoria da Relatividade (Aprovado pela Revista de Estudos e Pesquisa sobre Ensino Tecnológico)</b> .....	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>110</b>
<b>ANEXO A</b> .....	<b>114</b>
<b>ANEXO B</b> .....	<b>117</b>
<b>ANEXO C</b> .....	<b>120</b>
<b>ANEXO D</b> .....	<b>121</b>
<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>129</b>
<b>APÊNDICE B</b> .....	<b>130</b>
<b>APÊNDICE C</b> .....	<b>131</b>
<b>APÊNDICE D</b> .....	<b>131</b>
<b>APÊNDICE E – ARTIGO 1</b> .....	<b>134</b>
<b>APÊNDICE F – ARTIGO 2</b> .....	<b>144</b>
<b>APÊNDICE G – ARTIGO 3</b> .....	<b>165</b>

## 1 INTRODUÇÃO

À medida que a tecnologia se torna cada vez mais presente e acessível, uma parcela da sociedade ganha acesso a uma variedade de dispositivos e ferramentas que facilitam suas rotinas e as tornam mais confortáveis (FREITAS, 2019). Os jovens vivenciam uma realidade que se transforma todos os dias, com o rápido avanço e aprimoramento dos dispositivos tecnológicos, o que destoa daquilo que é ensinado no espaço escolar, de forma que o estudante acaba por vivenciar uma Física, que aos seus olhos, não possui vínculos com a sua realidade, uma física que é somente um conjunto de conceitos para fins de avaliações.

Pensando então no contexto atual, em que o mundo se tornou dependente do uso de tecnologias, a falta de compreensão sobre a relevância do estudo da Física se tornou um desafio significativo no âmbito da Educação Básica e, por extensão, na sociedade em geral. Isso ocorre devido ao fato de que uma parcela da população que está se formando como cidadãos não compreendem que as tecnologias amplamente presentes em suas vidas cotidianas têm suas bases fundamentadas nos princípios da Física Clássica e da Física Moderna e Contemporânea (FMC) (FREITAS, 2019). A Física está na base de diversas Tecnologias da Informação, Engenharias e técnicas para os diagnósticos na Medicina, desenvolvendo modelos e teorias que buscam explicar o mundo físico. Ou seja, é papel fundamental dessa área do conhecimento confrontar o senso comum, bem como à aceitação cega de modelos e teorias, tornando-se necessária na formação do cidadão (MOREIRA, 2017; MOREIRA, 2018).

Visando em colaborar para a construção de uma sociedade que tem a capacidade de se posicionar criticamente diante das questões de mundo, o Ensino de Física não deve ser apresentado somente como uma curiosidade ou se ater somente a decorar equações, leis e teoremas, mas sim com o objetivo de explicar e fundamentar acerca dos fenômenos que regem a natureza (SILVA, KRAJEWSKI, LOPES e NASCIMENTO, 2018), revelando-se importante como papel do professor dar condições para esses indivíduos no que tange a compreensão e o funcionamento das tecnologias, essas tão presentes no cotidiano.

Conforme apontado por Pessanha e Pietrocola (2016), não é possível a um cidadão comum compreender de imediato os impactos do avanço científico ou decifrar as informações que chegam através da mídia, quem dirá compreender a Ciência que existe por trás das invenções tecnológicas que permeiam a sociedade. Pode-se dizer que uma parcela da sociedade está imersa em um mundo onde a tecnologia avançada é algo do cotidiano. Para os autores, ao

se analisar o que esse grupo sabe a respeito do funcionamento das novas tecnologias, é como perguntar a um homem das cavernas o que é o fogo.

Com o objetivo de promover o desenvolvimento de conhecimentos relacionados ao funcionamento das novas tecnologias, torna-se essencial considerar a integração da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no currículo da Educação Básica, visto que cada vez mais dependemos do uso das tecnologias advinda dessa área do conhecimento, como celulares, GPS, micro-ondas, LEDs, entre outros. Debater a inserção da FMC não é algo inédito no meio acadêmico (TERRAZZAN, 1992; OSTERMAN e MOREIRA, 2000), e apesar desse conteúdo estar presente em alguns livros didáticos, muitos professores ainda enfrentam obstáculos significativos ao abordar tópicos contemporâneos de Física. Essas dificuldades estão relacionadas a diversos fatores, como limitações na formação inicial, deficiência de materiais adequados para desenvolvimento de atividades práticas e desafios na transposição de conteúdos complexos para uma linguagem acessível aos estudantes, entre outros (TIRONI, SCHMIT, SCHUMACHER e SCHUMACHER, 2013).

A inserção da FMC no contexto escolar, não é apenas palco de discussão no âmbito acadêmico, mas também se estende à esfera política. Tal debate é presente desde a época da implementação das Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) (BRASIL, 2006), prevendo a inserção da Astronomia e da Física Moderna no currículo de Física no Ensino Médio, por meio de temas que possibilitaram a articulação entre habilidades, competências e conhecimentos (MARRANGHELLO e PAVANI, 2011).

Entretanto, o PCN+ (2006) não trazia um caráter normativo, sendo utilizado como referência para a construção dos currículos e referenciais de cada estado, diferente da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) que define um conjunto de competências e habilidades que se espera que os estudantes atinjam ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica, definindo os arranjos curriculares em torno das seguintes áreas de conhecimento: Linguagens e suas tecnologias, Matemática e suas tecnologias, Ciências da Natureza e suas tecnologias, Ciências Humanas e suas tecnologias e Formação Técnica e Profissional, devendo ser ofertado conforme a relevância para o contexto local (BRASIL, 2017).

O presente estudo concentra-se na área das Ciências da Natureza e suas tecnologias (CNT), mais especificamente no que tange o Ensino de Física, a BNCC afirma que para o Ensino Médio “a Ciência e a Tecnologia tendem a ser encaradas não somente como ferramentas capazes de solucionar problemas, tanto os dos indivíduos como os da sociedade, mas também como uma abertura para novas visões de mundo” (BRASIL, 2018, p. 547). Isso significa que o ensino de Física não deve se limitar apenas à resolução de problemas, mas deve fornecer oportunidades

de ampliar a compreensão de mundo dos estudantes, não se atendo somente aos aspectos técnicos, de modo a incentivar o pensamento crítico e instigar a curiosidade científica, bem como os seus impactos na vida cotidiana.

Vindo ao encontro desses documentos, o Currículo de Referência de Mato Grosso do Sul estabelece aquilo que se espera do desenvolvimento do estudante no campo da CNT.

[...] o estudante se aproprie do conhecimento de maneira ativa, participativa e colaborativa, sabendo não só os conhecimentos primordiais de abordagens desta área, mas também estendê-los ao raciocínio mais complexo para apresentar modelos, ideias e projetos que exponham suas potencialidades de compreensão e intervenção de forma interdisciplinar em situações reais e cotidianas pertinentes à proposição de aprendizagem dentro dos componentes de Física, Química e Biologia (MATO GROSSO DO SUL, 2021, p. 304).

O referente currículo atribui uma relevância especial ao papel do aluno como protagonista, de modo que ele possa ser um agente ativo do seu processo de ensino, indo além dos conhecimentos básicos propostos pelos componentes da área de conhecimento, vindo a desenvolver ideias e projetos em uma perspectiva participativa e colaborativa, de modo que possam intervir na sua comunidade.

O currículo da CNT é estruturado ao longo do documento como uma série de habilidades que promovem uma abordagem interdisciplinar, essas habilidades devem ser desenvolvidas ao longo do ano letivo, e são integradas as três disciplinas: Física, Química e Biologia. Portanto, considerando a conformidade com os documentos normativos estabelecidos, este trabalho se concentra no ensino da FMC no contexto do terceiro ano do Ensino Médio.

A FMC é uma área de conhecimento bastante abrangente na Física, tornando inviável abordar todos os seus aspectos em um único ano letivo. Portanto, a escolha recai sobre a seleção de um conteúdo específico da FMC que tem relevância para a vida cotidiana dos estudantes. Neste contexto, entre as diversas habilidades propostas pelo currículo do estado de Mato Grosso do Sul, a habilidade MS.EM13CNT206<sup>1</sup> se alinha diretamente com o que foi discutido até o momento, trazendo como objeto de conhecimento para a disciplina de física realizar uma “análise dos conceitos físicos relacionados com as tecnologias na aquisição de informações, por meio do monitoramento remoto” (MATO GROSSO DO SUL, 2021, p.333). Dentro dessa habilidade, o documento propõe que o componente curricular da Física analise os conceitos físicos que estejam relacionados com as tecnologias de aquisição de informação através do monitoramento remoto. (MATO GROSSO DO SUL, 2021).

---

<sup>1</sup> MS – Mato Grosso do Sul; EM – Ensino Médio; 13 – Sérieção; 206 – Número da Habilidade

Uma tecnologia associada ao monitoramento remoto, com fundamentos na FMC, é o Sistema de Posicionamento Global (GPS) que se baseia na Teoria da Relatividade (TR) e na Mecânica Quântica (ZANOTTA, CAPPELLETTO e MATSUOKA, 2011). Essa tecnologia tem uma ampla aplicação na sociedade, propiciando comodidade para os indivíduos para traçar as melhores rotas em suas viagens ou mesmo vindo para auxiliar o trabalho de agricultores nos períodos de plantio e colheita.

Portanto, este estudo foi implementado em uma turma de 3º ano do Ensino Médio em período integral na Escola Estadual Cívico-Militar Marçal de Souza Tupã-Y, localizada na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Foi adotado a metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) para desenvolver uma sequência de aulas, culminando em um projeto realizado pelos próprios estudantes.

De acordo com Markham, Larmer e Ravitz (2008), a ABP pode ser definida como sendo um método de ensino sistemático que se baseia através de um extenso processo de investigação, que deve estar estruturado em torno de uma questão complexa e irá envolver os estudantes no desenvolvimento de conhecimentos e habilidades, podendo ter uma breve duração de uma ou duas semanas, ou podendo se estender para todo o ano letivo, oportunizando até mesmo a participação da comunidade em torno da escola.

Neste contexto, esta pesquisa se propõe em investigar o estudo do GPS estruturado a partir da ABP, buscando mobilizar os possíveis Invariantes Operatórios acerca do Campo Conceitual da Teoria da Relatividade, de forma a responder a seguinte questão de pesquisa: *Como o estudo do GPS estruturado a partir da ABP, pode contribuir para um possível domínio do Campo Conceitual da Relatividade?*

Esta pesquisa busca atingir o seguinte objetivo geral: Investigar como o estudo do GPS pode contribuir para um possível domínio do Campo Conceitual da Relatividade.

Para responder o problema de pesquisa, o objetivo geral foi desdobrado em alguns objetivos específicos, sendo eles:

- Fazer uma revisão da literatura do tipo sistemática para investigar os limites e potencialidades do GPS como recurso didático para elaboração de situações-problemas para o ensino da Teoria da Relatividade.
- Elaborar uma sequência de ensino com base na Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) a partir do estudo e aplicação do GPS e implementar em turmas de 3º ano do Ensino Médio.

- Identificar como os invariantes operatórios são mobilizados pelos estudantes na abordagem de situações-problemas envolvendo o campo conceitual da relatividade a partir do estudo do GPS.

Visando então responder à questão da pesquisa através dos objetivos apresentados anteriormente, a presente dissertação foi estruturada em cinco capítulos, no qual neste apresentamos a importância de compreender e estudar o funcionamento das novas tecnologias e conseqüentemente o ensino de FMC na Educação Básica.

O Capítulo 2 é dedicado a uma revisão sistemática que busca investigar os limites e potencialidades da tecnologia GPS como recurso didático para o ensino da Teoria da Relatividade. Essa revisão foi realizada buscando localizar os trabalhos publicados pelos programas de pós-graduação nos últimos 10 anos através do banco de dados da Capes, Scielo e na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações.

O Capítulo 3 foi dividido em duas seções, de forma que a seção 3.1 apresenta a Teoria dos Campos Conceituais como referencial teórico utilizado para análise dos resultados desta pesquisa, discorrendo não apenas sobre a teoria em si, mas a sua relação com o ensino de ciências. Na seção 3.2 é discorrido sobre a Aprendizagem Baseada em Projetos como referencial metodológico, discutindo as suas potencialidades como metodologia ativa e o papel do professor dentro desse contexto.

O Capítulo 4 apresenta o percurso metodológico desenvolvido ao longo do trabalho, contextualizando o local em que a pesquisa foi aplicada e de que forma os procedimentos estabelecidos se relacionam com o referencial da escola, discorrendo sobre as atividades que foram desenvolvidas ao longo da pesquisa e a sua relação com a ABP. A pesquisa em questão contou com um projeto piloto desenvolvido no segundo semestre de 2022 no contexto de uma Unidade Curricular aplicada em uma turma composta de alunos regularmente matriculados no 1º, 2º e 3º do Ensino Médio. Este projeto foi categorizado como piloto uma vez que ocorreram imprevistos no calendário escolar, fato esse que impossibilitou a conclusão das atividades. O resultado obtido através desse piloto oportunizou a escrita de um artigo que foi publicado em um evento internacional, que será apresentado no Capítulo 5.

Os resultados das atividades desenvolvidas resultaram no Capítulo 5, no qual apresentamos os resultados dessa pesquisa. Como primeiro resultado apresentamos o artigo publicado no evento citado no parágrafo anterior, e também dois manuscritos, um publicado e um submetido para avaliação, elaborados a partir dos dados obtidos das atividades descritas no Capítulo 4. Por fim, o Capítulo 6 finaliza o trabalho com as considerações acerca da pesquisa desenvolvida

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A pesquisa bibliográfica realizada nessa dissertação tem como foco fomentar uma Revisão Sistemática (RS) que estabeleça diálogos entre a metodologias desenvolvidas no ensino da Teoria da Relatividade no Ensino Médio e o uso de tecnologias nesse contexto.

De acordo com Galvão e Pereira (2014), a Revisão Sistemática é considerada como sendo um estudo secundário, tendo como fonte de dados os estudos primários, sendo eles: artigos, dissertações, teses e/ou outros documentos que tiveram como objetivo realizar uma pesquisa científica. No Quadro 1 apresentamos os métodos para a elaboração desse formato de revisão separadas em Etapas e Ações tomadas.

Quadro 1 - Método para a elaboração da Revisão Sistemática.

<b>Etapa</b>	<b>Ação</b>
I	Elaboração da pergunta de pesquisa
II	Busca na literatura
III	Seleção de artigos
IV	Extração de dados
V	Avaliação da qualidade metodológica
VI	Síntese de dados
VII	Avaliação da qualidade das evidências
VIII	Redação e publicação dos resultados

Fonte: Galvão e Pereira (2014).

Para elaborar uma boa questão de pesquisa é necessário primeiro ter objetivos bem definidos. Foram estabelecidos então os seguintes objetivos para a RS:

- Identificar e analisar metodologias de ensino e intervenções em sala de aula que abordem a Teoria da Relatividade em um contexto de Ensino Médio.
- Verificar como a tecnologia GPS está sendo utilizada para o domínio do Campo Conceitual da Teoria da Relatividade.
- Identificar quais referenciais teóricos no ensino de ciências estão sendo utilizadas para explorar a problemática.

Buscando então atingir os objetivos listados acima, foram elaboradas as seguintes questões a serem respondidas ao longo da pesquisa e que nortearam a busca dos estudos primários.

- Como a Aprendizagem Baseada em Projetos está sendo utilizada no Ensino Médio para abordagem da Teoria da Relatividade?
- Quais referenciais teóricos estão sendo utilizados para o ensino da Teoria da Relatividade?
- De que forma a tecnologia Sistema de Posicionamento Global está sendo abordado no Ensino Médio?

Como fonte de busca para a localização dos trabalhos foram utilizadas as seguintes bases de dados: Periódicos Capes, Scielo e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Para localizar os artigos dentro das bases de dados, visando filtrar somente aqueles que eram de interesse à revisão, foi utilizado os Operadores Booleanos “AND” e “OR”, possibilitando dessa forma combinar os descritores e atingindo melhores resultados na busca. O Quadro 2 apresenta os descritores utilizados para chegar ao quantitativo de trabalhos localizados nessa revisão, sendo utilizado o resultado obtido através da Busca 7.

Quadro 2 – Percurso metodológico utilizado para a obtenção dos trabalhos referente a revisão sistemática.

<b>Busca</b>	<b>Descritores</b>	<b>Quantitativo</b>
1	<i>relatividade AND GPS</i>	Capes: 1; Scielo: 1; BDTD: 144
2	<i>(relatividade OR "ensino médio" OR "ensino de física" OR "ensino de física moderna e contemporânea" OR "ensino de física moderna") AND (gps OR "sistema de posicionamento global")</i>	Capes: 1; Scielo: 1; BDTD: 168
3	<i>(relatividade OR "ensino médio" OR "ensino de física" OR "ensino de física moderna e contemporânea" OR "ensino de física moderna") AND ("Aprendizagem baseada em projetos" OR abp)</i>	Capes: 9; Scielo: 0; BDTD: 110
4	<i>(relatividade OR "ensino médio" OR "ensino de física" OR "ensino de física moderna e contemporânea" OR "ensino de física moderna" OR "novo ensino médio" OR "itinerário formativo" OR "aprendizagem baseada em projetos" OR abp) AND (gps OR "sistema de posicionamento global")</i>	Capes: 1; Scielo: 1; BDTD: 170

5	( <i>"ensino médio"</i> OR <i>"ensino de física"</i> OR <i>"ensino de física moderna e contemporânea"</i> OR <i>"ensino de física moderna"</i> OR <i>"novo ensino médio"</i> OR <i>"itinerário formativo"</i> OR <i>"aprendizagem baseada em projetos"</i> OR <i>abp</i> ) AND ( <i>relatividade</i> OR <i>"teoria da relatividade"</i> OR <i>gps</i> OR <i>"sistema de posicionamento global"</i> )	Capes: 15; Scielo: 55; BDTD: 2691
6	( <i>"ensino médio"</i> OR <i>"ensino de física"</i> OR <i>"ensino de física moderna e contemporânea"</i> OR <i>"ensino de física moderna"</i> OR <i>"novo ensino médio"</i> OR <i>"itinerário formativo"</i> OR <i>"aprendizagem baseada em projetos"</i> OR <i>abp</i> OR <i>"ensino de ciências"</i> ) AND ( <i>relatividade</i> OR <i>"teoria da relatividade"</i> OR <i>"teoria da relatividade geral"</i> OR <i>"teoria da relatividade restrita"</i> OR <i>gps</i> OR <i>"sistema de posicionamento global"</i> )	Capes: 15; Scielo: 55; BDTD: 3516
7	( <i>"ensino de física"</i> OR <i>"ensino de física moderna e contemporânea"</i> OR <i>"ensino de física moderna"</i> OR <i>"novo ensino médio"</i> OR <i>"itinerário formativo"</i> OR <i>"ensino de ciências"</i> ) AND ( <i>"teoria da relatividade"</i> OR <i>"teoria da relatividade geral"</i> OR <i>"teoria da relatividade restrita"</i> OR <i>gps</i> OR <i>"sistema de posicionamento global"</i> )	Capes: 13; Scielo: 29; BDTD: 34

Fonte: Autores.

Vale ressaltar que para a plataforma Scielo foi necessário colocar aspas na palavra “gps” para que ele conseguisse ter uma busca exata. Para os filtros disponíveis na plataforma foi selecionado o período de 2012 a 2022 e somente os periódicos com conceito Qualis de A1 a A4 de acordo com a Classificação de Periódicos Quadriênio 2017-2020, deixando aberto para todos os idiomas disponíveis.

Após a busca nas plataformas citadas utilizados os descritores apresentados no Quadro 2, foi encontrado um total de 76 trabalhos dos quais: 13 na plataforma Periódicos Capes, 29 na plataforma Scielo e 34 na BDTD. Com o objetivo de filtrar somente os trabalhos que seriam

relevantes a pesquisa, foram definidos Critérios de Inclusão e Exclusão, conforme apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Critérios de Inclusão e Exclusão para a Revisão Sistemática.

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
Trabalhos publicados no período de 2012 a 2022	Trabalhos publicados fora do período de 2012 a 2022
Ensino da Relatividade no contexto da Educação Básica	Trabalhos que se encontravam fora do contexto da Educação Básica
Revisão de Literatura ou Sistemática	Histórica da Ciência e/ou História, Filosofia e Sociologia da Ciência, Epistemologia da Ciência.
Elaboração de material didático para o ensino da Teoria da Relatividade	Trabalhos que não incluem o ensino da Teoria da Relatividade na Educação Básica.
Trabalhos em qualquer idioma	Formação de professores.
Trabalhos publicados em periódicos com Qualis A1, A2, A3 ou A4.	Trabalhos publicados em periódicos de Qualis médio, baixa e/ou sem impacto.
Teses e dissertações de programas de pós-graduação profissionais e acadêmicos.	Trabalhos de Conclusão de Curso publicados pelos cursos de licenciatura.

Fonte: Autores.

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, dos 76 trabalhos localizados, restaram um total de 26 trabalhos, sendo: 6 no Periódico CAPES, 4 na plataforma Scielo e 16 na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações.

Após a leitura dos 26 trabalhos inclusos na Revisão, foram criadas quatro categorias de forma a agrupar essas pesquisas, sendo elas:

**Sequência Didática:** Trabalhos que tiveram como objetivo divulgar a elaboração e a implementação de uma sequência didática no contexto da Educação Básica pautada no ensino da Teoria da Relatividade.

**Análise de Livro Didático:** Trabalhos que tiveram como objetivo realizar uma análise de livro didático de forma a analisar como os conceitos relacionados a Teoria da Relatividade aparecessem nas obras literárias destinados à Educação Básica

**Revisão de Literatura:** Trabalhos que tiveram como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre o ensino da Teoria da Relatividade no contexto da Educação Básica.

**Proposta de Material Didático:** Trabalhos que tiveram como objetivo apresentar uma proposta de uma atividade para ser aplicada na Educação Básica no contexto do ensino da Teoria da Relatividade, porém não foi aplicado pelos autores.

Com o fim de realizar as análises dos dados obtidos pelos trabalhos inclusos na revisão, o Quadro 4 teve sua organização baseada em apresentar o título da obra, seus autores, anos de publicação. Objetivando de ter uma melhor visualização de todas as teorias envolvidas nos 17

trabalhos referentes a Sequência Didática, foi adicionada ainda uma coluna apresentando os referenciais teóricos utilizado pelos autores, sinalizando como “Não se aplica” para os casos em que o trabalho não se enquadra como uma Sequência Didática.

Quadro 4 - Trabalhos categorizados como Sequência Didática.

<b>Título</b>	<b>Autores e Ano de Publicação</b>	<b>Categoria</b>	<b>Referencial Teórico</b>
Design, analysis and reformulation of a didactic sequence for teaching the special theory of relativity in high school	Otero, M. R., Arlego, M. e Prodanoff, F. (2015)	Sequência Didática	Teoria dos Campos Conceituais
Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS	Rodrigues, C. M, Sauerwein, I. P. S., Sauerwein, R. A. (2014)	Sequência Didática	Os Três Momentos Pedagógicos
Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral	Ferreira, M., do Couto, R. V. L., da Silva Filho, O. L., P. Laura e Monteiro, F. F. (2021)	Sequência Didática	Aprendizagem Significativa
O esquema de movimento como organizador da ação em Mecânica Clássica e Relativística	De Carvalho Junior, G. D. (2015)	Sequência Didática	Teoria dos Campos Conceituais
As contribuições da articulação entre o ensino por investigação e o enfoque CTS para o desenvolvimento de conceitos de física moderna no ensino médio	Pedroso, M. A. (2017)	Sequência Didática	Ensino por investigação e CTS
Uma sequência didática para ensinar relatividade restrita no ensino médio com o uso de TIC	Capelari, D. (2016)	Sequência Didática	Aprendizagem Significativa
De movimento dos Astros à quarta dimensão do espaço: uma abordagem didática sobre o tempo ao longo dos tempos	Baptista, M. J. (2017)	Sequência Didática	Aprendizagem Significativa

Uma unidade de ensino potencialmente significativa com o aplicativo TRE Einstein para ensinar a relatividade especial	Lima, G. M. de (2018)	Sequência Didática	Aprendizagem Significativa
A ficcionalização da ciência como recurso didático no ensino médio : investigando tópicos de relatividade do Delorean à USS Discovery	Lima, G. da C. (2019)	Sequência Didática	Teoria Sociocultural
A construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para ensinar relatividade utilizando animações e o game A slower speed of light	Riboldi, B. M. (2015)	Sequência Didática	Aprendizagem Significativa
Astronomia no Ensino Médio: uma abordagem simplificada a partir da Teoria da Relatividade Geral	Couto, R. V. L. do (2020)	Sequência Didática	Aprendizagem Significativa
Um guia ilustrado, como material potencialmente significativo, para ensinar a Teoria da Relatividade Restrita	Rosa, M. T. da (2020)	Sequência Didática	Aprendizagem Significativa
Teoria da relatividade restrita: uma introdução histórico-epistemológica e conceitual voltada ao ensino médio	Fuchs, E. I. (2016)	Sequência Didática	Teoria Construtivista
Teoria da relatividade restrita e geral ao longo do 1º ano do ensino médio: uma proposta de inserção	Sá, M. R. R. de (2015)	Sequência Didática	Teoria da Transposição Didática
Divulgação científica no ensino médio a equação relativística entre massa e energia	Silva, D. E. da (2012)	Sequência Didática	Aprendizagem Significativa
Uma proposta didática para o ensino de tópicos da Teoria da Relatividade Restrita EJA	Freitas, R. da S.S. (2021)	Sequência Didática	Aprendizagem Significativa
Teoria da Relatividade Restrita: Abordagem Histórica e uma Sequência Didática e Investigativa, com a Utilização de uma Ferramenta Computacional, como Facilitadora do Processo	Gobbi, L. H. (2016)	Sequência Didática	Aprendizagem Significativa

de Ensino/ Aprendizagem da Contração Espacial de Lorentz			
A teoria da relatividade restrita e os livros didáticos do Ensino Médio: Discordâncias sobre o conceito de massa	Jardim, W. T., Otoyá, V. J. V., Oliveira, C. G. S. (2015)	Análise de Livro Didático	Não se aplica
Conceito de massa e a relação massa energia no conteúdo de relatividade especial em livros didáticos de física	Nunes, R. C, de Queirós, W.P e da Cunha, J. A. R. (2022)	Análise de Livro Didático	Não se aplica
A aparência visual da contração relativística nos livros de física aprovados no Programa Nacional do Livro Didático-2018	Nunes, R. C., Queirós, W. P. e da Cunha, J. A. R. (2021)	Análise de Livro Didático	Não se aplica
Análise da história da Teoria da Relatividade Restrita em livros didáticos do terceiro ano do ensino médio indicados no PNLEM 2015/2017	Da Silva, A. G., Errobidart, N. C. G., Alves, D. C. B. e de Queirós, W. P. (2019)	Análise de Livro Didático	Não se aplica
Análise de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea em Livros Didáticos de Física do Ensino Médio da rede pública estadual de São Luís-MA.	Pereira, P. do N. (2019)	Análise de Livro Didático	Não se aplica
Uma análise do conteúdo da relatividade restrita nos livros didáticos do Ensino Médio	Neves, J. A das (2014)	Análise de Livro Didático	Não se aplica
As Teorias da Relatividade no Ensino Básico: uma Revisão de Literatura para traçar o perfil dos trabalhos publicados no Brasil entre 2000 e 2018	Sampaio, W. S., de Oliveira, A. N., Siqueira, M. C. A. (2019)	Revisão de Literatura	Não se aplica
Construção de um Website sobre a Teoria da Relatividade Restrita	Pereira, R. V. (2015)	Proposta de Material Didático	Não se aplica
Física Moderna e Contemporânea no Ensino Básico: o cinto de segurança como alternativa para a abordagem teórica do Princípio de Equivalência da Relatividade Geral.	De Oliveira, A. N., Sampaio, W. S. e Siqueira, M. C. A. (2019)	Proposta de Material Didático	Não se aplica

Fonte: Autores.

A fim de contemplar os objetivos estabelecidos, os resultados obtidos foram respondidos em formato de questões, estabelecidas anteriormente, utilizando a técnica de Análise de Conteúdo descrita por Bardin (2016), levando em conta os resultados obtidos por outras revisões sistemáticas no Ensino de Ciências (ALVES, BEGO e ZULIANI, 2019; DINIZ e PASTORIO, 2023).

De acordo com Bardin (2016), a Análise de Conteúdo se apresenta como um conjunto de instrumentos metodológicos em aperfeiçoamento constante, se aplicando aos mais variados discursos. Esse tipo de análise é então uma leitura “profunda”, a ser determinada pelas condições oferecidas pelo sistema linguístico, buscando atingir uma relação entre o conteúdo presente no discurso e os aspectos que cercam esse (DOS SANTOS, 2012).

A seguir apresentamos as questões os resultados obtidos através dessa Revisão Sistemática.

*Questão 1: Como a Aprendizagem Baseada em Projetos está sendo utilizada no Ensino Médio para abordagem da Teoria da Relatividade?*

Dentre os 17 trabalhos que se propuseram a aplicar uma sequência didática no contexto do Ensino Médio, nenhum deles utilizou a Aprendizagem Baseada em Projetos como referencial para a elaboração e os planejamentos das atividades, apontando para a importância de se realizar uma pesquisa pautada nesse referencial.

Esse resultado já era esperado, visto que a revisão realizada por Pasqueletto, Veit e Araújo (2017), compreendendo a década de 2005 a 2015, relacionando o Ensino de Física com a ABP apontou para um baixo número de publicações nessa área, ressaltando que experiências de implementação e estudos empíricos devem ser realizados, tendo viés de difundir o referencial e também qualificar.

*Questão 2: Quais referenciais teóricos estão sendo utilizados para o ensino da Teoria da Relatividade?*

De acordo com a Tabela 1 e Quadro 4 é possível observar que dos 26 trabalhos incluídos na revisão, 17 estão aplicadas como Sequência Didática, vindo justamente ao encontro do que se propõe na presente pesquisa. Nos trabalhos analisados, a Teoria da Relatividade está presente no formato de recortes, não sendo trabalhada em toda sua extensão, visto que se trata de uma teoria complexa e de múltiplas faces, sendo necessária uma atenção voltada para o conceito de referencial, de forma a dar base para a noção do tempo relativo (DE CARVALHO, 2015; COUTO, 2019).

Ainda de acordo com a Tabela 1 é possível notar uma grande concentração de trabalhos que utilizaram a Aprendizagem Significativa proposta por David Ausubel, como é o caso de Oliveira Junior (2016), que afirma que buscou investigar como a inserção de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) pode contribuir para a compreensão da Teoria da Relatividade Restrita, apontando que o uso desse recurso torna a aula mais interativa e dinâmica, sendo esse um primeiro passo para uma aprendizagem significativa.

No que diz respeito ao planejamento da execução das pesquisas, todos os 17 trabalhos seguem o mesmo modelo: apresentação do contexto em que o trabalho estava inserido, a metodologia que orientou o planejamento das ações, a execução das ações propostas e análise e resultados dos dados sob a luz do referencial teórico adotado. Existe também uma convergência entre os autores ao afirmarem que a abordagem da Teoria da Relatividade no Ensino Médio é possível e deve ser encorajada, uma vez que os dados obtidos por eles se mostraram satisfatórios. (OTERO, ARLEGO e PRODANOFF, 2015; FERREIRA, DO COUTO, DA SILVA FILHO, LAURA E MONTEIRO, 2021; SÁ, 2015).

Como observado, somente dois estudos utilizaram a Teoria dos Campos Conceituais como referencial teórico (OTERO, ARLEGO e PRODANOFF, 2015; DE CARVALHO JUNIOR, 2015), sinalizando a importância de se ampliar a pesquisa no âmbito acadêmico, visto que na última década, somente dois trabalhos visaram trabalhar o Campo Conceitual da Teoria da Relatividade sob a luz da TCC.

Ambas as pesquisas citadas foram desenvolvidas em turmas de Ensino Médio, trazendo como objetivo contribuir para o desenvolvimento de conceitos fundamentais acerca da temática. A pesquisa desenvolvida por Otero, Arlego e Prodanoff (2015) foi dividida em três momentos: a primeira se preocupou em trabalhar a relatividade galileana; a segunda as transformações de Galileo para a relatividade de Einstein; e por fim, a relatividade de Einstein no que tange a velocidade dos corpos. Enquanto isso, De Carvalho Junior (2015) traz um adendo: o autor buscou não somente estudar o Campo Conceitual da TR, mas trabalhar em paralelo com o Campo Conceitual da Mecânica Clássica, de forma a observar se ocorre uma maior significação no que tange o tempo relativo da teoria de Einstein.

Em sua pesquisa, Otero, Arlego e Prodanoff (2015) concluíram que foi possível promover uma sólida base conceitual dos postulados da Teoria da Relatividade, abrindo caminho para abordar significativamente as questões centrais da Teoria da Relatividade Especial. Já no estudo realizado por De Carvalho Junior (2015), o pesquisador concluiu ao final da Sequência Didática que trabalhar os Campos Conceituais da Mecânica Clássica e da Teoria da Relatividade em paralelo fornece melhores elementos para que os estudantes possam se

desenvolver, mostrando ser aconselhável organizar a Teoria da Relatividade logo após a Mecânica Clássica.

Portanto, trabalhar a Teoria dos Campos Conceituais para abordar o Campo Conceitual da Teoria da Relatividade deve trazer contribuições significativas para um possível domínio da questão abordada, e servindo também como um difusor desse referencial teórico, visto o baixo número de publicações apontada pela revisão.

*Questão 3: De que forma a tecnologia Sistema de Posicionamento Global está sendo abordado no Ensino Médio?*

Não está. Somente um grupo de pesquisadores abordaram a tecnologia GPS no contexto do Ensino Médio. Rodrigues, Sauerwein e Sauerwein (2014) elaboraram e aplicaram uma sequência didática sob a luz de Delizoicov, em torno das seguintes questões: O que ensinar? Por que e para que ensinar ciências? Para quem ensinar ciências? Baseada nessas questões, os autores utilizaram a tecnologia Sistema de Posicionamento Global para inserir a Teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio.

Em sua pesquisa, os autores trouxeram como objetivo desenvolver no ensino médio conteúdos que tradicionalmente não são trabalhados nesse nível de ensino, aproximando os alunos de questões do cotidiano e relacionando com as tecnologias, em uma escola na cidade de Santa Maria – Santa Catarina, em uma turma de 2º do Ensino Médio ao longo de treze aulas.

Os resultados obtidos pelos pesquisadores apontam para uma aproximação entre o conhecimento científico e as suas aplicabilidades no cotidiano, visto que o estudo do GPS proporcionou aproximar a tecnologia a dilatação do tempo, conteúdo esse que não é perceptível no cotidiano. Os pesquisadores ainda citam em sua obra a dificuldade no planejamento das atividades, visto a escassez de trabalhos publicados na área englobando tal tecnologia, porém, ressaltam os resultados como compensadores do árduo esforço, uma vez que permitiu aos alunos serem protagonistas do processo de aprendizagem (RODRIGUES, SAUERWEIN e SAUERWEIN, 2014).

Em relação aos trabalhos que se propuseram a realizar uma Análise de Livro Didático, dois trabalhos se concentraram em analisar os livros aprovados pelo PNLD 2015 (JARDIM, OTOYA e OLIVEIRA, 2015; DA SILVA, ERROBIDART, ALVES E DE QUEIRÓS (2019), três nos livros aprovados pelo plano de 2018 (NUNES, QUEIRÓS e DA CUNHA, 2022; NUNES, QUEIRÓS, DA CUNHA, 2021; PEREIRA, 2019) e um referente ao PNLD 2012 (NEVES, 2014).

Em todas as pesquisas, os autores citados acima puderem verificar que existem inconsistências no momento da abordagem de alguns conceitos, um exemplo é o caso da relação

massa-energia, onde massa e matéria eram utilizadas como sinônimos em duas obras ou deduzindo que massa poderia ser transformada em energia (NUNES, QUEIRÓS e DA CUNHA, 2022).

Da Silva, Errobidart, Alves e Queirós (2019) ainda afirmam que os livros analisados pelos autores não apresentam uma abordagem histórica da ciência satisfatória, principalmente ao se tratar das características da visão epistemológica contemporânea. Contudo, apesar das problemáticas levantadas, os resultados apontam que o ensino da Teoria da Relatividade pode e deve acontecer no Ensino Médio, servindo as análises dos livros como um alerta aos professores de modo que esses fiquem atentos ao material utilizado, realizando intervenções quando necessário (NEVES, 2014; NUNES, QUEIRÓS e DA CUNHA, 2021).

Os trabalhos que entraram na categoria de Proposta de Material Didático, apesar de terem aplicado a suas pesquisas em sala de aula, não traziam como objetivo uma sequência didática, mas sim, respectivamente, conscientizar a respeito do uso do cinto de segurança a partir do estudo da Teoria da Relatividade Geral no contexto da Educação Básica (DE OLIVEIRA, SAMPAIO E SIQUEIRA, 2019) e verificar o nível de aceitação de um material didático elaborado pelos pesquisadores que abordasse a Teoria da Relatividade Restrita, de forma a obter um feedback para futuras melhorias (PEREIRA, 2015).

A Revisão Sistemática realizada contribuiu para obter referenciais sobre aquilo que vem sendo foco de estudo na academia na última década no que tange o ensino da Teoria da Relatividade. Também serviu como um alerta para a importância de se inserir esse conteúdo no contexto escolar, visto que somente um trabalho associou a tecnologia GPS com a TR, artigo esse datado de 2014, ou seja, o trabalho mais recente na linha pesquisada, já marca nove anos de sua publicação.

### **3 ENQUADRAMENTO TEÓRICO**

Neste capítulo apresentamos os referenciais utilizados no percurso da pesquisa. Na seção 3.1 discorreremos sobre a Teoria dos Campos Conceituais, traçando as principais influências de outros pesquisadores na obra de Gerard Vergnaud e a sua relação com o ensino de Ciências.

Na seção 3.2 é dedicada ao referencial metodológico do trabalho, apresentamos características presentes em uma Aprendizagem Baseada em Projetos, traçando o papel do professor dentro dessa metodologia ativa e o seu potencial dentro de sala de aula.

#### **3.1 Teoria dos Campos Conceituais**

A Teoria dos Campos Conceituais é uma teoria cognitivista que tem como objetivo oferecer um referencial que possibilite a construção de bons resultados quanto ao estudo do desenvolvimento cognitivo e da apropriação de conceitos complexos, relacionados a conteúdos da área de conhecimento desejada e a análise de seu domínio. Os conceitos principais que norteiam a TCC são: o conceito de campo conceitual, o conceito de esquema, situação, invariantes operatórios, e a sua própria concepção de conceito (VERGNAUD 1983), possuindo fortes bases dentro da teoria piagetiana.

Sendo doutorando de Piaget, é imprescindível pensar que Vergnaud não sofreu influências do pesquisador. Tendo fortes bases piagetianas, a TCC não foi elaborada somente em cima dos trabalhos do biólogo, trazendo influências também nos trabalhos de Lev Vigotsky (1896-1934). As contribuições da teoria vigotskyana aparecem fortemente quando se analisa o papel do professor dentro da teoria de Vergnaud. Para o autor, o professor deve atuar como um mediador, de forma a promover situações-problemas que sejam estimulantes, promovendo uma interação entre sujeito-situação (MOREIRA, 2002).

A principal contribuição da teoria piagetiana está na definição de esquema, sendo definida por Piaget e Inhelder (1978) como sendo uma estrutura ou ações organizadas, que pode ser generalizada em circunstâncias que sejam semelhantes, no momento da ação do sujeito.

Segundo a concepção piagetiana, os esquemas desempenham um papel fundamental no processo de adaptação das estruturas cognitivas, envolvendo os processos de assimilação e acomodação. Por sua vez, Gerard Vergnaud irá considerar que os esquemas estão relacionados

com as situações em que são aplicados, sugerindo a interação esquema-sujeito, de forma a confrontar a interação sujeito-objeto de seu orientador (LOPES, SÁ e DARSIE, 2018). Segundo Vergnaud (1998):

[...] nem Piaget nem Vygotsky perceberam o quanto o desenvolvimento cognitivo depende das situações e das conceituações específicas que são necessárias para lidar com elas. [...] Esta é a principal razão pela qual desenvolvi a teoria dos campos conceituais com base nos legados de Piaget e Vygotsky. (VERGNAUD, 1998, p.181).

Apesar das grandes contribuições de Piaget para a área do ensino, ele não demonstrava interesse pela didática, mas sim pelo desenvolvimento cognitivo do ser humano, mesmo que suas ideias teóricas e científicas se tornaram fundamentais para a pesquisa na área da didática. Inspirado pelos trabalhos do biólogo, psicólogo e epistemológico, Vergnaud dá início as suas pesquisas pensando no contexto escolar (NOGUEIRA e REZENDE, 2014).

Conforme afirma Vergnaud (1982), o conhecimento está organizado em campos conceituais, tendo como eixo central a conceitualização. Esse domínio deve ocorrer no decorrer de um tempo, através de experiência e aprendizagem das quais o aluno deve vivenciar. Os conceitos centrais que abrangem a Teoria dos Campos Conceituais são:

**Campo Conceitual** – definido como um conjunto de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, interligados uns aos outros e relacionados durante o processo de ensino. As dificuldades em lidar com determinados conceitos vão sendo superados à medida que esses conceitos são identificados e trabalhados. (VERGNAUD, 1983). Segundo o autor, o Campo Conceitual está organizado sob três pilares: 1) um conceito não se forma a partir de uma única situação; 2) uma situação não pode ser analisada a partir de um único conceito; 3) a construção de um conceito é algo que pode demorar muitos anos, até décadas.

**Conceitos** - definido como um conjunto triplo,  $C = (S, I, R)$ , sendo: S – Conjunto de situação que darão sentido ao conceito; I – Conjunto de invariantes operatórios que estão associados ao conceito, podendo ser utilizados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto, podendo ser definidos como *conceito-em-ação* e *teorema-em-ação*, conforme será discutido adiante; R – Conjunto de representações simbólicas podendo ser utilizadas para indicar e representar as invariantes (VERGNAUD, 1997).

**Situações** – relacionado com o conceito de tarefa, uma situação pode ser vista como um conjunto de tarefas, tendo cada tarefa níveis diferentes de natureza e dificuldades. (VERGNAUD, 1997).

**Esquemas** – é a organização do invariante de um comportamento de uma determinada classe de situações, sendo a partir desses esquemas que se deve investigar os invariantes operatórios dos alunos (VERGNAUD, 1997).

**Invariantes operatórios** – designado pela expressão “conceito-em-ação” e “teorema em ação”. O teorema-em-ação é uma proposição verdadeira sobre o real, enquanto o conceito em ação é um objeto ou categoria de pensamento relevante. (MOREIRA, 2002).

O conceito-em-ação é tudo que se mostra relevante diante de uma determinada situação, não sendo de fato um conceito científico, porém apresentando um potencial para vir a se tornar. Por sua vez, o teorema-em-ação é uma proposição que pode ser tanto verdadeira quanto falsa, estando inicialmente implícita na estrutura cognitiva do aluno. Por ser algo implícito, surge então a necessidade de explicitá-lo, momento esse em que o aprendiz tem maior dificuldade, visto que o invariante operatório do sujeito costuma apresentar uma lacuna em relação ao invariante operatório que constitui o conhecimento científico (CALHEIRO, 2018; MOREIRA, 2002).

Portanto, identificar esses invariantes é uma forma eficaz de auxiliar os estudantes no processo da construção de um Campo Conceitual, visto que é a partir dos invariantes operatórios que se poderá avaliar o desenvolvimento de um determinado campo conceitual, acompanhando esses alunos em diversos momentos e expondo-os a diferentes situações-problemas.

Conforme Vergnaud (1990), a exposição dos estudantes a situações-problemas de diferentes níveis e natureza é essencial para o desenvolvimento cognitivo, sendo ela uma tarefa, do tipo teórico ou empírica, a maneira que deva ser realizada pelo sujeito. O autor afirma que:

O saber se forma a partir de problemas para resolver, quer dizer, de situações para dominar. [...] Por problema é preciso entender, no sentido amplo que lhe atribui o psicólogo, toda situação na qual é preciso descobrir relações, desenvolver atividades de exploração, de hipótese e de verificação, para produzir uma solução (Vergnaud, 1990, p. 52).

Desenvolver hipóteses e testar essas hipóteses em prol de obter uma solução para um determinado problema vai ao encontro do que é desenvolvido no âmbito das ciências. Apesar disso, a TCC não tem sua origem destinada ao Ensino de Ciências, sendo amplamente utilizada no Ensino da Matemática (NOGUEIRA e REZENDE, 2014; SILVA JUNIOR e RÉGNIER, 2008; BOLOGNANI, 2015), porém ela não deve ater-se somente a essa área, uma vez que, como citado anteriormente, ela vem ao encontro de suprir as necessidades do Ensino de Ciências. Pensando então no Ensino de Ciências e, mais especificamente, no ensino de Física Moderna e Contemporânea, Moreira (2002) afirma que a FMC possui diversos campos

conceituais e, portanto, dificilmente será compreendida de maneira imediata, seja como um sistema de conceito ou como um conceito isolado. É necessário então uma perspectiva que desenvolva essa aprendizagem, de forma que auxilie os estudantes a romperem com as dificuldades no ensino de Física.

A respeito dessas dificuldades, Melo, Campos e Almeida (2015) relatam que por muitas décadas o ensino de Física foi reduzido a resoluções de problemas através de expressões matemáticas, sem espaço para refletir a respeito dos fenômenos físicos, de modo que os estudantes aprendiam de forma mecânica os conteúdos ministrados, deixando um legado negativo para a prática docente nesse campo.

Parte das barreiras encontradas pelos docentes está relacionada a redução da disciplina a expressões algébricas ou situações-problemas que requerem um raciocínio matemático e algébrico (DA ROSA, PEREZ e DRUM, 2007). Podemos destacar aqui também que além da dificuldade relacionada aos campos das exatas, a nova geração de estudantes vivencia uma realidade cada vez mais imersa em novas tecnologias, que aos olhos do estudante pode parecer mais interessante que as aulas regulares da escola.

Romper então com essa visão tecnicista da física se mostra importante no que tange a evolução de um Campo Conceitual. Concordamos com Rosa, Perez e Drum (2007, p. 362) que:

Ao ensinar ciências às crianças, não devemos nos preocupar com a precisão e a sistematização do conhecimento em níveis da rigorosidade do mundo científico, já que essas crianças evoluirão de modo a reconstruir seus conceitos e significados sobre os fenômenos estudados (ROSA, PEREZ e DRUM, 2007, p.362).

A reconstrução dos conceitos e significados destacados pelos autores vem justamente ao encontro do que diz a TCC. Um conceito não irá se construir somente em torno de uma única situação-problema, nem tão pouco esperasse que o estudante tenha um pleno do domínio do Campo Conceitual estudado após uma sequência de aulas ministradas. Como afirma Vergnaud (1983), as dificuldades encontradas pelos estudantes serão superadas através do tempo mediante uma série de situações-problemas de diferentes níveis e natureza.

Vale destacar que os conhecimentos que o aluno adquire no seu cotidiano, chamado comumente de senso comum, também irá influenciar no desenvolvimento do seu Campo Conceitual. Portanto, dar atenção as concepções prévias dos estudantes se mostram importante no contexto dessa teoria. Para Moreira (2002, p.20), as concepções prévias dos estudantes:

[...] contêm teoremas e conceitos-em-ação que não são verdadeiros teoremas e conceitos científicos, mas que podem evoluir para eles. (...) o hiato entre os invariantes

operatórios dos alunos e os do conhecimento científico é grande, de modo que a mudança conceitual poderá levar muito tempo (MOREIRA, 2002, p. 20).

Segundo o autor, trabalhar com a Teoria dos Campos Conceituais no planejamento e na análise de situações permite lidar com o desenvolvimento cognitivo a partir dos próprios conteúdos do conhecimento e a análise do seu domínio. Portanto, essa teoria permite auxiliar na identificação dos invariantes operatórios no que tange o funcionamento do GPS e sua relação com a Física Moderna e Contemporânea, mais especificamente, a Teoria da Relatividade, identificando então se ocorreu ou não uma evolução conceitual da temática proposta.

### 3.2 Aprendizagem Baseada em Projetos

O currículo do ensino de Física estabelecido pelas Secretarias de Educação por vezes prioriza a quantidade de conteúdo a ser trabalhado, visto a demanda dos vestibulares e outras provas para o egresso no ensino superior, deixando de lado, em algumas situações, aulas diferenciadas que sirvam de motivadoras para os alunos. No caminho de cumprir os referenciais curriculares estabelecidos, Paranhos, Paranhos, Souza Filho e Santos (2017, p.125), dissertam que:

Os professores seguem um modelo de dar respostas prontas na tentativa de concluir todo o conteúdo, uma vez que o foco da escola é prepara o aluno para ingressar no mundo universitário (PARANHOS, PARANHOS, SOUZA FILHO e SANTOS, 2017, p. 125).

A visão de que o currículo é algo que deve ser cumprido, se preocupando muito mais com a quantidade do que com a qualidade daquilo se ensina, e fazendo do aluno um ser passivo, que apenas frequenta as aulas, realiza suas anotações e executa as avaliações precisa ser repensado, buscando métodos que coloquem o aluno no centro de seu processo de formação, tornando as aulas estimulantes e permitindo que eles sejam capazes de se posicionar de forma crítica perante as situações que ele vivencia.

As metodologias ativas surgem como uma ferramenta ao professor que busca atingir resultados melhores em sala de aula e tornar as aulas mais prazerosas para as novas gerações de estudantes, rompendo com a estrutura de ensino tradicional.

Diesel, Baldez e Martins (2017) definem os princípios que orientam as metodologias ativas da seguinte forma:

**Protagonismo do Aluno** – discorre sobre o papel do estudante no processo de ensino, colocando-o em uma posição centrada, não sendo um mero expectador.

**Autonomia** – estimular uma posição autônoma dos estudantes, de forma que ele possa se posicionar perante determinadas situações.

**Refletir e Problematizar** – realizar uma análise sobre a realidade de forma que o estudante possa tomar consciência dela e refletir sobre as questões que o cerca.

**Trabalho Cooperativo** – a prática social do aluno é fundamental para o processo de ensino e aprendizagem. Permitir que ideias e experiências sejam compartilhadas, mobiliza um pensamento mais crítico.

**Professor Orientador** – a postura do professor é pautada em uma abordagem mais ativa, não sendo sua função apenas transferir ou transmitir um conhecimento, mas promover discussões, reflexões, sendo o docente um orientador para o aluno.

Visando então trabalhar uma metodologia ativa no contexto escolar e criar um espaço que seja possível ao aluno exercer um pensamento crítico e colocar o aprendiz como protagonista do seu processo de aprendizagem, a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) vem ao encontro de suprir essas necessidades. De acordo com Bender (2014), a ABP pode ser definida como sendo “projetos autênticos e realistas, baseados em uma questão, tarefa ou problema altamente motivador e envolvente, para ensinar conteúdos acadêmicos aos alunos no contexto do trabalho cooperativo para a resolução de problemas”.

Uma das características mais desejadas pelos professores em suas aulas, é a de conseguir envolver a turma em investigações que ultrapassem o espaço escolar, podendo trazer até mesmo contribuições para a comunidade em que esse está inserido, sendo extremamente útil em disciplinas consideradas difíceis (BENDER, 2014).

A ABP irá então exigir do professor uma mudança importante em seu papel na sala de aula, em que ele não mais será o detentor do conhecimento, como em metodologias tradicionais, e sim um tutor para os seus estudantes, devendo propiciar estímulos para que os seus aprendizes possam se desenvolver de forma satisfatória.

Se o papel do professor é de ser um tutor, o do aluno é de ser o “astro principal” da obra. O docente deve dar ouvidos as demandas dos estudantes, dando aos alunos um poder de escolha naquilo que será desenvolvido. É importante salientar que apesar do discente ter um grau de escolha, isso não significa que ele irá determinar qual conteúdo será trabalhado em sala de aula, visto que na maioria dos casos, isso já é definido previamente pelas Secretarias de Educação de cada Estado, tornando o currículo rígido em alguns casos.

Um dos objetivos da ABP é que o aluno seja um sujeito ativo no processo, sendo de extrema importância a participação dele no desenvolvimento do projeto. Quando é

proporcionado ao aluno o poder de escolha, é muito mais provável que esse apresente um maior engajamento durante as fases do processo (BENDER, 2014).

Para a elaboração de um projeto pautado nessa metodologia, não existe um passo a passo que precise ser cumprido ou uma lista de critérios definidos, porém alguns estudiosos elencam características que ajudam a orientar o planejamento do professor e/ou pesquisador, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 - Características essenciais da ABP.

<b>Âncora</b>	Introdução e informações básicas para preparar o terreno e gerar o interesse dos alunos.
<b>Trabalho em equipe cooperativo</b>	É crucial para as experiências da ABP, enfatizado por todos os proponentes da ABP como forma de tornar as experiências de aprendizagem mais autênticas.
<b>Questão motriz</b>	Deve chamar a atenção dos alunos, bem como focar seus esforços.
<b>Feedback e revisão</b>	A assistência estruturada deve ser rotineiramente proporcionada pelo professor ou no interior do processo de ensino cooperativo. O feedback pode ser baseado nas avaliações do professor ou dos colegas.
<b>Investigação e inovação</b>	Dentro da questão motriz abrangente, o grupo precisará gerar questões adicionais focadas mais especificamente nas tarefas do projeto.
<b>Oportunidades e reflexão</b>	Criar oportunidades para a reflexão dos alunos dentro de vários projetos é aspecto enfatizado por todos os proponentes da ABP.
<b>Processo de investigação</b>	Pode-se usar diretrizes para a conclusão do projeto e geração de artefatos para estruturar o projeto. O grupo também pode desenvolver linhas de tempo e metas específicas para a conclusão de aspectos do projeto.
<b>Resultados apresentados publicamente</b>	Os projetos de ABP pretendem ser exemplos autênticos dos tipos de problemas que os alunos enfrentam no mundo real, de modo que algum tipo de apresentação pública dos resultados do projeto é fundamental dentro da ABP.
<b>Voz e escolha do aluno</b>	Os alunos devem ter voz em relação a alguns aspectos de como o projeto pode ser realizado, além de serem encorajados a fazer escolhas ao longo de sua execução.

Fonte: Bender (2014, p.16-17).

O presente trabalho contemplou as características da ABP apresentadas no Quadro 6, utilizando da Teoria dos Campos Conceituais como referencial para realizar as análises obtidas através das atividades, as quais apresentamos, no Capítulo 4, os momentos específicos em que elas foram desenvolvidas.

## 4 PERCURSO METODOLÓGICO

A presente pesquisa apresenta uma abordagem do tipo qualitativa, visto os objetivos propostos para esse trabalho. Concordamos com Gil (2002, p. 133) que uma pesquisa desse tipo:

[...] depende de muitos fatores, tais como a natureza dos dados coletados, a extensão da amostra, os instrumentos de pesquisa e os pressupostos teóricos que nortearam a investigação. Pode-se, no entanto, definir esse processo como **uma sequência de atividades, que envolve a redução dos dados, a categorização desses dados, sua interpretação e a redação do relatório** (GIL, 2002, p. 133). (grifo nosso).

A ABP que será apresentada nesse capítulo se apresenta justamente como uma sequência de atividades, que foram adaptadas de acordo com a realidade da escola, no qual foi necessário trabalhar os dados, categorizando-os de forma que se tornasse possível analisá-los à luz da TCC, resultando na dissertação aqui escrita, buscando interpretar e atribuir significado, tendo com um dos focos o processo e o significado implícitos nos invariantes operatórios dos estudantes (KAURK, MANHÃES e MEDEIROS, 2010).

Neste capítulo apresentamos o contexto no qual a pesquisa foi desenvolvida, a relação do projeto com o currículo da escola e as atividades que foram desenvolvidas ao longo da ABP.

### 4.1 Contexto da Pesquisa

A pesquisa foi realizada na Escola Estadual Cívico-Militar Marçal de Souza Tupã-Y localizada na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul com um grupo inicial de 35 estudantes na faixa etária de 16 a 18 anos, durante as aulas regulares de duas turmas do 3º ano do Ensino Médio. Devido as transferências e remanejamentos ocorridos durante o ano letivo, ao final da atividade restaram 20 participantes na pesquisa. Com o objetivo de manter o sigilo dos participantes, seus nomes foram alterados para *Aluno 1, Aluno 2, ...* ou *Grupo 1, Grupo 2, ...* e assim por diante. O quantitativo de alunos que serão apresentados nos Manuscritos 1, 2 e 3 diferem do total dos participantes, visto que nem todos os participantes estavam presentes com totalidade nas atividades desenvolvidas.

A pesquisa também contou com um Projeto Piloto que foi desenvolvido no semestre anterior em uma turma de Itinerário Formativo, com estudantes mesclados de todos os anos do Ensino Médio. Esse Piloto não pode ser concluído por conta do cronograma escolar, que sofreu diversas mudanças no período da aplicação, não possibilitando uma conclusão.

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP da UFMS sob o código de parecer 5.726.404, intitulado como: O Uso do Arduino como Recurso Didático para o Domínio do Campo Conceitual da Teoria da Relatividade. O título da pesquisa foi alterado após o projeto piloto, uma vez que ficou constatado que o Arduino não seria mais uma peça central da pesquisa, porém as características do documento redigido se mantiveram iguais. O parecer do CEP/UFMS está disponível para consulta no Anexo A dessa dissertação.

A pesquisa então foi implementada na então chamada Escola Estadual Cívico-Militar Marçal de Souza Tupã-Y no primeiro semestre de 2023 durante as aulas de Física, e com um adendo: o período pós-pandemia.

Devido a pandemia da COVID-19 a escola operou em formato remoto do ano de 2020 até julho de 2021, retornando em formato híbrido no 2º semestre desse ano e somente com todos os alunos no formato presencial por volta de outubro de 2021. O período então que a pesquisa foi aplicada, foi o segundo ano escolar em que os alunos de fato tiveram aulas presenciais durante todo o ano letivo.

Pensando em contornar os desafios deixados para a comunidade escolar por conta da pandemia, período esse em que diversos estudantes tiveram o seu processo de aprendizagem prejudicados devido à falta de internet ou computadores para acessar as aulas remotas, dificuldades financeiras e outros motivos devido a esse momento histórico, as atividades desenvolvidas na metodologia dessa pesquisa trazem um cunho mais voltado para física conceitual, mas também sem deixar de lado toda a álgebra desenvolvida em torno da teoria, fazendo recortes e revisões em momentos que se mostrou necessário.

## **4.2 O Planejamento da ABP e o Referencial da Escola**

Conforme discutido na introdução, o estado de Mato Grosso do Sul possui um currículo de referência normativo para toda as escolas da rede estadual. Por se tratar então de um documento obrigatório, as ações previstas dentro da ABP não podiam estar desconexas desse documento. Das habilidades previstas para serem desenvolvidas no 3º ano do Ensino Médio, a habilidade MS.EM13CNT206 traz em suas sugestões didáticas “a compreensão dos conceitos físicos que estão relacionados ao uso de diversas tecnologias (satélites, GPS, radares e sonares) utilizadas para monitoramento” (MATO GROSSO DO SUL, 2021). Portanto, as atividades realizadas nessa metodologia giraram em torno dessa habilidade. O Quadro 6 apresenta a habilidade prevista no documento.

Quadro 6 – Habilidade do Currículo de Referência de Mato Grosso do Sul.

Habilidade	Componente Curricular	Objetos de Conhecimento	Sugestões Didáticas
(MS. EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.	Física	Análise dos conceitos físicos relacionados com as tecnologias na aquisição de informações, por meio do monitoramento remoto; Discussão sobre estratégias de preservação e conservação da biodiversidade e do meio ambiente, por meio das tecnologias.	Para contemplar esta habilidade sugere-se desenvolver métodos que além de possibilitar a argumentação, a iniciativa social e o pensamento científico, facilitem a compreensão dos conceitos físicos que estão relacionados ao uso de diversas tecnologias (satélites, GPS, radares e sonares) utilizadas para monitoramento. Proporcionar leituras e discussões sobre a previsão de impactos ambientais, os desafios da sustentabilidade e os cuidados com o ambiente. Ressalta-se a importância do uso dos recursos digitais e a integração com os componentes Biologia e Geografia, na elaboração de projetos que envolvam análises experimentais, estratégias de sustentabilidade e políticas ambientais de preservação.

Fonte: Mato Grosso do Sul (2021).

Portanto, conforme apresentado no Quadro 8 e, corroborando com a característica definida por Bender (2014) como “Questão Motriz”, sendo esse o objeto de estudo no qual o projeto se estruturou. A ABP trouxe como proposta compreender o funcionamento do Sistema de Posicionamento Global (GPS) a partir da Teoria da Relatividade de Einstein, buscando aproximar o conhecimento científico do cotidiano dos estudantes.

### 4.3 Características Essenciais da ABP

Visando contemplar todas as características essenciais definidas por Bender (2014) no que diz respeito a elaboração e execução de uma Aprendizagem Baseada em Projetos, no Quadro 7

apresentamos em que momento as características se fizeram presente na pesquisa e de que forma ela foi desenvolvida.

Quadro 7 – Características Essenciais da ABP presentes na pesquisa.

<b>Âncora</b>	<b>Questão Motriz</b>	<b>Voz e Escolha dos Alunos</b>
Trabalhada durante a primeira atividade através do quadro SQP (Quadro 9). A partir das respostas dos estudantes, foi possível determinar os conhecimentos prévios sobre a temática proposta e preparar o terreno para as atividades seguintes.	Definida previamente para atender ao currículo escolar. Através da tecnologia GPS, essa tão presente no cotidiano da sociedade, os esforços foram direcionados para compreender como esse dispositivo funciona e a sua relação com a Teoria da Relatividade.	Através das respostas obtidas na Atividade 1, foi possível determinar o que os alunos queriam aprender sobre o assunto proposto, servindo como uma orientadora para as atividades que seguiram.
<b>Oportunidades e Reflexão</b>	<b>Investigação e Inovação</b>	<b>Trabalho em equipe Cooperativo</b>
Durante todo o processo do projeto foi oportunizado aos estudantes momentos de fala e reflexão sobre aquilo que estava sendo desenvolvido e servindo como momentos para discussões sobre o artefato que deveria ser gerado ao final.	Com o objetivo de compreender como é realizado o mapeamento do GPS, a questão motriz foi desdobrada em diversas atividades, buscando compreender como é localizado um corpo no planeta (Atividade 2), bem como trabalhado conceitos que foram julgados essências para um melhor domínio do campo conceitual em questão (Atividade 3 e 4).	O trabalho cooperativo foi desenvolvido durante todas as atividades, permitindo que os estudantes debatessem os problemas e construíssem em equipe o artefato final.
<b>Feedback e Revisão</b>	<b>Processo de Investigação</b>	<b>Resultado apresentado publicamente</b>
Durante todo o processo foi revisado as atividades que eram realizadas de forma a obter os melhores resultados possíveis. A Atividade 5 apresentada na subseção 4.4.5 traz por objetivo desenvolver essa característica, conforme será discorrido adiante.	Momento utilizado para a construção do artefato. O artefato é algo que foi discutido desde o início da ABP, culminando em um projeto final apresentado pelos estudantes na Atividade 7.	Apresentação do artefato construído pelos estudantes para a comunidade escolar, bem como os resultados obtidos pela pesquisa em eventos e periódicos.

Fonte: Autores.

#### 4.3.1 Atividade 1: Conhecimentos Prévios

Com o objetivo de determinar quais são os conhecimentos prévios dos estudantes e visualizar as expectativas deles para como o projeto será desenvolvido, foi solicitado aos participantes que registrassem suas respostas a partir do modelo de Saber-Querer-Precisar (SQP) (Quadro 8) de forma individual.

Quadro 8 - Quadro SQP .

<b>SABER</b>	<b>QUERER</b>	<b>PRECISAR</b>
--------------	---------------	-----------------

<i>O que eu sei?</i>	<i>O que eu quero saber?</i>	<i>O que eu preciso saber?</i>
----------------------	------------------------------	--------------------------------

Fonte: Adaptado por Bender (2014) e desenvolvido por Ogle (1986).

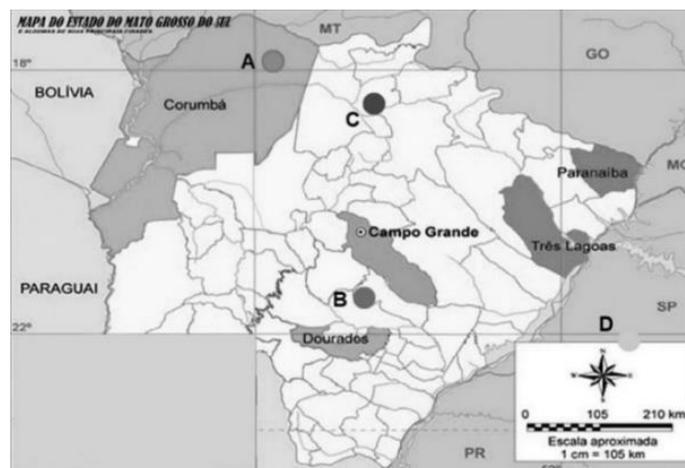
De forma a obter as respostas de maneira mais clara possível, o pesquisador realizou pequenas discussões sobre cada uma das questões a serem respondidas. As respostas deveriam seguir a temática proposta no projeto. Portanto, as conclusões para cada pergunta deveriam ser sobre “*O que eu sei, o que eu quero saber e o que eu preciso saber sobre o GPS?*”.

#### 4.3.2 Atividade 2: Princípio da Trilateração

A atividade teve como referência o material disponibilizado pelo governo dos Estados Unidos<sup>2</sup> que foi adaptado para contemplar a realidade e o contexto da escola em que foi aplicado o projeto. Para a atividade, os estudantes foram separados em grupos com 2 participantes em cada. Cada grupo recebeu os seguintes materiais: uma cartolina, uma régua e um barbante.

O objetivo do trabalho era simular o posicionamento do GPS utilizando 4 satélites espalhados pelo mapa do estado de Mato Grosso do Sul utilizando o Princípio da Trilateração. A Figura 1 apresenta o mapa que foi utilizado, sendo os pontos A, B C e D correspondentes aos satélites.

Figura 1- - Mapa de Mato Grosso do Sul.



Fonte: Adaptado de Mato Grosso do Sul (2022).

<sup>2</sup> Trilateration Exercise. **GPS.gov**, 2014. Disponível em: <https://www.gps.gov/multimedia/tutorials/trilateration/>. Acesso em: 16 de janeiro de 2024.

Como primeiro passo os alunos fizeram uma transposição do mapa do estado utilizando o projetor, como apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Transposição do mapa de Mato Grosso do Sul na cartolina utilizando um projetor de imagem feita pelos estudantes.



Fonte: Registrado pelo autor.

Em seguida, para representar a distância em que o satélite estava da pessoa localizada em algum ponto do mapa e determinar o raio de cada um, os barbantes foram cortados com os comprimentos aproximados de 12 cm, 14 cm, 13 cm e 35 cm para os satélites A, B, C e D, respectivamente. Com os barbantes devidamente cortados, cada grupo traçou uma circunferência para cada satélite localizado no mapa utilizando os respectivos comprimentos, como apresenta a Figura 3.

Figura 3 - Estudantes realizando o tracejado para determinar o raio de cada satélite.



Fonte: Registrado pelo autor.

Durante o desenvolvimento da atividade, cada aluno recebeu um questionário, disponível no Apêndice A, que deveria ser respondido a medida que o mesmo resolvia o problema proposto. Tendo em vista que a escala do mapa era de 1:105, ou seja, 1cm representava 105 km na superfície terrestre, os participantes deveriam preencher a Tabela 1, de modo a determinar o tempo que leva para o sinal ser transmitido do emissor ao receptor.

Tabela 1 - Tabela para anotar os dados coletados e calculados a partir do posicionamento dos satélites.

	Corda A	Corda B	Corda C	Corda D
<b>Distância (cm)</b>				
<b>Distância em escala (m)</b>				
<b>Tempo (s)</b>				

Para isso foi utilizado a Equação 1, sendo  $c$  a velocidade da luz, aproximada para  $3 \cdot 10^8$  m/s, uma vez que o sinal do GPS se trata de uma onda eletromagnética,  $D$  a distância entre o emissor e o receptor do sinal e  $t$  o tempo para o sinal percorrer a distância. Para fins demonstrativos, foram desprezados os possíveis atrasos como condições climáticas, multicaminhos e outros.

$$D = c \cdot t \quad (1)$$

Após a conclusão das atividades, foi trabalhado um trecho de um vídeo disponibilizado pelo Perimeter Institute<sup>3</sup> que aborda o funcionamento da tecnologia. O vídeo em questão foi

<sup>3</sup> Everyday Einstein: GPS & Relativity. **Perimeter Institute**. Disponível em: <https://resources.perimeterinstitute.ca/products/everyday-einstein-gps-relativity?variant=29245855170638>. Acessado em: 17 de janeiro de 2024.

escolhido uma vez que o assunto havia sido abordado somente em um formato 2D, sendo importante para o desenvolvimento do campo conceitual em questão a visualização em três dimensões.

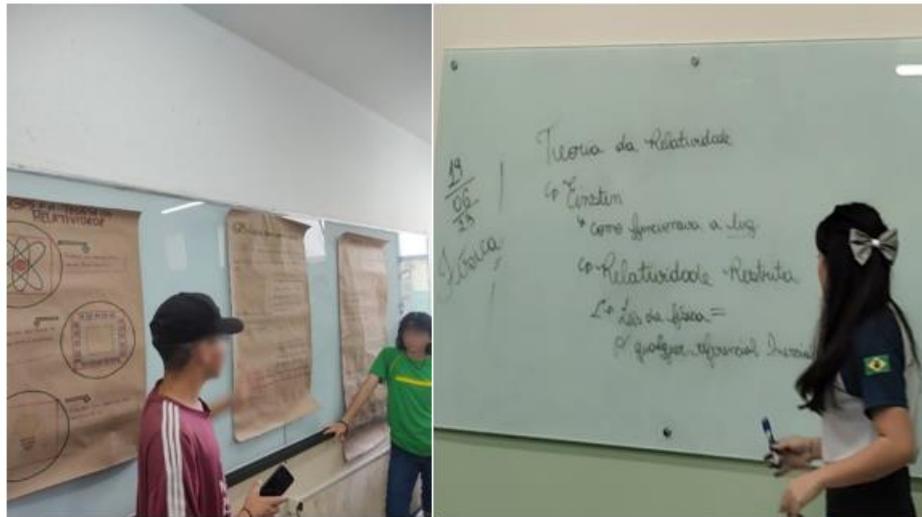
Por fim, com o objetivo de apresentar situações-problemas referente ao que foi trabalhado nessa atividade e identificar possíveis invariantes operatórios sobre a atividade proposta, foi entregue aos participantes um questionário referente ao Princípio da Trilateração, disponibilizado no Apêndice B, no qual cada aluno respondeu de forma individual as questões propostas.

#### 4.3.3 Atividade 3: Velocidade, Aceleração, o Éter, Experimento de Michaelson-Morley e os Postulados de Einstein

Visando trabalhar os conceitos físicos, bem como um pouco do contexto histórico a respeito dos antecedentes a Teoria da Relatividade, a turma foi dividida em duplas, de forma que cada dupla ficou responsável por realizar uma pesquisa em um formato de seminário e apresentar para a turma, seguindo os seguintes temas: Velocidade, Aceleração, o Éter, Experimento de Michaelson-Morley e Os Postulados de Einstein.

Pela quantidade de temas propostos, era esperado que cada tema se repetisse pelo menos uma vez nas pesquisas. O objetivo disso é verificar de que forma cada grupo iria desenvolver os conceitos, sendo que ao final de cada apresentação, os ouvintes registraram em uma folha sulfite, de forma individual, o que foi que ele aprendeu sobre a temática, de forma a verificar se ocorreu uma diferença ou não quando um tema foi repetido por outro grupo de estudantes. A Figura 4 mostra a apresentação dos estudantes para turma.

Figura 4 - Estudantes apresentando o tema proposto na atividade.



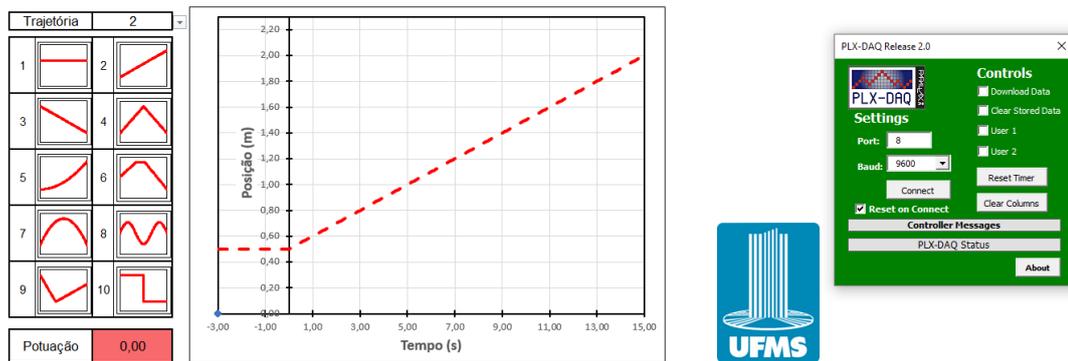
Fonte: Registrado pelo autor.

#### 4.3.4. Atividade 4: Atividade experimental para trabalhar os conceitos de Velocidade e Aceleração com o uso do Arduino

Os conceitos de velocidade e aceleração são essenciais para que o aluno possa evoluir no domínio do Campo Conceitual da Teoria da Relatividade, sendo necessário que ele consiga identificar a diferença entre elas. Visando então desenvolver tais conceitos e utilizar ao mesmo tempo recursos tecnológicos, foi utilizado um Arduino para que o aluno construísse gráficos de seu deslocamento em função do tempo, de modo que ele pudesse verificar em quais casos a velocidade e/ou aceleração estavam presentes.

O aparato experimental consistiu em: um Arduino Uno com o código instalado, um sensor de movimento ultrassônico, uma fonte de alimentação para o Arduino, um data show e um anteparo. Os códigos utilizados, bem como os componentes utilizados foram adaptados do trabalho de Ladeira, Calheiro e Gonçalves (2022). Inicialmente foi conectado o Arduino em um computador, servindo esse como fonte de alimentação para a placa. Em seguida, foi aberto uma planilha no Excel que forneceu os dados referente ao deslocamento do estudante e o tempo para cada situação trabalhada. A planilha consiste em um conjunto de 10 gráficos, mostrando a posição de um corpo em função do tempo, devendo o estudante realizar o movimento necessário para construir o gráfico apresentado. A Figura 5 apresenta um exemplo da interface dessa planilha.

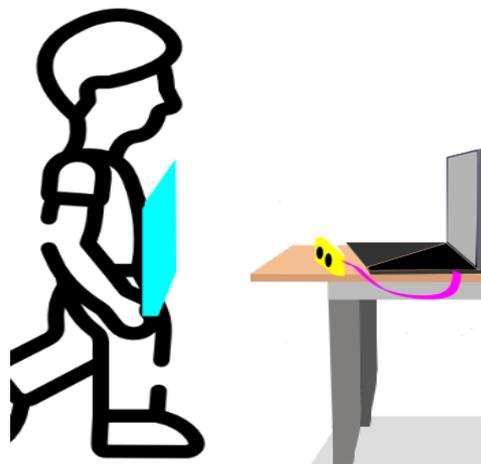
Figura 5 - Gráfico da posição em função do tempo em Excel com o auxílio de um Arduino.



Fonte: Autores.

Com o aparato montado como descrito no parágrafo anterior e com o objetivo de melhorar a precisão do sensor de movimento, o participante segurou um aparato a sua frente e iniciou o seu deslocamento com o objetivo de construir um gráfico igual ao apresentado na planilha. Ao final do deslocamento, a planilha pontua a tentativa do participante de 0-10, servindo isso apenas como um estímulo para o aluno melhorar a sua participação, sem que interfira em sua avaliação. A Figura 6 apresenta a montagem do aparato experimental.

Figura 6 - Montagem do Aparato Experimental.



Fonte: Autores.

Foi entregue aos estudantes questões para ser preenchida a respeito de cada gráfico apresentado, devendo registrar se para aquela situação era possível observar os conceitos da velocidade e aceleração, mesmo que elas sejam nulas, justificando as suas respostas. A Figura 7 apresenta os alunos realizando a tarefa proposta.

Figura 7 - Estudantes construindo um gráfico em função do tempo com o Arduino como recurso pedagógico.



Fonte: Registrado pelo autor.

#### 4.3.5 Atividade 5: O GPS e a Teoria da Relatividade

Buscando realizar a característica *Feedback e Revisão* descrita no Quadro 4, foi realizada uma aula expositiva-dialogada sobre a Teoria da Relatividade, de forma a revisar conceitos estudados até o momento e obter um feedback dos alunos em relação ao projeto.

É importante ressaltar que não foi desenvolvida a Teoria da Relatividade em toda a sua amplitude, de forma que o pesquisador orientou a turma a alcançar os conceitos necessários para a compressão da tecnologia, ficando de fora diversos outros assuntos relacionados a essa área do conhecimento. Com uso de slides, disponível no Anexo B, foi discutido com os alunos de que forma a Teoria da Relatividade estaria associada ao funcionamento do GPS, trabalhando o conceito do espaço-tempo e os Postulados da Teoria da Relatividade Especial e Geral.

Ao final da discussão, e com o objetivo de verificar como estava o campo conceitual em questão, os estudantes responderam a seguinte situação-problema: *Um amigo te diz que “A teoria da relatividade é uma mera teoria. Não é real, como as leis de Newton para o movimento, que são leis.” Seu amigo está correto? Explique por que sim ou por que não usando as informações que você aprendeu sobre a Teoria da Relatividade e o GPS*”. Na Figura 8 apresentamos os alunos respondendo a situação-problema.

Figura 8 - Alunos respondendo as situações-problema sobre a Teoria da Relatividade e o GPS.

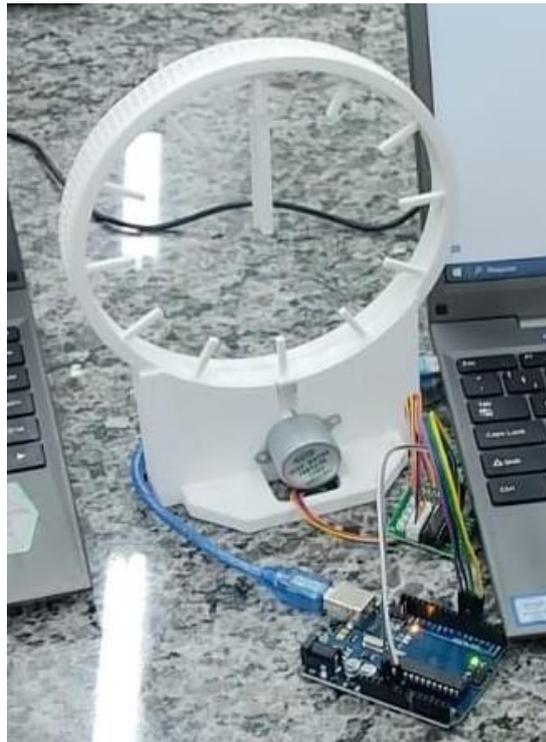


Fonte: Registrado pelo autor.

#### 4.3.6 Atividade 6: Dilatação Temporal

Com o objetivo de explorar a dilatação temporal prevista pela Teoria da Relatividade, essa que interfere diretamente no funcionamento do GPS, foi construído um total de 18 relógios utilizando uma impressora 3D de forma a tornar didático a simulação sobre a dilatação do tempo através dos "tics e tacs" desses aparelhos. Os modelos utilizados para a construção do relógio, bem como os códigos em C++ e a pinagem do Arduino utilizados para o funcionamento desses podem ser localizados no Apêndice D. A Figura 9 apresenta o aparato experimental utilizado na Atividade 6.

Figura 9 - Aparato experimental para a demonstração da Dilatação Temporal.



Fonte: Registrado pelo autor.

A turma foi dividida em duplas, de forma que cada dupla recebeu um par de relógio, sendo um dos relógios programado para ter uma velocidade de rotação duas vezes maior que o outro. Após cada dupla estar devidamente posicionada com seus relógios, foi entregue uma atividade que iria guiar as ações da aula, se apresentando em forma de uma série de situações-problema. A primeira situação-problema dizia que:

*Imagine que você e o seu parceiro são astronautas e irmãos(ãs) gêmeos(as). Um de vocês deverá embarcar em uma viagem intergaláctica em busca de vida em outra galáxia enquanto o outro permanecerá na Terra. A nave em questão é capaz de se mover em uma velocidade próxima à da luz. Com o objetivo de medir os tempos da viagem, você e seu amigo sincronizam o relógio de vocês antes da partida.*

Em seguida, os estudantes deveriam responder a seguinte situação-problema: *Quando você e o seu parceiro de expedição estavam lado a lado, na mesma sala, foi possível notar alguma diferença em relação ao tempo do seu relógio e do dele? Explique.*

A dupla deveria escolher qual iria permanecer na Terra (sala de aula) e qual iria realizar a viagem espacial (esse iria permanecer em outra sala de aula), sendo que cada um ficou com seu respectivo relógio. A dupla se manteve separada por aproximadamente 10 minutos, retornando então para a sala de aula regular (Terra). A Figura 10 mostra os alunos realizando a atividade referida.

Figura 10 - Estudantes realizando a atividade da dilatação temporal utilizando relógios impressos em uma impressora 3D.



Fonte: Registrado pelo autor.

Uma vez realizado o procedimento, as duplas responderam à questão 3: *Após o seu parceiro realizar a sua viagem intergaláctica, ele retorna para a Terra. Imagine agora que o seu parceiro era o seu irmão(ã) gêmeo(a). Após o seu retorno, vocês resolvem comparar os seus relógios. O que é possível observar em relação aos dois relógios? O que é possível constatar em relação a idade dos gêmeos(as)? Explique.* E em seguida, a questão 4: *Os seus pais encontram você e seu irmão(ã) gêmeo(a) e se deparam com a situação. De que forma você explicaria para eles o efeito sofrido por vocês?* Finalizando dessa forma a Atividade 6. A Figura 11 mostra os alunos respondendo as questões citadas nessa subseção.

Figura 11- Estudantes respondendo o questionário sobre dilatação temporal no Google Forms.



Fonte: Registrado pelo autor.

#### 4.3.7 Atividade 7: Artefato

A etapa final desse trabalho, intitulado de Artefato, consistiu em elaborar uma Casa Inteligente utilizando sensores de presença para realizar uma função análoga aos sensores GPS, pois quando o dispositivo se aproxima das coordenadas do sensor, esse executa as funções pré-programadas.

Por decorrência da falta de tempo para a elaboração de um aplicativo que pudesse operar essas funções, se fez o uso de dois tipos de sensores para simular essa ação: um sensor de movimento PIR HC-SR501<sup>4</sup>, que capta ondas infravermelhas, tendo esse o objetivo de acender e apagar luzes de acordo com a presença no ambiente; um sensor ultrassônico associado a um servo motor<sup>5</sup>, permitindo abrir e fechar portas a partir da presença do indivíduo. A construção da casa foi feita utilizando uma impressora à laser disponibilizado pelo Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, e o modelo para a elaboração da casa foi importando de um repositório online. Para a atividade, somente uma casa foi impressa, com

---

<sup>4</sup> OLIVEIRA, E. Como usar com Arduino – Sensor PIR (Detector) de Movimento. **Master Walker Eletronic Shop**, 2019. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-pir-detector-de-movimento>. Acessado em: 17 de janeiro de 2024.

<sup>5</sup> PINHEIRO, F. K. Projeto: Porta Inteligente com Arduino. **Compartilhar é preciso**, 2011. Disponível em: <https://ferpinheiro.wordpress.com/2011/05/28/projeto-porta-inteligente-com-arduino/>. Acessado em: 17 de janeiro de 2024.

diversos cômodos. A turma foi dividida então em dois grupos: um grupo ficou responsável por montar a casa e realizar as marcações de onde ficaria cada sensor, conforme apresenta a Figura 12.

Figura 12 - Estudantes realizando a montagem da casa inteligente e as marcações da posição dos sensores.



Fonte: Registrado pelo autor.

Por sua vez, um segundo grupo ficou responsável pela montagem dos sensores na placa Arduino e a testagem dos códigos, verificando se tudo estava funcionando conforme o esperado, como apresentamos na Figura 13.

Figura 13 - Estudantes realizando a montagem do sensor no Arduino e testando as funcionalidades.



Fonte: Registrado pelo autor.

A Figura 14 apresenta a Casa Inteligente construída pelos estudantes, com os sensores associados.

Figura 14 – Casa Inteligente utilizando Arduino para a execução das ações.



Fonte: Registrado pelo autor.

Conforme previsto pela ABP, o Artefato elaborado pelos estudantes precisa ser apresentado publicamente. A Casa Inteligente então foi exposta na Feira de Ciências organizada pela escola, sendo o projeto apresentado para a comunidade escolar, conforme Figura 15.

Figura 15 - Estudantes apresentando o Artefato elaborado.



Fonte: Registrado pelo autor.

A Casa Inteligente trouxe por finalidade apresentar como a automação de uma casa pode trazer maior comodidade para os seus moradores, aproximando o uso do sistema de navegação com o cotidiano. Seria possível elaborar a mesma casa, porém trocando os sensores utilizados para sensores de GPS, que responderiam as suas funções de acordo com um aplicativo programado pelos próprios estudantes. Porém, como dito anteriormente, a falta de tempo impossibilitou realizar essa ação, utilizando os sensores como uma analogia ao sistema estudado.

Após a construção da casa inteligente, os alunos responderam a um questionário, Apêndice E, que abordou as atividades desenvolvidas ao longo da ABP, de forma a analisar se ocorreu ou não uma evolução no que diz respeito ao possível domínio do Campo Conceitual da Relatividade.

## 5 RESULTADOS

A metodologia descrita na seção anterior foi desenvolvida em dois momentos: um projeto piloto e o projeto final. A primeira vez na qual foi implementada a pesquisa só foi possível desenvolver até a Atividade 4 por conta de mudanças imprevistas no calendário escolar, impossibilitando o término da pesquisa. O projeto piloto trazia como objetivo colocar o Arduino como peça central do trabalho, porém após uma reflexão sobre a função desse dispositivo na pesquisa, a placa controladora se tornou apenas um recurso utilizado ao longo das atividades, deixando de ser um dos objetivos da pesquisa.

Esse primeiro momento da pesquisa teve uma das atividades analisadas para elaboração de um artigo publicado em evento no 16º Simpósio de Investigação em Educação de Física (SIEF 16), realizado entre os dias 23 e 30 de novembro de 2022 em modalidade virtual, promovido pela Revista Enseñaza de la Física, classificada como A3 no Quadriênio 2017-2020.

O artigo intitulado “*A voz e a escolha do aluno para construção de uma aprendizagem baseada em projetos*” resultado desse trabalho inicial em questão teve como foco a etapa Voz e Escolha do Aluno definida no Quadro 8, de forma a colocar o estudante no centro de seu processo de aprendizagem e oportunizar uma maior autonomia e envolvimento com o projeto desenvolvido. Os resultados obtidos através dessa pesquisa serviram como atividade para investigar os conhecimentos prévios dos estudantes e estabelecer as atividades que viriam a ser desenvolvidas posteriormente.

O Projeto Final foi desenvolvido através das Atividades descritas no Capítulo 4, onde duas dessas atividades foram analisadas e redigidas em formato de artigos. O artigo de número 2 apresentado nessa dissertação foi enviado para o dossiê da Revista de Produtos Educacionais e Pesquisa em Ensino (A4) intitulado: Pesquisa Translacional e Produtos Educacionais no Ensino de Física e publicado sob o título “*A Plataforma Arduino e seu Potencial como Ferramenta de Explicitação de Invariantes Operatórios Relacionados aos Conceitos de Velocidade e Aceleração*”. O trabalho enviado ao dossiê teve por objetivo analisar quais invariantes operatórios podem ser explicitados relacionados aos conceitos de velocidade e aceleração a partir de situações-problema tendo o Arduino como um produto educacional. A pesquisa pode concluir que a plataforma Arduino foi de grande contribuição para o auxílio no momento da explicitação dos invariantes, tornando a aula um quanto tanto lúdica e permitindo que o aluno conseguisse visualizar de forma mais concreta os conceitos envolvidos na ação proposta, além disso, através da análise dos invariantes operatórios, verificamos que ocorreu

indícios de um possível domínio do campo conceitual da velocidade e aceleração, conceitos esse que se fizeram necessários nas atividades que envolveram os efeitos da relatividade.

Por sua vez um terceiro artigo aprovado pela Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico, apresenta os resultados obtidos através da Atividade 6, buscou responder a seguinte questão: *Quais invariantes operatórios relacionados a Teoria da Relatividade restrita podem ser mobilizados através de uma atividade investigativa tendo a Aprendizagem Baseada em Projetos como referencial metodológico?* Os resultados da pesquisa apontam que o produto tecnológico aliado a metodologia da ABP possibilitou mobilizar diversos grupos de Invariantes Operatórios, alguns explícitos, outros implícitos, indo ao encontro do previsto pela TCC, revelando que essa metodologia é potencialmente promissora, incentivando o pensamento crítico, de forma a gerar um ambiente estimulante para o aprendizado.

A seguir apresentamos o artigo enviado para evento, resultado do Projeto Piloto, e os dois manuscritos citados na íntegra.

### **5.1 Artigo 1 (Publicado no 16º Simpósio de Investigação em Educação de Física.<sup>6</sup>) - A voz e a escolha do aluno para a construção de uma aprendizagem baseada em projetos**

#### **Resumo**

Este artigo tem como objetivo apresentar uma das etapas de um itinerário formativo visando responder a seguinte questão: Quais os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito do GPS e como o protagonismo deles pode guiar o desenvolvimento de uma ABP? A pesquisa foi realizada em uma escola pública de Mato Grosso do Sul, Brasil, no Ensino Médio, na disciplina Itinerário Formativo. Através da etapa a “Voz e Escolha do Aluno”, buscamos identificar os conhecimentos prévios dos estudantes utilizando como método de coleta de dados o modelo SQP o qual, através de três questões, auxilia a entender onde os estudantes se encontram em relação a um conteúdo específico. O Quadro consiste na colocação de uma série de questionamentos a respeito de um determinado tópico, visto que ao identificar o que os alunos já sabem sobre uma temática, o grupo da ABP já estará trabalhando o conhecimento que foi adquirido. Para a análise dos resultados utilizamos o software Iramuteq, de forma a construir um grafo da árvore máxima de similitude. Os grafos gerados a partir das questões puderam orientar quais procedimentos serão tomados desse ponto em diante, além de deixar claro as

---

<sup>6</sup> O referido artigo está disponível no Apêndice E e pode ser acessado através do seguinte link: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/39807/39938>

expectativas dos estudantes perante o que será desenvolvido bem como os conhecimentos prévios acerca da temática proposta.

**Palavras-chave:** Aprendizagem baseada em projetos; Itinerário formativo; GPS; Teoria da relatividade

### **Abstract**

This article aims to present one of the stages of a training itinerary in order to answer the following question: What is the students' previous knowledge about GPS and how their protagonism can guide the development of a PBL? The research was carried out in a public school in Mato Grosso do Sul, Brazil, in High School, in the course Formative Itinerary. Through the "Student's Voice and Choice" step, we seek to identify the students' prior knowledge using the SQP model as a data collection method, which, through three questions, helps to understand where students are in relation to specific content. The Framework consists of placing a series of questions about a particular topic, since when identifying or what students already know about a theme, the PBL group will already be in the knowledge activity that was acquired. For the analysis of the results, we used the Iramuteq software, in order to construct a graph of the maximum similarity tree. The graphs generated from the questions were able to guide which procedures will be taken from that point on, in addition to making clear the students' expectations regarding what will be developed as well as previous knowledge about the proposed theme.

**Keywords:** Project-based learning; Training itinerary; GPS; Theory of relativity.

## **I.INTRODUÇÃO**

No decorrer das últimas décadas, diversos pesquisadores têm contribuído para a inserção do Ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na Educação Básica. Conforme afirma Dominguni (2012), os debates e propostas a respeito da inserção desses conteúdos vêm se acentuando. Vivemos em uma sociedade que está imersa no mundo tecnológico, porém quase nada se sabe a respeito do funcionamento dessas tecnologias (Pessanha e Pietrocola, 2016). Estudos que evidenciam a necessidade de inserir uma Física atual e contextualizada na grade curricular não são uma novidade. Vindo ao encontro desses estudos, o Currículo de Referência de Mato Grosso do Sul (MS) traz uma abordagem que permite aos estudantes um maior contato com tópicos de FMC, propiciando a integração da teoria com a prática. O documento oficial

citado tem como objetivo estabelecer os referenciais curriculares necessários para a elaboração de Itinerários Formativos (IF), destacando que:

O Novo Ensino Médio pretende atender às necessidades e expectativas dos estudantes, fortalecendo seu interesse, engajamento e protagonismo, visando garantir sua permanência e aprendizagem na escola. Também busca assegurar o desenvolvimento de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores capazes de formar as novas gerações para lidar com desafios pessoais, profissionais, sociais, culturais e ambientais do presente e do futuro, considerando a intensidade e velocidade das transformações que marcam as sociedades na contemporaneidade (BRASIL, 2018B,p.1).

Os IFs devem contemplar uma carga horária de 1200 horas de forma que proporcione ao estudante o aprofundamento em uma determinada área do conhecimento através de atividades realizadas em sala de aula (Brasil, 2018b). De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (Brasil,2018a), os IFs deverão estar organizados em áreas do conhecimento, sendo elas: Linguagens e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Ciências Humanas e suas Tecnologias e Formação Técnico Profissional. A organização e construção dos IFs deverão contemplar quatro eixos estruturantes :Investigação Científica, Processos Criativos, Mediação e Intervenção Sociocultural e Empreendedorismo.

Neste artigo apresentamos uma das etapas de um projeto desenvolvido em um IF, na área do conhecimento de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, fazendo uso do método científico para promover a busca por respostas para os fenômenos da natureza mediante observação e questionamentos (Mato Grosso do Sul, 2021). O Currículo de Referência do MS permite a implementação de diversos projetos direcionado ao ensino da Física Moderna e Contemporânea de maneira contextualizada, permitindo ao aluno se aprofundar em uma área do conhecimento que tenha maior interesse.

Pensando em contemplar esses referenciais estabelecidos pelo novo currículo e criando um ambiente em sala de aula que promova o protagonismo do aluno, agregando maior significado naquilo que se ensina, elaboramos um projeto utilizando a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) como metodologia didática de um IF voltado para o estudo da Relatividade, a partir de atividades relacionadas ao estudo do Sistema de Posicionamento Global (GPS)em um contexto de Ensino Médio. Para Souza e Dourado (2015), a ABP é uma metodologia centrada na aprendizagem dos estudantes “que tem por base a investigação para a resolução de problemas e que envolve os conhecimentos prévios dos alunos”.

Este trabalho tem como foco a etapa Voz e Escolha do Aluno de forma a colocar o estudante no centro de seu processo de aprendizagem, dando maior autonomia ao participante dentro do projeto intitulado “O Uso do Arduino como Recurso Didático na Construção do Campo Conceitual da Teoria da Relatividade”. Assim apresentamos os resultados dessa etapa

e buscamos responder a seguinte questão: quais os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito do GPS e como o protagonismo do estudante pode guiar o desenvolvimento de uma ABP?

## **II. APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS**

Os estudantes não mais se comportam como meros depósitos de conhecimentos, e tratá-los dessa forma apenas dificulta o processo de ensino, visto que a acumulação de conteúdos não traz significado para os alunos, tornando as aulas maçantes e exaustivas. Do mesmo modo que os alunos anseiam por aulas com metodologias diferenciadas, os professores também se sentem angustiados diante da evolução tecnológica e das mudanças comportamentais presentes no âmbito escolar (MARTINAZZO, TRENTIN, FERRARI E PIAIA, 2014).

Segundo Pasqueletto, Veit e Araujo (2017) metodologias que coloquem a escola em consonância com as necessidades da sociedade são indispensáveis. Pensando então em um contexto de metodologias ativas, que proporcionem ao aluno estar no centro do processo educativo, a ABP vem se mostrando um formato empolgante e inovador, proporcionando aos alunos trabalharem com tarefas do mundo real, podendo até mesmo trazer contribuições para sua comunidade (BENDER, 2014).

Dentro do contexto escolar é comum encontrar alunos desmotivados ou desinteressados naquilo que o professor está lecionando. Portanto, buscar estratégias para motivar esses estudantes, cativando a sua curiosidade e empenho nas atividades de sala de aula é de extrema importância. Bender (2014) define a ABP como sendo “projetos autênticos e realistas, baseados em uma questão, tarefa ou problema altamente motivador e envolvente, para ensinar conteúdos acadêmicos aos alunos no contexto do trabalho cooperativo para a resolução de problemas”. Para muitas pessoas falarem de “física” é algo que traz consigo diversas lembranças de experiências negativas, por conta da sua complexidade ou mesmo pela falta de afinidade com a área do conhecimento.

O primeiro contato formal dos estudantes com a disciplina Física costuma ser no Ensino Médio, tornando esse momento fundamental para apresentar e trabalhar a disciplina de maneira que seja mais atraente aos olhos de quem aprende. Desse modo desenvolver e cativar os alunos a investigar o objeto de estudo deve auxiliar no processo de aprendizagem. A ABP vem justamente ao encontro disso, uma vez que define a motivação do aluno como ponto importante para o processo, buscando proporcionar ao indivíduo o poder de escolha no seu processo educacional. Bender (2014) destaca que:

[...] quando os alunos escolhem realizar uma experiência de aprendizagem dessa natureza, é muito mais provável que eles participem ativamente de todas as fases do processo de aprendizagem se tiverem um poder de escolha considerável sobre quais questões serão abordadas e quais atividades serão realizadas. Além disso, quando os alunos veem que estão tratando de um problema do mundo real e procurando por uma solução real, eles ficam ainda mais motivados (BENDER, 2014, p. 45).

Nas diretrizes da ABP, a construção da aprendizagem só irá acontecer caso o aluno seja um elemento ativo; a sua motivação deve ser de maneira intrínseca, não extrínseca. Isso significa que o projeto será bem-sucedido mediante aquilo que o aluno de fato fizer, e não algo que o professor apenas demonstre ou faça por ele (MASSON, MIRANDA, MUNHOZ JUNIOR E CASTANHEIRA, 2012). Nesse contexto o professor assumirá um papel de problematizador/mediador, tendo como função motivar o aluno, despertando a curiosidade e o desejo pelo objeto do conhecimento, enquanto o aluno possui um papel de agente, estando ele no centro do seu processo de aprendizagem. Um dos desafios para se abordar esse método de aprendizagem é sobre como implementá-lo dentro do currículo. Bender (2014) afirma que ao implementar o projeto, o professor deve se questionar qual será o foco: utilizar a ABP como um suplemento para uma ou mais unidades de ensino ou utilizar como substituto para o ensino tradicional que é baseado em unidades? A ABP pode estar vinculada a diversas unidades de ensino em uma instituição, por exemplo, o professor de Biologia pode trabalhar durante o projeto os conceitos envolvidos no processo da fotossíntese enquanto o professor de Química trabalha os conceitos pertinentes a sua área do conhecimento relacionados ao processo de produção de energia das plantas.

Para a elaboração do processo não existe um passo a passo a se seguir ou lista de critérios a serem cumpridas. Porém, existem alguns aspectos comuns nas obras dos estudiosos dessa área que ajudam a orientar o planejamento, conforme apresentado no Quadro I.

QUADRO I – Características essenciais da ABP de acordo com Bender (2014, p.16-17)

<b>Âncora</b>	Introdução e informações básicas para preparar o terreno e gerar o interesse dos alunos.
<b>Trabalho em equipe cooperativo</b>	É crucial para as experiências da ABP, enfatizado por todos os proponentes da ABP como forma de tornar as experiências de aprendizagem mais autênticas.
<b>Questão motriz</b>	Deve chamar a atenção dos alunos, bem como focar seus esforços.
<b>Feedback e revisão</b>	A assistência estruturada deve ser rotineiramente proporcionada pelo professor ou no interior do processo de ensino cooperativo. O feedback pode ser baseado nas avaliações do professor ou dos colegas.
<b>Investigação e inovação</b>	Dentro da questão motriz abrangente, o grupo precisará gerar questões adicionais focadas mais especificamente nas tarefas do projeto.
<b>Oportunidades e reflexão</b>	Criar oportunidades para a reflexão dos alunos dentro de vários projetos é aspecto enfatizado por todos os proponentes da ABP.
<b>Processo de investigação</b>	Pode-se usar diretrizes para a conclusão do projeto e geração de artefatos para estruturar o projeto. O grupo também pode desenvolver linhas de tempo e metas específicas para a conclusão de aspectos do projeto.
<b>Resultados apresentados publicamente</b>	Os projetos de ABP pretendem ser exemplos autênticos dos tipos de problemas que os alunos enfrentam no mundo real, de modo que algum tipo de apresentação pública dos resultados do projeto é fundamental dentro da ABP.
<b>Voz e escolha do aluno</b>	Os alunos devem ter voz em relação a alguns aspectos de como o projeto pode ser realizado, além de serem encorajados a fazer escolhas ao longo de sua execução.

Fonte: Bender (2014, p.16-17).

Conforme discutido anteriormente, é essencial para o sucesso do projeto proposto a participação do aluno, dando a ele a oportunidade de ter uma voz ativa dentro do projeto. Portanto, a pesquisa tem o seu foco na característica da “Voz e escolha do aluno”, buscando colocar o aprendiz como um agente do seu processo de aprendizagem, atingindo melhores resultados ao final da ABP, aumentando o seu interesse e comprometimento com as atividades propostas ao longo da execução do planejamento.

O momento e de que forma possibilitar as escolhas do aluno deverão ser decisões a serem tomadas pelo professor, podendo o professor permitir aos alunos se envolverem na elaboração da questão motriz ou mesmo após a questão já ter sido estabelecida. Em caso posterior, os estudantes podem ter participação ao realizarem um *brainstorming* para a implementação do projeto ou mesmo para o desenvolvimento do Artefato que eles deverão produzir ao final do projeto (BENDER, 2014). As possibilidades para trabalhar esse aspecto são inúmeras, permitindo ao regente explorar a sua imaginação, se baseando até mesmo em outros projetos já executados, que podem ser encontrados na plataforma online Edutopia, a qual contempla um vasto material a respeito da ABP.

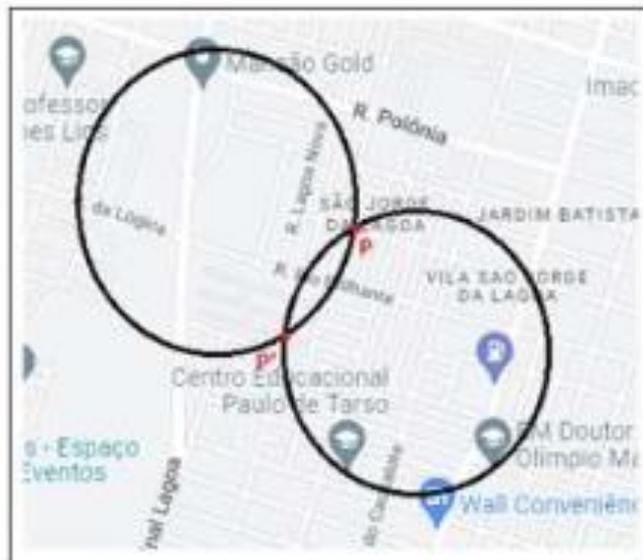
Analisando o contexto do cotidiano do aluno e buscando trazer o uso de tecnologias para sala de aula, de modo a promover um maior interesse no conteúdo que se estuda, o projeto que este artigo propõe será trabalhado após a Questão Motriz já ter sido definida previamente pelo educador: como o Sistema de Posicionamento Global ou GPS (*Global Positioning System*) funciona e como ele é capaz de localizar um objeto na Terra? Para responder esta

questão será trabalhada a Teoria da Relatividade, uma vez que esta responde as questões que envolvem os efeitos da dilatação temporal sofrida pelos satélites em órbita.

### A. GPS e a Teoria da Relatividade

A Teoria da Relatividade foi proposta em 1905 pelo Físico teórico Albert Einstein, sendo essa um dos pilares da Física Moderna junto à Mecânica Quântica. Os estudos publicados por Einstein trouxeram diversas mudanças na compreensão de mundo, proporcionando a criação de novas tecnologias que vieram para facilitar a vida das pessoas. Com o avanço da internet e dos telefones móveis na vidas das pessoas, o GPS se tornou algo presente no dia a dia da humanidade, seja para procurar a melhor rota para ir ao trabalho ou mesmo para monitorar a que distância se encontra o motorista de um aplicativo de viagens. Apesar do uso constante dessa tecnologia, é difícil encontrar uma pessoa que saiba como funciona o GPS. De modo geral, se for possível determinar a distância de um corpo até outros três pontos, a localização pode ser triangulada para um único ponto através do Princípio da Trilateração, utilizando circunferências para determinar a posição do objeto. Do contrário, caso se tenha apenas dois pontos, terão dois possíveis locais em que o corpo pode se encontrar, conforme mostrado na Figura 1. Por sua vez, a Figura 2 apresenta o Princípio da Trilateração a partir de três circunferências, sendo o resultado um ponto no plano.

**Figura 1** - Os pontos P e P' indicam as possíveis localizações.



**Fonte:** Autores.

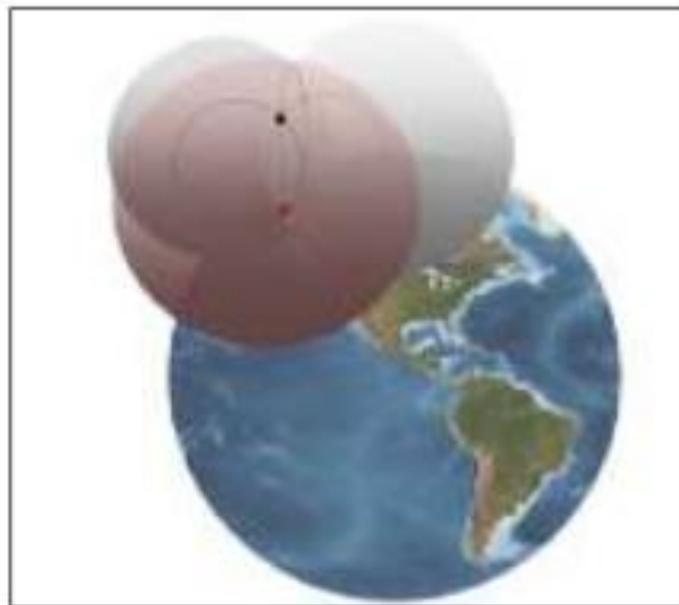
**Figura 2** - O ponto Q indica o local em que se encontra o objeto.



**Fonte:** Autores.

O receptor do GPS utiliza o mesmo princípio para determinar a posição de um corpo no planeta. Suponha que em um dado instante de tempo  $t$  o receptor receba o sinal de três satélites distintos. Os raios encontrados pelos satélites serão correspondentes a uma superfície esférica. Considerando que a Terra seja um quarto corpo esférico, essas quatro esferas irão se interceptar em um único ponto, sendo esse a localização do objeto no planeta, como apresentado na Figura 3.

**Figura 3** - Intersecção de quatro superfícies esféricas (LIMA, 2013).



**Fonte:** Lima (2013).

Por se tratar de uma velocidade extremamente alta o tempo deve ser medido com uma alta precisão, onde um microssegundo de erro corresponde a um erro de 300 metros de distância

(Huerta, Galles, Greco e Mangieterra, 2008). No interior de cada satélite existe um relógio atômico, visto que, o receptor e o emissor do sinal se encontram em pontos diferentes do campo gravitacional terrestre, sendo necessário levar em conta as propriedades relativísticas, fazendo com que os relógios atômicos se atrasem em relação aos que se encontram em um ponto diferente do campo gravitacional, conforme previsto pela Teoria da Relatividade.

Para esse trabalho, buscamos mobilizar conhecimentos prévios e conhecimentos científicos presentes na estrutura cognitiva dos estudantes, a partir do modelo de SQP (Saber-Querer-Precisar), desenvolvido originalmente por Ogle (1986), o qual através de três questões auxilia a entender onde os estudantes se encontram em relação a um conteúdo específico.

### **III. METODOLOGIA**

A presente pesquisa, de abordagem qualitativa, foi realizada em uma escola estadual de MS com um grupo de 27 alunos na faixa etária de 15 anos a 18 anos, que estavam matriculados nas aulas do Itinerário Formativo da Unidade Curricular Bloco II – Eletiva com estudantes do 1º, 2º e 3º ano do Ensino Médio. No total, a turma contava com 30 alunos, porém 3 alunos recusaram participar da pesquisa. Esses três estudantes desenvolveram as atividades com a turma, porém os seus dados não foram utilizados para análise. De forma a determinar quais são os conhecimentos prévios dos estudantes e visualizar as expectativas deles para como o projeto será desenvolvido, foi solicitado aos participantes que registrassem suas respostas a partir do modelo de SQP (Quadro II) de forma individual. Determinar em que ponto os alunos se encontram em relação a um determinado conteúdo é muito a um professor antes dar início a um projeto. O método apresentado no Quadro II envolve a colocação de um quadro em branco com uma série de questionamentos a respeito dos conhecimentos do aluno perante uma problemática. Bender (2014) afirma que “ao identificar o que os alunos já sabem sobre um tópico, o grupo de ABP estará ativando o conhecimento adquirido”. Ao definir o tópico ou elaborar o projeto, o pesquisador deve ficar atento ao grau de complexidade daquilo que será trabalhado, quanto mais complexo foi, maior a probabilidade de alguns itens ou pontos importantes não se encaixarem dentro das perguntas, portanto, o Quadro SQP deve ser usada de maneira crítica e objetiva durante o projeto (BENDER, 2014). As questões podem vir acompanhadas de uma breve discussão ou mesmo um brainstorming, ficando a critério da pessoa que elabora o projeto. Uma sugestão interessante é que, ao final do projeto, trabalhar novamente o Quadro adicionando a questão “O que eu aprendi?”, permitindo que os próprios estudantes possam enxergar se houve, ou não, uma evolução conceitual durante o processo.

**Quadro II** – Quadro SQP de acordo com Bender (2014) desenvolvido por Ogle (1986).

<i>SABER</i> <i>O que eu sei?</i>	<i>QUERER</i> <i>O que eu quero saber?</i>	<i>PRECISAR</i> <i>O que eu preciso saber?</i>
--------------------------------------	---	---

**Fonte:** Bender (2014).

De forma a obter as respostas de maneira mais clara possível, o pesquisador realizou pequenas discussões sobre cada uma das questões a serem respondidas. As respostas deveriam seguir a temática proposta no projeto. Portanto, as respostas deveriam ser sobre “O que eu sei, o que eu quero saber e o que eu preciso saber sobre o GPS?”.

Com o objetivo de manter o sigilo na identificação dos participantes, os seus respectivos nomes foram alterados para Aluno 1, Aluno 2 e assim por diante. Para a análise dos dados coletados, ou seja, as respostas às questões aplicadas, foi utilizado o programa Iramuteq. Este propicia diferentes tipos de análises: estatísticas textuais, classificação hierárquica descendente, análises de similitude e nuvem de palavras.

O IRaMuTeQ é um software de análise textual, que funciona ancorado ao programa estatístico R e gera dados, a partir de textos (corpora textuais) e tabelas. Os resultados dessas análises demonstram a posição e a estrutura das palavras em um texto, ligações e outras características textuais, que permitem detectar indicadores e, assim, visualizar intuitivamente a estrutura e ambientes do texto a ser analisado (KLANT, DOS SANTOS, 2021, p. 2)

O software é capaz de agregar muito valor ao que diz respeito a análise de conteúdo, porém ele por si não realiza a tarefa de apresentar e discutir os dados, cabendo esse momento ao pesquisador (KLANT, DOS SANTOS, 2021). Neste trabalho utilizamos a análise de similitude, a qual utiliza a teoria dos grafos que possibilita verificar o grau de conexão entre as palavras. Para o corpus textual, foram criados códigos para cada pergunta apresentada no Quadro II, onde a variável “nome do aluno” foi substituída por um número, de modo a garantir a privacidade do participante. Nas respostas foram corrigidos possíveis erros de gramática; por exemplo, onde se lia “referensia” corrigiu-se para “referência”. Palavras que fazem uso da letra “ç” foram substituídas por “c” e as que possuem conexão como “teoria da relatividade” foram alteradas para “teoria\_da\_relatividade”, de modo a facilitar a leitura do software.

## **RESULTADOS**

Apresentamos, a seguir, os resultados da análise das respostas transcritas das questões aplicadas (quadro II). Para a questão “o que eu sei” apresentamos na figura 4 o grafo da árvore

máxima de similitude por coocorrência, que permitiu visualizar as relações entre as palavras apresentadas pelos estudantes ao responder a questão.

**Figura 4.** Grafo gerado a partir do software Iramuteq correspondente à questão “O que eu sei”.



**Fonte:** Autores.

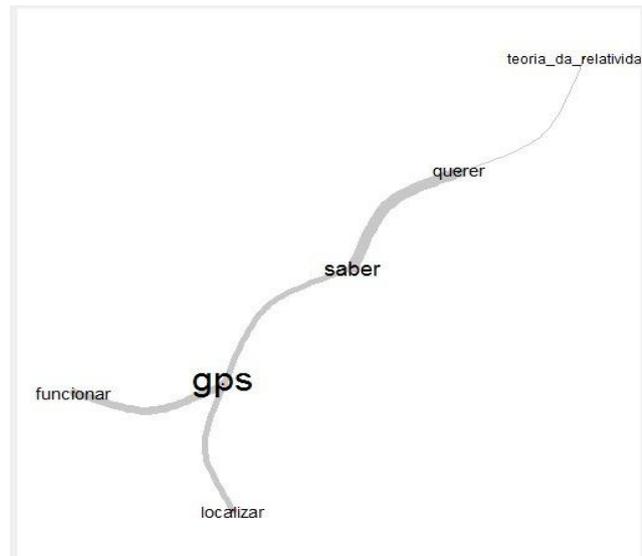
Pela análise do grafo foi possível evidenciar que os estudantes possuem um conhecimento prévio de que o GPS é um recurso utilizado para localização. Na parte inferior, observam-se linhas mais finas, indicando uma menor recorrência ao relacionar o aplicativo com satélites, sendo esse uma das bases de seu funcionamento. De maneira geral, as respostas apresentadas demonstram que os participantes do projeto possuem um conhecimento básico a respeito da tecnologia utilizada para localização.

Para verificar se o grafo gerado estava de acordo com as respostas obtidas, foi realizada uma comparação entre o que foi obtido pelo software com o que foi escrito pelos estudantes. Abaixo apresentamos a transcrição das respostas de participantes distintos que responderam a questão “O que eu sei”.

“Aluno 1: O GPS é um dispositivo de **localização**.; Aluno 2: O GPS nos ajuda a **localizar**, não se perder.”; Aluno 10: “Aplicativo usado para localizar cidades, ruas, locais [...]”; Aluno 15: “É um **sistema de localização** que emite sinais de satélites”; Aluno 20: “[...] que serve para te **ajudar a se localizar ou localizar alguém**”.(grifo nosso)

Por sua vez, a figura 5 contempla o grafo da questão “O que eu quero saber?” sobre GPS ao decorrer da ABP.

**Figura 5.** Grafo gerado a partir do software Iramuteq correspondente à questão “O que eu quero saber”.



**Fonte:** Autores.

A análise realizada permite uma orientação para quais atividades serão desenvolvidas ao longo do Itinerário Formativo. O grafo mostra que existe uma ocorrência maior em querer saber como funciona e como o GPS faz para localizar algo, enquanto uma pequena parcela tem interesse em saber como a Teoria da Relatividade se relaciona com o sistema de localização. Ou seja, as ações promovidas terão como foco o funcionamento da tecnologia e consequentemente suas implicações com a Teoria da Relatividade.

Novamente, para critérios de comparação, apresentamos cinco respostas que foram escritas por alunos distintos para a pergunta “O que eu quero saber”.

Aluno 1: “Como funciona a **localização do GPS**.”; Aluno 2: “Como a Teoria da Relatividade **funciona** e como o GPS nos localiza.” Aluno17: “Como eles sabem a **onde estamos**.”; Aluno 12: “Quero saber se o GPS **funciona**[...]”; Aluno 5: “Como funciona a tecnologia do GPS”. (grifo nosso).

Por fim, a figura 6 apresenta quais conhecimentos os estudantes acreditam que precisam saber para compreender.

**Figura 6.** Grafo gerado a partir do software Iramuteq correspondente à questão “O que eu preciso saber”.



Na busca por novas metodologias que atendam aos interesses dos estudantes e que ao mesmo atenda as expectativas do Novo Ensino Médio, a Aprendizagem Baseada em Projetos se apresenta como uma abordagem contemporânea que possibilita liberdade aos professores de trabalharem os objetos de conhecimento, ao mesmo que permite ao aluno expor as suas expectativas diante ao que se irá aprender.

Para a presente pesquisa, a Questão Motriz foi escolhida previamente pelo professor pesquisador, porém nada impede que o professor delimite o que será trabalhado com os alunos antes mesmo de começar a elaborar a ABP. Possibilitar ao estudante participar de seu processo de aprendizagem, colocando-o como protagonista dentro do âmbito escolar, tem como resultado uma maior motivação por parte deles e conseqüentemente um melhor rendimento escolar.

Os grafos gerados a partir das questões puderam orientar quais procedimentos serão tomados desse ponto em diante, além de deixar claro os anseios dos alunos perante o que será desenvolvido.

Por fim, acreditamos que diversas questões poderão surgir ao longo do projeto, além das que inicialmente emergiram neste trabalho. Nesse sentido, organizar um primeiro olhar para os conhecimentos prévios sobre o tema que efetivamente será trabalhado será de grande importância para orientar as ações a serem planejadas.

## **REFERÊNCIAS**

- BENDER, W. N. Aprendizagem Baseada em Projetos: Educação Diferenciada para o Século XXI. Porto Alegre: Penso. 2014.
- BRASIL. Portaria n.º 1432, de 28 de dezembro de 2018b. Estabelece os referenciais para elaboração dos itinerários formativos conforme preveem as Diretrizes Nacionais do Ensino Médio. Diário Oficial da União. Edição 66, Seção 1, Pg. 94. 2018.
- DOMINGUINI, L. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. Revista Brasileira de Ensino de Física, 34(2), 2502. 2012.
- HUERTA, E.; GALLES, C.; GRECO, A.; MANGIETERRA, A. El GPS y la Teoría de la Relatividad. Revista de Enseñanza de la Física 21(1). 59-70. 2008.
- KLANT, L. M., & DOS SANTOS, V. S. O uso do software Iramuteq na análise de conteúdo- estudo comparativo entre os trabalhos de conclusão de curso do ProfEPT e os referenciais do programa. Research, Society and Development, 10(4), e8210413786-e8210413786. 2021.
- LIMA, D. D. Desvendando a Matemática do GPS. Recuperado de <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/6507>. 2013

- MARTINAZZO, C. A.; TRENTIN, D. S.; FERRARI, D.; PIAIA, M. M. Arduino: Uma tecnologia no ensino de física. *Revista Perspectiva*, 38,143.2014.
- MASSON, T.J.; MIRANDA, L. F DE.; MUNHOZ JUNIOR, A. H; CASTANHEIRA, A. M. P. Metodologia de ensino: aprendizagem baseada em projetos (pbl). In: *Anais do XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE)*, Belém, PA, 2012.
- MATO GROSSO DO SUL. Currículo de Referências: SED/Secretaria Estadual de Educação de Mato Grosso do Sul.2021.
- Mato Grosso do Sul. Roteiro Prático das Eletivas: Ensino Médio em Tempo Integral. SED/Secretaria Estadual de Educação de Mato Grosso do Sul.2022.
- OGLE, D. M. KWL: A teaching model that develops active reading of expository text. "The reading teacher 39 (6), 564-570. 1986.
- PASQUELETTO, T.I.; VEIT, E.A.; ARAUJO, I.S. Aprendizagem baseada em projetos no Ensino de Física: uma revisão da literatura. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 551-577.2017.
- PESSANHA, M.; PIETROCOLA, M. O ensino de estrutura da matéria e aceleradores de partículas: uma pesquisa baseada em design. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*,16(2),361-388. 2016.
- REZENDE JUNIOR, M. F.; CRUZ, F. F. S. Física Moderna e Contemporânea na formação de licenciandos em física: necessidades, conflitos e perspectivas. *Ciência & Educação (Bauru)*,15(2).2009.
- SOUZA, S. & DOURADO, L. Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. *Holos*, 31(5) 182-200. 2015.

## **5.2 Artigo 2 (Publicado na Revista de Produtos Educacionais e Pesquisa em Ensino) - A Plataforma Arduino e seu Potencial como Ferramenta de Explicitação de Invariantes Operatórios relacionados aos Conceitos de Velocidade e Aceleração<sup>7</sup>**

### **Resumo**

A sociedade está imersa, cada vez mais, em um mundo no qual as tecnologias estão presentes em nosso dia a dia, de forma que os recursos tecnológicos não ficam de fora do contexto escolar. Neste artigo apresentamos, como produto educacional, uma montagem experimental utilizando a plataforma Arduino para introduzir os conceitos de velocidade e aceleração. A pesquisa foi implementada em uma turma de 3º ano do ensino médio de uma escola pública estadual. Utilizamos, como referencial metodológico, a Aprendizagem Baseada em Projetos, visando desenvolver e estimular o uso de ferramentas tecnológicas no contexto escolar. Para análise dos resultados utilizamos a Teoria dos Campos Conceituais buscando responder a seguinte questão de pesquisa: Quais invariantes operatórios sobre velocidade e aceleração podem ser mobilizados a partir de situações-problema tendo o Arduino como um produto educacional? O uso do dispositivo em sala de aula permitiu não apenas demonstrar e visualizar o movimento executado durante a ação, mas também realizar análise de gráficos, tornando a aula lúdica e ao mesmo tempo capaz de exigir dos alunos um pensamento crítico na análise das situações-problema a eles apresentadas. Como resultados foi possível verificar que os estudantes mobilizaram diferentes teoremas e conceitos-em-ação que apontaram para um possível domínio do Campo Conceitual abordado.

**Palavras-chave:** Arduino; Aprendizagem Baseada em Projetos; Ensino de Física.

### **Abstract**

Society is increasingly immersed in a world in which technologies are present in our daily lives, so that technological resources are not left out of the school context. In this article we present, as an educational product, an experimental setup using the Arduino platform to introduce the concepts of speed and acceleration. The research was implemented in a 3rd year high school class at a state public school. We use Project-Based Learning as a methodological reference, aiming to develop and encourage the use of technological tools in the school context. To analyze

---

<sup>7</sup> O referido artigo está disponível no Apêndice F e pode ser acessado através do seguinte link: <https://seer.uenp.edu.br/index.php/reppe/article/view/1346/1104>.

the results, we used the Conceptual Field Theory, seeking to answer the following research question: Which operational invariants about speed and acceleration can be mobilized from problem situations using Arduino as an educational product? Using the device in the classroom allowed not only to demonstrate and visualize the movement performed during the action, but also to perform graphic analysis, making the class fun and at the same time capable of demanding critical thinking from students when analyzing the problem situations presented to them. As a result, it was possible to verify that the students mobilized different theorems and concepts-in-action that pointed to a possible domain of the Conceptual Field addressed.

**Keywords:** Arduino; Project Based Learning; Teaching Physics.

### **Introdução**

As tecnologias estão cada vez mais presentes no mundo contemporâneo. Seu uso tem se mostrado fundamental em diversos setores da sociedade, seja para auxiliar no plantio de um determinado alimento ou para a obtenção mais precisa de diagnósticos médicos. Além disso, elas também se apresentam em momentos de lazer, como ao assistir um filme ou realizar chamadas de vídeo com pessoas distantes. Fato é que a tecnologia se tornou uma presença significativa na vida de uma parcela considerável da população (MARTINS, GARCIA e BRITO, 2011; ALVES, 2022).

Neste contexto, a discussão sobre a inserção de tecnologias em sala de aula não é algo recente. Ela já data de algumas décadas. Segundo Brito e Purificação (2008):

[...] estamos em um mundo em que as tecnologias interferem no cotidiano, sendo relevante, assim, que a educação também envolva a democratização do acesso ao conhecimento, à produção e à interpretação das tecnologias (Brito e Purificação, 2008, p. 23).

Como afirmam os autores, tratar dos recursos tecnológicos no âmbito da educação não é algo somente para agradar aos estudantes, mas também traz um viés de democratização do conhecimento, oportunizando o acesso, a produção e a interpretação do uso dessas tecnologias.

Considerando que a tecnologia está presente em diversos setores da sociedade contemporânea, por que não introduzi-lá também na prática docente? De acordo com Martinazzo, Trentin, Ferrari e Piaia (2014), os estudantes não se contentam apenas com aulas expositivas. Já os professores, estes se encontram em uma situação de angústia frente à evolução tecnológica e, conseqüentemente, na mudança comportamental dos estudantes.

A presença de dispositivos móveis e computadores possibilita ao estudante o acesso

constante à internet, oportunizando uma variedade de recursos e informações que contribuem para o seu enriquecimento e, ao professor, propicia novas estratégias pedagógicas diferenciadas, capazes de enriquecer e tornar mais atrativas suas aulas. Porém, esta atração muitas vezes não se traduz automaticamente em um engajamento profundo e aprendizado significativo. Souza Neto (2015, p.5) destaca que “a simples utilização das tecnologias digitais como forma de apoio às tradicionais estratégias de ensino é compreendê-las de forma bem limitadas em relação ao seu potencial”.

No entanto, para que o uso de tecnologias seja integrada à prática docente de forma efetiva, elas devem promover a participação ativa do estudantes, contribuir na resolução de problemas e integrar os conteúdos de forma mais significativa. No ensino de Física destacam-se diferentes possibilidades de uso das tecnologias digitais, as quais possibilitam a modelagem e o estudo de diferentes fenômenos. Podemos citar o uso de *hardwares* e *softwares*, recursos como o uso de simulações, vídeos, plataformas online e aplicativos móveis que permitem visualizar e compreender fenômenos complexos (ARANTES, MIRANDA e STUART, 2010; NOGUEIRA, 2023).

Rodrigues (2017,p.37) destaca que a utilização e integração das tecnologias digitais são significativas e provocam alterações positivas nos professores e estudantes, “ seja ao nível da inovação das metodologias ou da melhoria da motivação e dos resultados escolares dos alunos”.

Neste contexto, o presente artigo traz como proposta utilizar a a plataforma Arduino para introduzir o estudo dos conceitos de Velocidade e Aceleração, tendo como aporte metodológico a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP).

Para análise dos resultados utilizamos a Teoria dos Campos Conceituais buscando responder a seguinte questão de pesquisa: Quais invariantes operatórios sobre velocidade e aceleração podem ser mobilizados a partir de situações-problema tendo o Arduino como um produto educacional?

## **Aporte Teórico**

### **O Arduino e o Ensino de Física**

Na área da Ciências da Natureza e, principalmente, na Física, é comum trabalhar utilizando modelagem computacional, de forma a trazer um maior significado para conceitos que muitas vezes se apresentam de forma abstrata e de difícil compreensão. Dentre as diversas formas de se fazer uma modelagem, a placa controladora Arduino vem se mostrando versátil e de simples entedimento, não sendo necessário um estudo aprofundado para compreender o

básico acerca da funcionalidade do aparelho.

O Arduino é uma placa controladora de código aberto, destinado para qualquer pessoa que deseja realizar projetos interativos. Ele utiliza-se de diferentes tipos de sensores, sendo capaz de acender um simples LED de forma automática e até mesmo abrir portões de garagem conforme a aproximação de um veículo. A vantagem desse produto é que ele pode ser usado tanto por amadores que desejam aprender sobre a tecnologia ou mecanizar algo de seu cotidiano, quanto por profissionais do ramo da programação (ARDUINO.CC, 2021). Desde sua criação, o arduino vem ocupando espaço em diversos setores, e a área do ensino não ficaria de fora. O dispositivo começou a ser utilizado em escolas e universidades buscando enriquecer o conhecimento nos cursos ministrados (GONÇALVES, FREITAS e CALHEIRO, 2023). De acordo com Moreira, Romeu, Alves e Silva (2018), o aparato pode ser utilizado no meio escolar através da experimentação, visando elaborar instrumentos científicos de custo acessível, instigando não somente a curiosidade, como também servindo de uma iniciação para um ambiente de programação.

Em um ambiente de sala de aula é importante a maneira como o Arduino será utilizado, o que será fundamental para agregar uma aprendizagem com maior significado, propiciando o planejamento de aulas mais dinâmicas e atrativas aos olhos dos estudantes. Apesar das vantagens que o arduino pode promover nesse ambiente, ele ainda é pouco utilizado, visto que os professores podem não ter tido uma formação inicial ou continuada que os preparassem para o uso dessa tecnologia (MARTINAZZO et. al, 2014).

Visando analisar os aspectos acima citados acerca das vantagens de se utilizar essa tecnologia no ambiente escolar, o presente trabalho busca verificar se o uso da tecnologia Arduino aliada ao ambiente escolar tem a capacidade de promover não somente um ambiente potencialmente estimulante para o aprendizando, mas também servir como ideias para que professores de diferentes áreas possam se inspirar e introduzir a tecnologia em suas práticas pedagógicas.

### **Aprendizagem Baseada em Projetos**

Buscando romper com um modelo de ensino que costuma dar respostas prontas ou que busque vencer o currículo escolar, tornando o estudante um agente passivo em sala de aula, as metodologias ativas surgem como ferramentas para auxiliar o professor a atingir melhores resultados em suas práticas pedagógicas, tornando o ambiente escolar mais prazeroso ao estudante.

De acordo com Morán (2015), para que os estudantes se tornem mais proativos é

necessário, também, adotar estratégias que envolvam o aprendiz em atividades complexas, exigindo tomadas de decisões e posicionamento diante das questões apresentadas, utilizando materiais que sejam relevantes, agregando a experimentação de novas possibilidades e estimulando iniciativas de forma ativa em sala de aula. O autor destaca a importância da inovação na educação, argumentando que o ensino baseado em projetos é uma maneira eficaz de promover a inovação na sala de aula.

Visando trabalhar uma metodologia ativa no ensino de Física, a ABP vem justamente ao encontro de se criar um espaço que permita ao estudante exercer um pensamento crítico, tornando-o um agente central de seu processo de ensino e aprendizagem. A ABP é definida por Bender (2014, p.15) como sendo “projetos autênticos e realistas, baseados em uma questão, tarefa ou problema altamente motivador e envolvente, para ensinar conteúdos acadêmicos aos estudantes no contexto do trabalho cooperativo para a resolução de problemas”. O Quadro 1 apresenta características essenciais para a ABP, definidas pelo autor.

**Quadro 1** - Características essenciais da ABP de acordo com Bender (2014, p.16-17).

<b>Âncora</b>	Introdução e informações básicas para preparar o terreno e gerar o interesse dos estudantes.
<b>Trabalho em equipe cooperativo</b>	É crucial para as experiências da ABP, enfatizado por todos os proponentes da ABP como forma de tornar as experiências de aprendizagem mais autênticas.
<b>Questão motriz</b>	Deve chamar a atenção dos estudantes, bem como focar seus esforços.
<b>Feedback e revisão</b>	A assistência estruturada deve ser rotineiramente proporcionada pelo professor ou no interior do processo de ensino cooperativo. O feedback pode ser baseado nas avaliações do professor ou dos colegas.
<b>Investigação e inovação</b>	Dentro da questão motriz abrangente, o grupo precisará gerar questões adicionais focadas mais especificamente nas tarefas do projeto.
<b>Oportunidades e reflexão</b>	Criar oportunidades para a reflexão dos estudantes dentro de vários projetos é aspecto enfatizado por todos os proponentes da ABP.
<b>Processo de investigação</b>	Pode-se usar diretrizes para a conclusão do projeto e geração de artefatos para estruturar o projeto. O grupo também pode desenvolver linhas de tempo e metas específicas para a conclusão de aspectos do projeto.
<b>Resultados apresentados publicamente</b>	Os projetos de ABP pretendem ser exemplos autênticos dos tipos de problemas que os estudantes enfrentam no mundo real, de modo que algum tipo de apresentação pública dos resultados do projeto é fundamental dentro da ABP.
<b>Voz e escolha do estudante</b>	Os estudantes devem ter voz em relação a alguns aspectos de como o projeto pode ser realizado, além de serem encorajados a fazer escolhas ao longo de sua execução.

Fonte: Bender (2014).

A dissertação da qual originou esse trabalho teve como *Questão Motriz* estudar como a Teoria da Relatividade está associada ao funcionamento da tecnologia GPS (*Global Positioning System*). Para o presente artigo, foi desenvolvida a etapa *Investigação e Inovação* definida no Quadro 1, de forma a introduzir os conceitos de Velocidade e Aceleração necessários para conduzir a uma melhor compreensão da teoria da Relatividade.

### **Teoria dos Campos Conceituais**

Para a análise dos dados foi utilizada a Teoria dos Campos Conceituais (TCC), desenvolvida pelo matemático, filósofo e psicólogo francês Gérard Vergnaud (1933-2021), com vistas a verificar o desenvolvimento cognitivo e a apropriação de conceitos complexos por parte dos estudantes.

Gerard Vergnaud compôs o segundo quadro dos doutorandos de Jean Piaget (1896-1980), sendo evidente as influências do pensador suíço em sua obra, principalmente no que diz respeito a definição de esquema. De acordo com Lopes, Sá e Darsie (2018), Vergnaud considera que os esquemas possuem relação com as situações na qual eles estão inseridos, ou seja, possui uma relação esquema-sujeito, indo de encontro com a interação proposta por seu orientador sujeito-objeto.

Apesar de Piaget trazer valiosas contribuições para a área do ensino, o mesmo não demonstrava interesse para tal, tendo como foco o desenvolvimento cognitivo do ser humano. Por sua vez, Vergnaud busca, com a sua teoria, visar justamente o contexto escolar (NOGUEIRA e REZENDE, 2014).

Segundo essa teoria, o conhecimento está organizado em Campos Conceituais, possuindo a conceitualização como um eixo central; o domínio desse campo só ocorrerá no decorrer do tempo, por meio de experiências e aprendizagens que o estudante deve presenciar (VERGNAUD, 1983). Os principais conceitos que abragem a TCC são:

- Campo Conceitual - um conjunto de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, que se interligam durante o processo de ensino (VERGNAUD, 1983). Para o autor, existem três argumentos que levam a esse conceito: um conceito não irá se formar somente a partir de uma única situação; uma situação não pode ser analisada tendo um único conceito; a construção de um conceito pode decorrer até mesmo por décadas.
- Conceitos – definido como um conjunto triplo,  $C = (S, I, R)$ , onde S é o conjunto de situações que darão sentido ao conceito I o conjunto de invariantes operatórios relacionados ao conceito, sendo esse utilizado para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto, e R as representação simbólicas que podem ser utilizadas para indicar e representar os invariantes operatórios (VERGNAUD, 1998).
- Situações – pode ser interpretada como um conjunto de tarefas, de forma que cada tarefa possui diferente nível e dificuldade (VERGNAUD, 1998).

- Esquemas – é a forma como os invariantes de uma determinada classe de situações estão organizados; a partir desses esquemas que serão investigados os invariantes operatórios dos estudantes (VERGNAUD, 1998).
- Invariantes Operatórios – compreendido pela expressão “conceito-em-ação” e “teorema-em-ação”. O conceito-em-ação é tido como aquilo que se mostra relevante perante uma determinada situação, que tem potencial para vir a se tornar um conceito científico. Por sua vez, o teorema-em-ação pode ser tanto verdadeiro quanto falso, implícito na estrutura cognitiva do aprendiz, estando a cargo do pesquisador/professor explicitar esse teorema (CALHEIRO, 2018; MOREIRA, 2002).

De acordo com Moreira (2002, p.20):

As concepções prévias dos estudantes contêm teoremas e conceitos-em-ação que não são verdadeiros teoremas e conceitos científicos mas que podem evoluir para eles. (...) o hiato entre os invariantes operatórios dos estudantes e os do conhecimento científico é grande, de modo que a mudança conceitual poderá levar muito tempo (MOREIRA, 2002, p. 20).

Ou seja, identificar esses invariantes é uma maneira potencial de auxiliar os estudantes na construção de um Campo Conceitual, de forma a expô-los a diversas situações-problemas. Para a análise de dados desse artigo, foi proposta a verificação dos Invariantes Operatórios dos estudantes no que diz respeito ao possível domínio do Campo Conceitual dos conceitos “velocidade” e “aceleração”, através de três situações-problema.

### **Encaminhamento metodológico**

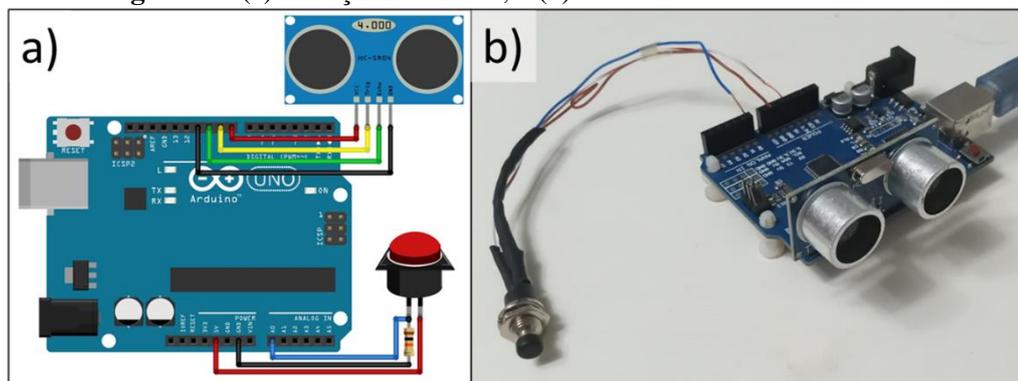
A presente pesquisa possui caráter qualitativo de acordo com (GIL, 2002), sob a luz da TCC para a análise dos dados obtidos, tendo como público alvo estudantes regularmente matriculados no 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública de Mato Grosso do Sul. As atividades foram desenvolvidas no período regular de aulas dos estudantes na disciplina de Física, contando com um total de 13 participantes, sendo necessárias duas aulas de 50 minutos para a conclusão, referindo a etapa Investigação e Inovação descrita no Quadro 1.

Os conceitos de Velocidade e Aceleração são importantes para que ocorra uma evolução no domínio do Campo Conceitual da Teoria da Relatividade. Ao se deparar com a Teoria da Relatividade Restrita proposta por Einstein, o estudante irá analisar corpos que possuem velocidade diferente de zero em relação a um corpo estacionado, enquanto que para a Teoria da Relatividade Geral, serão abordados situação-problema em que corpos estarão acelerados e, por conta dessa aceleração, sofrerão efeitos como se estivessem imersos em um campo gravitacional. Desse modo, é importante uma compreensão desses dois conceitos a fim de minimizar possíveis equívocos no momento da abordagem desse conteúdo.

Visando então desenvolver esses conceitos e, ao mesmo tempo fazer o uso de recursos tecnológicos no âmbito escolar, foi utilizada a placa controladora Arduino, de modo que o estudante pudesse construir gráficos da sua posição em função do tempo, verificando de que modo os conceitos estão envolvidos.

O aparato experimental utilizado consistiu em um Arduino Uno com o código previamente instalado, um sensor de movimento ultrassônico, um botão, uma fonte de alimentação para o Arduino, um datashow e um anteparo. A Figura 1 apresenta o dispositivo utilizado.

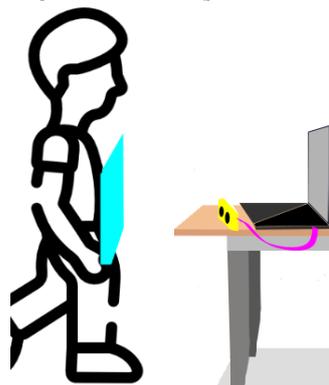
**Figura 1** – (a) Esboço do circuito, e (b) Foto do arduino com sensor



Fonte: Ladeira, Calheiro e Gonçalves. (2022).

Na Figura 2 apresentamos de que modo foi organizado a montagem experimental para a execução da atividade.

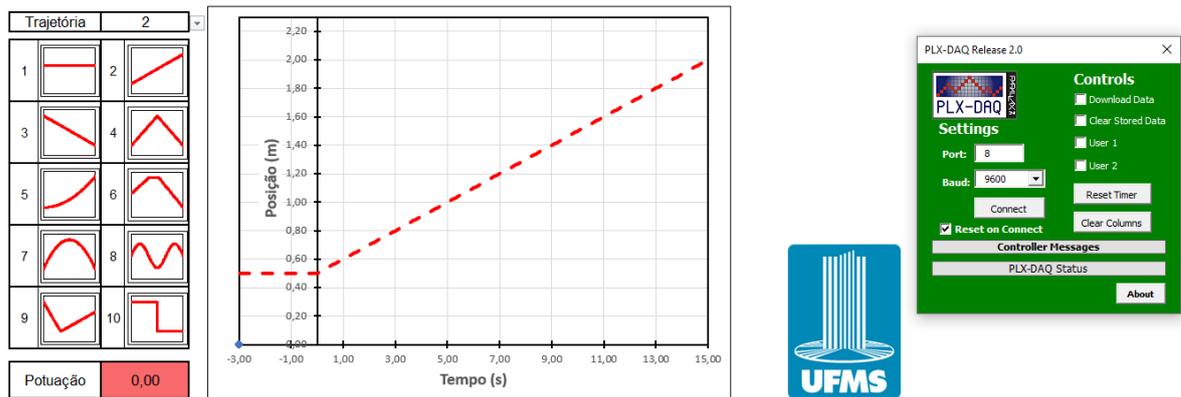
**Figura 2** – Montagem experimental para a execução da atividade



Fonte: Autores.

Para o trabalho em questão, foi utilizado um notebook como fonte de alimentação para o Arduino. Após a montagem ter sido realizada conforme a Figura 2, foi aberto uma planilha do Excel que consistia em um conjunto de 10 gráficos da posição de um corpo em função do tempo. A Figura 3 apresenta a interface dessa planilha.

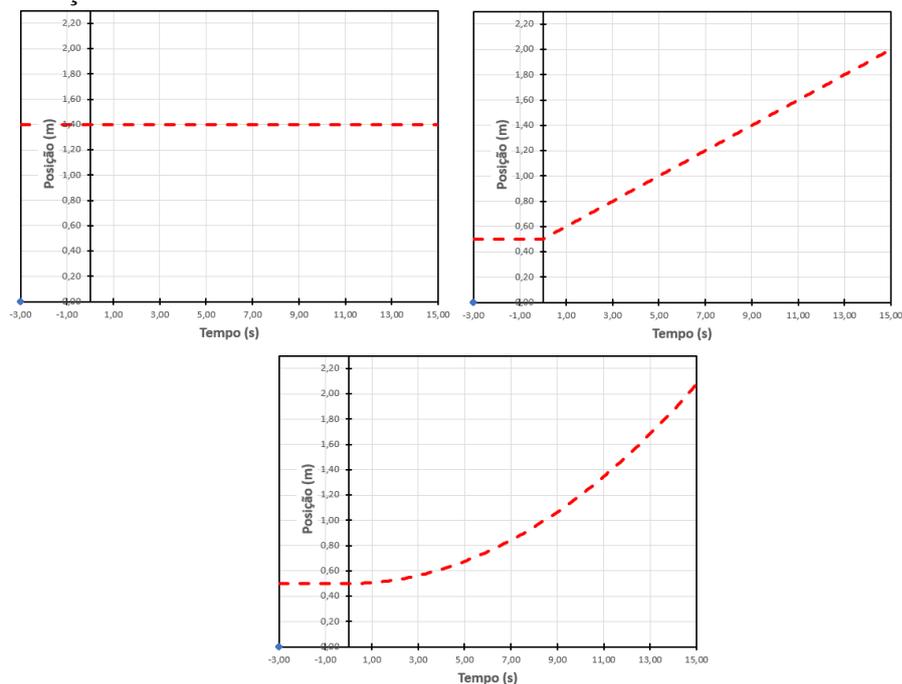
**Figura 3** - Gráfico da posição em função do tempo em Excel com o auxílio de um Arduino



Fonte: Autores.

Na interface da esquerda é possível alternar entre até 10 diferentes gráficos da posição em função do tempo. Por decorrência do tempo limitado para a execução da atividade, foram selecionados somente três trajetórias para a análise, sendo elas a Trajetória 1, 2 e 5, intituladas neste trabalho de Situações-problema 1, 2 e 3, respectivamente, apresentados na Figura 4.

**Figura 4** – Situações-problema 1, 2 e 3, respectivamente, utilizadas para o estudo dos conceitos de velocidade e aceleração.



Fonte: Autores.

O objetivo dos estudantes era realizar deslocamentos com o anteparo pela sala de aula de modo a construir o gráfico apresentado no datashow. O programa em questão apresenta, também, uma pontuação que varia de 0-10 pontos e que serviu como um estímulo para os participantes verificarem quem obteve uma curva mais próxima do modelo esperado, sem cunho avaliativo. A Figura 5 apresenta os estudantes realizando a atividade proposta.

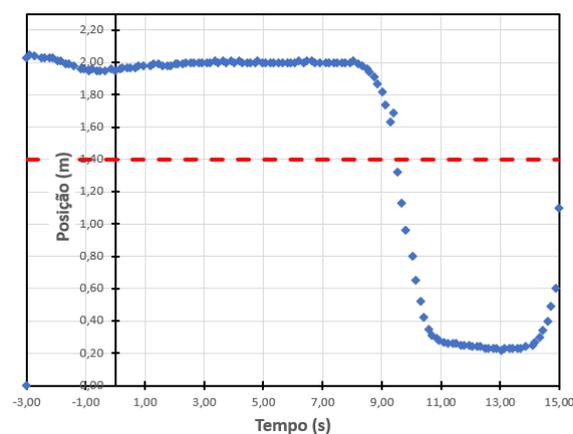
**Figura 5** – Estudante segurando uma anteparo para construir um gráfico da posição em função do tempo com o auxílio de um Arduino.



Fonte: Autores.

Durante o deslocamento do estudante com o anteparo, o mesmo visualizava no gráfico o seu deslocamento através de uma linha azul pontilhada, quando, então, o participante alinhava a linha azul (o seu deslocamento) com a linha vermelha (movimento esperado). A Figura 6 apresenta uma das tentativas dos estudantes ao executar situação-problema 1.

**Figura 6** – Tentativa dos estudantes de realizar a situação-problema 1 da atividade proposta.



Fonte: Autores.

Para cada situação-problema analisada pelos estudantes, eles deveriam responder a seguinte questão: de que forma o conceito de velocidade e aceleração estão envolvidos na ação

realizada?

Neste artigo elaboramos uma análise dos esquemas utilizados pelos estudantes ao participarem da atividade, sendo identificados anonimamente por A1, A2, ..., A13 para garantir a confidencialidade dos dados.

## Resultados e Discussão

Pensando em organizar os resultados obtidos por meio da atividade, a pesquisa foi dividida em duas etapas a fim de agrupar as respostas em categorias de conceito-em-ação e teoremas-em-ação apresentados pelos estudantes, conforme descrito pela Teoria dos Campos Conceituais.

Na primeira etapa foi determinada qual era a regra da ação, sendo essa do tipo “se... então”, buscando uma relação de causa e efeito. Por exemplo, para o Situação-problema 1 (Quadro 2), o estudante A6 respondeu:

*“não teve velocidade porque não se moveu de um ponto a outro. Também não teve aceleração, porque sem o uso da velocidade não tem a aceleração.” (A6)*

Pela regra do “se...então”, é possível observar uma relação de causa e efeito, no qual ele afirma que “*não se moveu de um ponto ao outro*” (se) logo “*não teve velocidade*” (então). Dessa forma, chega-se ao seguinte teorema-em-ação: *não teve velocidade porque não teve movimento. Sem velocidade não tem aceleração diferente de zero.*

Definido então o teorema-em-ação, inicia-se a segunda etapa, na qual pretende-se determinar qual é o conceito-em-ação que está explícito ou implícito no teorema, podendo esse ser uma afirmação. Para a situação-problema acima, o estudante atingiu o objetivo esperado, sendo capaz de diferenciar os conceitos de velocidade e aceleração, inferindo o conceito da seguinte forma: *Velocidade é a variação da posição no tempo, enquanto aceleração é a variação da velocidade no tempo.*

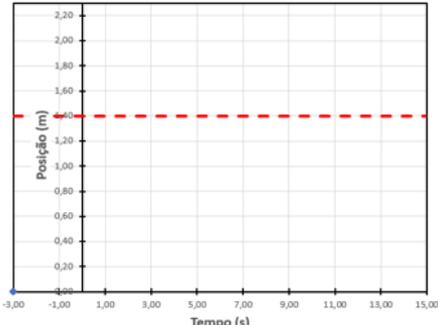
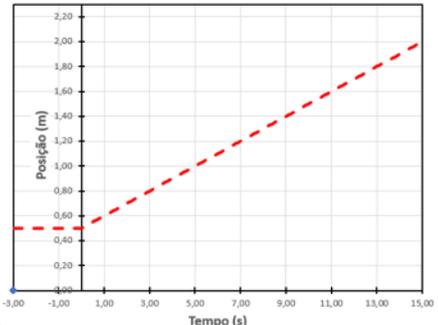
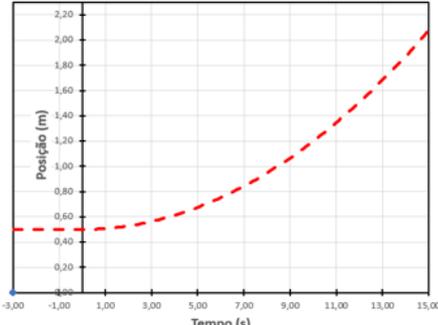
Entretanto, nem todas as respostas foram passíveis de se aplicar a regra pré-estabelecida, como é a situação-problema do participante A10: *“para a linha azul (do gráfico) se encaixar precisa ajustar o gráfico”.* (A10)

Nessa situação não é possível inferir uma situação de causalidade, impossibilitando a identificação dos invariantes operatórios, caracterizando, então, como *indefinido* durante a análise dos resultados.

O Quadro 2 apresenta os resultados esperados para cada situação-problema abordada, sendo utilizado como parâmetro para avaliar se a atividade teve um potencial significado para

o possível domínio do campo conceitual abordado.

**Quadro 2:** Resultado esperado para cada situação-problema analisada.

Situações-problema	Resultado esperado
<p><b>1</b></p> 	<p>Identificar que um corpo em repouso possui velocidade nula, visto que o mesmo não varia sua posição durante um determinado intervalo de tempo.</p>
<p><b>2</b></p> 	<p>Identificar que um corpo possui velocidade diferente de zero quando a sua posição varia em um determinado intervalo de tempo, porém a sua aceleração será nula pois a sua velocidade foi constante em todo o trajeto.</p>
<p><b>3</b></p> 	<p>Identificar que um corpo possui velocidade diferente de zero quando a sua posição varia em um determinado intervalo de tempo e teve aceleração uma vez que a sua velocidade alterou ao longo do trajeto.</p>

Fonte: Autores.

Para cada situação-problema analisada, foram obtidas um total de 13 respostas. O Quadro 3, abaixo, apresenta os invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes para o Situação-problema 1.

**Quadro 3:** Invariantes Operatórios mobilizados pelos estudantes para a Situação-problema 1.

Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Exemplos das justificadas escritas pelos estudantes	Ocorrência do total de estudantes
Velocidade é a variação da posição no tempo, enquanto que aceleração é a variação da velocidade no tempo.	Não teve velocidade porque não teve movimento. Sem velocidade não tem aceleração diferente de	<i>“não teve velocidade, porque não se moveu de um ponto a outro. Também não teve aceleração, porque sem o</i>	8 estudantes (61,53%)

	zero.	<i>uso da velocidade não tem a aceleração” (A6)</i>	
Precisa de velocidade para fazer uma reta no gráfico, porém sem aceleração porque não ocorreu uma variação da velocidade no período de tempo.	Teve velocidade porque a reta do gráfico se manteve (linear), mas não teve aceleração porque o gráfico não mudou.	<i>“teve velocidade porque se manteve a reta (do gráfico) mas não teve aceleração porque não variou (a velocidade).” (A8)</i>	2 estudantes (15,38%)
O corpo se moveu com velocidade constante.	A velocidade não mudou, mas o corpo ainda estava em movimento.	<i>“o corpo dele estava movimento enquanto a velocidade não mudava” (A5)</i>	1 estudante (7,69%)
Inadequado	Inadequado	<i>“para a linha azul (do gráfico) se encaixar precisa ajustar o gráfico” (A10)</i>	2 estudantes (15,38%)

Fonte: Autores.

Para esta situação-problema 1, oito estudantes que participaram da atividade foram capazes de diferenciar os conceitos de velocidade e aceleração de maneira satisfatória, se aproximando do conceito científico. Para dois estudantes o conceito estava associada à figura formada pelo gráfico, ou seja, como formou-se uma figura no gráfico, existiu velocidade. A velocidade nesse situação-problema está atribuída aos pontos visualizados no gráfico e não ao deslocamento da pessoa no momento da plotagem, que nessa situação-problema era nenhum. O mesmo é válido para a aceleração, pois como a figura observada era uma linha reta horizontal, foi constatado que o corpo não acelerou, estando implícito que se o gráfico crescesse linearmente, seria constatado que o corpo acelerou, visto que a figura observada estava se deslocando para cima.

Dos 13 estudantes, somente um afirmou que o corpo estava se movimentando, porém com velocidade constante, sendo análogo ao anterior. O movimento está atribuído à imagem formada no gráfico e não ao movimento realizado pelo corpo. O corpo tinha velocidade constante (zero), porém não realizou qualquer movimento para tal. Por fim, dois estudantes foram categorizados como indefinidos por conta das condições citadas anteriormente.

Na sequência, o Quadro 3 apresenta os invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes para o Situação-problema 2.

**Quadro 3:** Invariantes Operatórios mobilizados pelos estudantes para o Situação-problema 2.

<b>Conceitos-em-ação</b>	<b>Teoremas-em-ação</b>	<b>Exemplos das justificadas escritas pelos estudantes</b>	<b>Ocorrência do total de estudantes</b>
Teve velocidade porque ocorreu movimento e	Teve velocidade porque foi necessário se mover de um ponto	<i>“Teve aceleração porque precisou aumentar a velocidade para realizar a</i>	8 estudantes (61,53%)

aceleração nula porque a velocidade foi constante.	a outro; não teve aceleração porque a velocidade foi constante.	<i>curva do gráfico e velocidade porque foi de um ponto até o outro da sala” (A12)</i>	
Se a velocidade é constante a aceleração é nula.	Não teve aceleração pois a figura do gráfico (velocidade) era constante.	<i>“Ele não teve aceleração, pois continuou no mesmo ritmo no gráfico, sem mudar a velocidade” (A3)</i>	3 estudantes (23,07%)
A velocidade e aceleração dependem da variação da posição no tempo.	Teve velocidade e aceleração porque variou a posição no espaço.	<i>“Teve velocidade e aceleração por ela ter que se mover de um ponto ao outro para conseguir se alinhar ao gráfico” (A13)</i>	1 estudante (7,69%)
Inadequado	Inadequado	<i>“Teve velocidade” (A5)</i>	1 estudante (7,69%)

Fonte: Autores.

Conforme destaca-se no Quadro 3, oito estudantes mobilizaram invariantes que apontam para uma aproximação do conhecimento científico dos conceitos de velocidade e aceleração, atribuindo uma aceleração nula para quando a velocidade se mantia constante ao longo do trajeto, diferente dos outros três estudantes que relacionaram o movimento à figura observada no gráfico, atribuindo que a velocidade foi constante porque *“continuou no mesmo ritmo no gráfico” (A3)*. Nessas duas situações-problema é possível observar que, para o primeiro grupo dos invariantes, o conceito está relacionado ao movimento do corpo físico dentro da sala de aula, enquanto que para o segundo grupo foi analisado estritamente a figura formada no gráfico, não sendo necessário visualizar o real trajeto do corpo no ambiente em qual o experimento foi realizado.

Para um estudante ainda existe um equívoco explicitado pelo seu invariante no qual aceleração e velocidade são tidos como sinônimos, apresentando um teorema que diz que para um corpo estar acelerado basta que o mesmo tenha velocidade, mostrando-se uma inverdade, visto que para um corpo ter aceleração diferente de zero, é necessário que ocorra uma variação da velocidade em um período de tempo.

Por fim, somente um estudante entrou na categoria de Indefinido, por conta de sua resposta não atender a regra de ação definida anteriormente nesse trabalho.

Por sua vez, o Quadro 4 apresenta os invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes para o Situação-problema 3.

**Quadro 4:** Invariantes Operatórios mobilizados pelos estudantes para o Situação-problema 3.

Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Exemplos das justificadas escritas pelos estudantes	Ocorrência do total de estudantes
É necessário variar a velocidade para obter aceleração	O corpo acelerou porque a velocidade	<i>“[...] teve aceleração porque o tempo de chegada diminuiu</i>	10 estudantes (76,92%)

	aumentou com o tempo.	<i>durante o deslocamento.” (A6)</i>	
O corpo estava acelerado mesmo sua velocidade sendo nula.	O corpo estava acelerando apesar de sua posição no tempo (velocidade) não variar.	<i>“tinha que acelerar com a velocidade igual para construir o gráfico” (A5)</i>	1 estudante (7,69%)
Inadequado	Inadequado	<i>“foi acelerando” (A7)</i>	2 estudantes (15,38%)

Fonte: Autores.

Para a última situação-problema analisada, dez estudantes apresentaram invariantes que apontavam que o corpo estava acelerando por conta de uma variação que existiu na velocidade; de acordo com o A6 : “[...] *teve aceleração porque o tempo de chegada diminuiu durante o deslocamento.*” É possível observar que quando o estudante deixa explícito que “*o tempo de chega diminuiu*” está implícito que a velocidade do corpo aumentou durante o trajeto, estando de acordo com o conhecimento científico a respeito do fenômeno observado.

Somente um estudante apresentou um equívoco nos conceitos, pois entendeu que precisava manter uma velocidade constante para que o corpo acelerasse, e dois estudantes foram categorizados como indefinido, se tornando inviável analisar as suas respostas.

### **Considerações finais**

Para a análise dos resultados é importante observar que este não foi o primeiro contato dos estudantes com o conceito formal de velocidade e aceleração, visto que na grade curricular do estado de Mato Grosso do Sul esse conteúdo consta no 1º ano do Ensino Médio. Apesar disso, é uma memória distante para a maioria dos estudantes, visto já ter transcorrido cerca de dois anos do contato com esses termos, além de ter ocorrido durante a pandemia, ou seja, período em que as aulas ocorreram de forma remota no Estado.

Os resultados apresentados através da análise dos Invariantes Operatórios são apenas uma parte inicial das discussões que envolvem a análise do Campo Conceitual da Velocidade e Aceleração. Moreira (2002, p.16) afirma que “[...] conceitos-em-ação e teoremas-em-ação podem, progressivamente, tornarem-se verdadeiros conceitos e teoremas científicos, mas isso pode levar muito tempo”. É claro que um único grupo de atividade não é o suficiente para determinar se ocorreu de fato ou não um domínio desse campo, porém já oferece subsídios para futuras investigações acerca da temática.

Por sua vez, uso da plataforma Arduino e outras tecnologias associadas possibilitou uma abordagem inovadora ao permitir que os estudantes não apenas visualizassem o movimento de execução, mas realizassem análises de gráficos, estimulando o desenvolvimento de habilidades cognitivas e promovendo uma aprendizagem com potenciais significados. O uso do dispositivo

também permitiu dar “vida” para conceitos, permitindo ao professor aprimorar metodologias de ensino através da utilização de tecnologias, gerando inovação no meio educacional e apresentando resultados potencialmente satisfatórios (SILVA, BRANDÃO, DE AZEVEDO, DE AGUIAR, 2019), refletidos na análise dos dados dos Invariantes Operatórios descritos na seção anterior, onde foi possível mobilizar diversos grupos de teoremas e conceitos-em-ação fazendo uso do Arduino como um recurso pedagógico.

Os resultados dessa pesquisa vão ao encontro dos obtidos por Martín, Martinez, Fernández e Bravo (2016), no qual alegam que trabalhar a robótica da placa controladora aliada a uma metodologia como a Aprendizagem Baseada em Projetos tem mostrado resultados práticos e eficientes, promovendo momentos de autoaprendizagem para os estudantes.

No que diz respeito ao referencial metodológico utilizado para o desenvolvimento da pesquisa, a ABP se mostrou uma metodologia ativa capaz de desenvolver competências e habilidades nos estudantes, promovendo não somente um pensamento crítico a respeito das atividades propostas, mas também colocando os indivíduos como protagonistas de seu processo de ensino e aprendizagem, propiciando uma maior autonomia nas tomadas de decisões, visto que os casos analisados dependiam da interação aluno-objeto para que ele pudesse chegar às suas próprias conclusões.

Apesar das vantagens observadas quando da utilização desse método de ensino, o sucesso de sua aplicação não depende somente do conhecimento do pesquisador/professor. É necessário romper com as barreiras tradicionalistas de ensino, uma vez que o docente irá assumir papel de mediador nas atividades, conduzindo o estudante a momentos de reflexão, decisão e atitude (MORENO, DOS REIS e CALEFI, 2016).

Por fim, é possível concluir que este estudo possibilitou a inserção da tecnologia Arduino em conjunto com ABP, como uma metodologia capaz de apresentar uma prática diferenciada para o estudo dos conceitos de Física e que possa servir de subsídio para a abordagem da Física Moderna e Contemporânea, mais especificamente no campo da Teoria da Relatividade.

## Referências

ALVES, E. F. P. Tecnologia na educação: reflexão para uma prática docente Technology in education: reflection for a teacher practice. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 4227-4238, 2022.

ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUART, N. Objetos de Aprendizagem no Ensino de Física: Usando Simulações Phet. **Revista Física Na Escola**, ISSN 1983-6430, Vol 11 Nr 01, 2010, p. 27-31

ARDUINO.CC. **Arduino**, 2021. About Arduino: What is a Arduino? Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/about>. Acesso em: 17 de outubro de 2023.

BENDER, W. N. **Aprendizagem Baseada em Projetos: Educação Diferenciada para o Século XXI**. Porto Alegre. Editora Penso, 2014.

BRITO, G. da S.; PURIFICAÇÃO, I. da. **Educação e Novas Tecnologias: Um repensar**. Editora IBPEX, Curitiba, 2ª Edição, 2008.

CALHEIRO, L. B.. **As representações sociais da radiação no contexto do ensino médio e a sua articulação com os campos conceituais de Vergnaud**. 2018. Tese (Educação em Ciências Química da Vida e Saúde). Universidade Federal de Santa Maria, 2018.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª Edição. São Paulo. Editora Atlas S.A., 2002.

GONÇALVES, A. M. B.; FREITAS, W. P. S.; CALHEIRO, L. B. Resources on physics education using Arduino. **Physics Education**, v. 58, n. 3, p. 033002, 2023.

LADEIRA, V. B.; CALHEIRO, L. C.; GONÇALVES, A. M. B. Exploring kinematics graphs using Arduino and an interactive Excel spreadsheet. **Physics Education**, 57(2), 02300,2022.

LOPES, T. B.; DE SÁ, P. F.; DARSIE, M. M. P.. Influências de epistemólogos anteriores e contemporâneos para a elaboração da teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud. *Revista Eletrônica de Educação Matemática*, v. 13, n. 2, p. 250-263, 2018.

MARTÍN, J. L.; MARTÍNEZ, P.; FERNÁNDEZ, G. M.; BRAVO, C. Analizando el desarrollo de las habilidades STEM a través de un proyecto ABP con arduino y su relación con el rendimiento académico, 2016.

MARTINAZZO, C. A.; TRENTIN, D. S.; FERRARI, D.; PIAIA, M. M. Arduino: Uma tecnologia no ensino de física. **Revista Perspectiva**, v. 38, n. 143, 2014.

MARTINS, A. A.; GARCIA, N. M. D.; BRITO, G. da S. Ensino de física e novas tecnologias de informação e comunicação: uma análise da produção recente. **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA E EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS**, VIII, 2011.

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. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre. Vol. 7, n. 1 (jan./mar. 2002), p. 7-29, 2002.

MOREIRA, M. P. C.; ROMEU, M. C.; ALVES, F. R. V.; DA SILVA, F. R. O. Contribuições do Arduino no ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 721-745, 2018.

- MORENO, M. A.; DOS REIS, M. J.; CALEFI, P. S. Concepções de professores de biologia, física e química sobre a aprendizagem baseada em problemas (ABP). *Revista Hipótese*, v. 2, n. 1, p. 104-117, 2016.
- NOGUEIRA, C. M. I.; REZENDE, V. A teoria dos campos conceituais no ensino de números irracionais: implicações da teoria piagetiana no ensino de matemática. **Schème: Revista eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas**, v. 6, n. 1, p. 41-63, 2014.
- NOGUEIRA, J. M. Da internet à sala de aula: um estudo exploratório de laboratórios brasileiros de experimentação remotamente controlados para aprendizagem de Física, 2023.
- RODRIGUES, A. L. A formação ativa de professores com integração pedagógica das tecnologias digitais. Tese de doutoramento, Educação (Tecnologia de Informação e Comunicação na Educação), Universidade de Lisboa, Instituto de Educação, 2017.
- SILVA, A. H. A., BRANDÃO, G. A., AZEVEDO, P. H. G. de; AGUIAR, D. S. de. Usando a robótica educacional com Scratch e Arduino para melhor compreensão de Ciências Exatas. *Scientia Prima*, v. 6, n. 1, p. 147-159, 2020.
- SOUZA NETO, A. Do aprender ao ensinar com as tecnologias digitais: mapeamento dos usos feitos pelos professores. 2015. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Humanas e da Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, Florianópolis.
- VERGNAUD, G. Cognitive and developmental psychology and research in mathematics education: Some theoretical and methodological issues. *For the learning of mathematics*, v. 3, n. 2, p. 31-41, 1982.
- VERGNAUD, G. Psychology and Didactics of Mathematics in France--An Overview. **International Reviews on Mathematical Education**, v. 15, n. 2, p. 59-63, 1983.
- VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. **Journal of Mathematical Behavior**, v. 17, n. 2, p. 167-181, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0364021399800573>>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- VERGNAUD, G. Forme opératoire et forme prédicative de la connaissance. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 2, p. 287-304, 2012.

### 5.3 Artigo 3 – O Arduino como Recurso Tecnológico para Explicitação de Invariantes Operatórios Relacionados a Teoria da Relatividade (Aprovado pela Revista de Estudos e Pesquisa sobre Ensino Tecnológico)<sup>8</sup>

#### Resumo

O avanço das tecnologias nas últimas décadas fez com que os aparatos tecnológicos se tornassem cada mais presentes na sociedade. Dentre os diversos dispositivos presentes no mundo contemporâneo, o GPS (*Global Positioning System*) se apresenta como sendo um recurso de extrema importância em áreas como a aviação e no transporte de mercadorias. Esse dispositivo, possui fortes bases na Teoria da Relatividade restrita, visto que a sua diferença de velocidade entre os satélites em órbita e os receptores localizados na superfície terrestre. O presente trabalho desenvolveu um produto tecnológico de cunho pedagógico utilizando a Aprendizagem Baseada em Projetos como referencial metodológico, que teve por objetivo responder a seguinte questão de pesquisa: Quais invariantes operatórios relacionados a Teoria da Relatividade restrita podem ser mobilizados através de uma atividade investigativa tendo a Aprendizagem Baseada em Projetos como referencial metodológico? Para análise dos dados, utilizamos a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) desenvolvida por Gerard Vergnaud. A pesquisa foi implementada em uma turma de terceiro ano do ensino médio com um grupo de vinte estudantes em uma escola pública. Os resultados demonstram que o produto tecnológico aliado a metodologia da ABP possibilitou mobilizar diversos grupos de Invariantes Operatórios, alguns explícitos, outros implícitos, indo ao encontro da TCC. Por fim, acreditamos que esta pesquisa venha favorecer a prática pedagógica do professor e o processo de aprendizagem dos estudantes.

**Palavras-chave:** Teoria da Relatividade Restrita. Aprendizagem Baseada em Projetos. Teoria dos Campos Conceituais.

#### Abstract

The advancement of technologies in recent decades has made technological devices increasingly prevalent in society. Among the various devices in the contemporary world, the GPS (*Global Positioning System*) stands out as an extremely important resource in areas such as aviation and goods transportation. This device is strongly grounded in the Theory of Special Relativity, given the difference in speed between the satellites in orbit and the receivers located on the Earth's surface. The present work developed a pedagogical technological product using Project-Based Learning as a methodological reference, aiming to address the following research question: Which operational invariants related to the Theory of Special Relativity can be mobilized through an investigative activity using Project-Based Learning as a methodological reference? For data analysis, we utilized the Theory of Conceptual Fields (TCF) developed by Gerard Vergnaud. The research was conducted in a third-year high school class with a group of twenty students in a public school. The results demonstrate that the technological product, combined with the PBL methodology, enabled the mobilization of various groups of Operational Invariants, some explicit and others implicit, aligning with the TCF. Finally, we believe that this research can enhance the pedagogical practice of teachers and the learning process of students.

**Keywords:** Special Theory of Relativity. Project-Based Learning. Conceptual Field Theory.

#### Resumen

---

<sup>8</sup> O referido artigo está disponível no Apêndice G e pode ser acessado através do seguinte link: <https://sistemasmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/2316>

El avance de las tecnologías en las últimas décadas ha hecho que los dispositivos tecnológicos sean cada vez más comunes en la sociedad. Entre los diversos dispositivos en el mundo contemporáneo, el GPS (Sistema de Posicionamiento Global) destaca como un recurso extremadamente importante en áreas como la aviación y el transporte de mercancías. Este dispositivo está fuertemente fundamentado en la Teoría de la Relatividad Especial, dada la diferencia de velocidad entre los satélites en órbita y los receptores ubicados en la superficie terrestre. El trabajo actual desarrolló un producto tecnológico pedagógico utilizando el Aprendizaje Basado en Proyectos como referencia metodológica, con el objetivo de abordar la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué invariantes operativos relacionados con la Teoría de la Relatividad Especial pueden ser movilizados a través de una actividad investigativa utilizando el Aprendizaje Basado en Proyectos como referencia metodológica? Para el análisis de datos, utilizamos la Teoría de Campos Conceptuales (TCC) desarrollada por Gerard Vergnaud. La investigación se llevó a cabo en una clase de tercer año de secundaria con un grupo de veinte estudiantes en una escuela pública. Los resultados demuestran que el producto tecnológico, combinado con la metodología ABP, permitió la movilización de varios grupos de Invariantes Operativos, algunos explícitos y otros implícitos, alineándose con la TCC. En última instancia, creemos que esta investigación puede mejorar la práctica pedagógica de los profesores y el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

**Palabras clave:** Teoría Especial de la Relatividad. Aprendizaje en base a proyectos. Teoría Conceptual de Campos.

## Introdução

O mundo em que as novas gerações de estudantes crescem está cada vez mais repleto de tecnologias com os mais variados fins. Elas estão presentes, por exemplo, quando usamos aplicativos nos telefones que dependem da informação de localização do aparelho para fornecer um serviço (aplicativos de entregas de comida, de transporte público), fazendo uso do GPS (*Global Positioning System*). Contudo, é importante refletirmos as palavras de Moreira (2017, p.2), quando ele fala que, apesar de estarmos no século XXI, a Física ensinada não passa do século XIX, pois é desatualizada em termos de conteúdos e tecnologias, tendo seu grande foco em provas e exames, abordando essa área do conhecimento como uma Ciência acabada.

Neste sentido, Calheiro (2014) destaca que a ausência de tópicos relacionados aos avanços científicos e tecnológicos na Educação Básica, se dá por diversos fatores, seja pela dificuldade encontrada pelos professores em ministrar essas aulas, pela complexidade em torno dessa área do conhecimento ou mesmo pela falta de uma formação continuada pautada nessa questão. Apesar das barreiras citadas, a inserção de tópicos relacionados a Física Moderna e Contemporânea (FMC) na Educação Básica mostra-se importante, uma vez que a sociedade atual se beneficia dessas tecnologias decorrentes do conhecimento adquirido nessa área. O debate relacionado à inserção da FMC no meio escolar já data de algumas décadas (TERRAZAN, 1992; OSTERMAN e MOREIRA, 2000; SIQUEIRA, 2006; CALHEIRO, 2014).

Apesar disso, uma parcela dos professores ainda encontra obstáculos ao abordar esses tópicos em sala de aula, seja pela dificuldade da transposição didática e formação inicial precária, seja pela escassez de material adequado para a faixa etária alvo (TIRONI, SCHMIT, SCHUMACHER e SCHUMACHER, 2013).

Neste contexto, conduzimos esta pesquisa com o objetivo de explorar a Teoria da Relatividade restrita, especificamente quanto à investigação da Dilatação Temporal que ocorre nos satélites devido à sua velocidade relativa em relação à superfície terrestre. Com vistas a promover o avanço nas práticas pedagógicas e na inovação tecnológica no contexto da Educação Básica, adotamos o Arduino e impressão 3D para a fabricação de relógios que foram usados como recurso pedagógico educacional.

Para o planejamento e ações das atividades desenvolvidas, empregamos a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) como metodologia e a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) como referencial teórico para a análise dos dados obtidos, com vistas a responder seguinte questão de pesquisa: Quais invariantes operatórios relacionados à Teoria da Relatividade restrita podem ser mobilizados através de uma atividade investigativa tendo como recurso a plataforma Arduino e a impressão 3D?

### **O Arduino e impressão 3D no contexto da sala de aula**

O Arduino é uma placa controladora de código aberto, permitindo que pessoas o acessem com facilidade e criem seus projetos de eletrônica e automação autênticos e interativos (Arduino.cc, 2018)<sup>9</sup>. Além disso temos, as chamadas máquinas de fabricação digital, como por exemplo a impressora 3D, que permitem a construção de objetos físicos em plástico permitindo o desenvolvimento de protótipos e aparatos experimentais (NETO, LOUBET e ALBUQUERQUE, 2019). Por serem considerados tecnologias versáteis e de simples utilização, essas tecnologias têm se revelado recursos motivadores para os processos de ensino e aprendizagem, proporcionando aos professores um recurso didático que os auxilia nas atividades experimentais nas aulas de Física (MOREIRA, ROMEU, ALVES e da SILVA, 2018).

De acordo com Martinazzo, Trentin, Ferrari e Piaia (2014), os estudantes não mais se satisfazem com aulas tradicionais, enquanto os professores vivem uma angústia diante da mudança comportamental da nova geração, ressaltando que um meio interessante de trabalhar

---

<sup>9</sup> <https://www.arduino.cc/en/about>

os conceitos de Física é através da modelagem computacional que, quando bem conduzida, tem a capacidade de tornar as aulas mais dinâmicas e potencialmente significativas.

De modo a trabalhar os aspectos positivos mencionados, esta pesquisa propôs utilizar o Arduino aliado a impressão 3D como um recurso pedagógico na aula de Física, buscando promover um ambiente que pudesse ser potencialmente estimulante para a aprendizagem dos estudantes e servindo como referência para professores e pesquisadores que visam desenvolver atividades similares em suas práticas pedagógicas ou acadêmicas.

### **Aprendizagem Baseada em Projetos**

A metodologia da ABP objetiva proporcionar aulas mais interativas, colocando o estudante como um agente ativo durante os processos de ensino e aprendizagem, de tal maneira que rompa com as metodologias tradicionais que apenas dão respostas curtas e sem criticidade em sala de aula. Nesse sentido, a ABP vem ao encontro da criação de um espaço pedagógico que permita ao estudante analisar de forma crítica às situações cotidianas, através de “projetos autênticos e realistas, baseados em uma questão, tarefa ou problema altamente motivador e envolvente, com o objetivo de ensinar conteúdos acadêmicos aos estudantes no contexto do trabalho cooperativo para a resolução de problemas” (Bender, 2014, p. 15).

A seleção de uma metodologia é importante, uma vez que deve estar de acordo com os objetivos buscados no trabalho. De acordo com Morán (2015):

As metodologias precisam acompanhar os objetivos pretendidos. Se queremos que os estudantes sejam proativos, precisamos adotar metodologias em **que os estudantes se envolvam em atividades cada vez mais complexas, em que tenham que tomar decisões e avaliar os resultados**, com apoio de materiais relevantes. Se queremos que sejam criativos, eles precisam experimentar inúmeras novas possibilidades de mostrar sua iniciativa (Morán, 2015, p. 17). (grifo nosso).

A ABP vem justamente ao encontro das discussões acerca do protagonismo estudantil, se apresentando com potencial para evitar problemas usuais no ensino de Física, contribuindo para desenvolver capacidades voltadas para a responsabilidade social, uso de ferramentas tecnológicas e transposição de conhecimentos em diferentes contextos (PASQUALETTO, VEIT e ARAUJO, 2017).

O objeto de estudo no qual o projeto irá se desenvolver, tem em vista promover um ambiente de maior engajamento através da característica delimitada por Bender (2014) como a “*Questão Motriz*”. *Essa questão motriz é escolhida de forma a prender a atenção dos estudantes, uma vez que todos os seus esforços são direcionados para resolvê-la.* A escolha dessa característica pode ser dar em dois momentos: antes do início das atividades, onde o

professor irá delimitar previamente o conteúdo que será abordado, ou durante o processo, de forma a dar voz aos estudantes quanto ao tema que eles desejam estudar.

Neste trabalho, a questão norteadora foi delimitada previamente pelos pesquisadores, considerando o referencial escolar que deveria ser seguido. Portanto, os esforços dos estudantes foram em torno da Teoria da Relatividade restrita, mais especificamente a Dilatação Temporal, sendo esse conceito essencial para compreender o funcionamento da tecnologia GPS.

### A Teoria dos Campos Conceituais

Desenvolvida pelo matemático, filósofo e psicólogo francês Gérard Vergnaud (1933-2021), a Teoria dos Campos Conceituais se apresenta como uma teoria cognitiva dando aporte para a análise dos dados obtidos durante a pesquisa, possuindo fortes influências da teoria piagetiana, visto que Vergnaud foi um dos doutorandos do pensador (MOREIRA, 2002).

De acordo com Vergnaud (1983), o conhecimento está organizado em Campos Conceituais, tendo a conceitualização como tema central, de forma que o domínio desse campo só ocorrerá através do tempo, após diversas experiências ao qual o estudante deverá ser exposto. Em sua obra, o autor destaca como pontos centrais da TCC: o Campo Conceitual, o Conceito, as Situações, os Esquemas e os Invariantes Operatórios. No Quadro 1 apresentamos as características que orientam essa teoria.

Quadro 1 – Conceitos Centrais da Teoria dos Campos Conceituais.

<b>Campo Conceitual</b>	Conjunto de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, interligados uns aos outros e relacionados durante o processo de ensino
<b>Conceitos</b>	Definido por um conjunto triplo, $C = (S, I, R)$ , sendo: S – conjunto de situações que darão sentido ao conceito; I – conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito; R – conjunto de representações simbólicas.
<b>Situações</b>	Conjunto de tarefas sendo que cada tarefa deva ter níveis diferentes no que refere a sua natureza e dificuldade.
<b>Esquemas</b>	É a organização do invariante de um comportamento de uma determinada classe de situações, sendo a partir desses esquemas que se deve investigar os invariantes operatórios dos estudantes
<b>Invariantes Operatórios</b>	Classificados como “teorema-em-ação” e “conceito-em-ação”. A análise dos dados é feita em cima dos conceitos e teoremas presentes nos invariantes operatórios.

Fonte: Vergnaud (1983).

A pesquisa teve como foco investigar os Invariantes Operatórios mobilizados pelos estudantes. Como apresentamos no Quadro 1, esses invariantes podem ser divididos em duas classes: os *teoremas-em-ação* e os *conceitos-em-ação*.

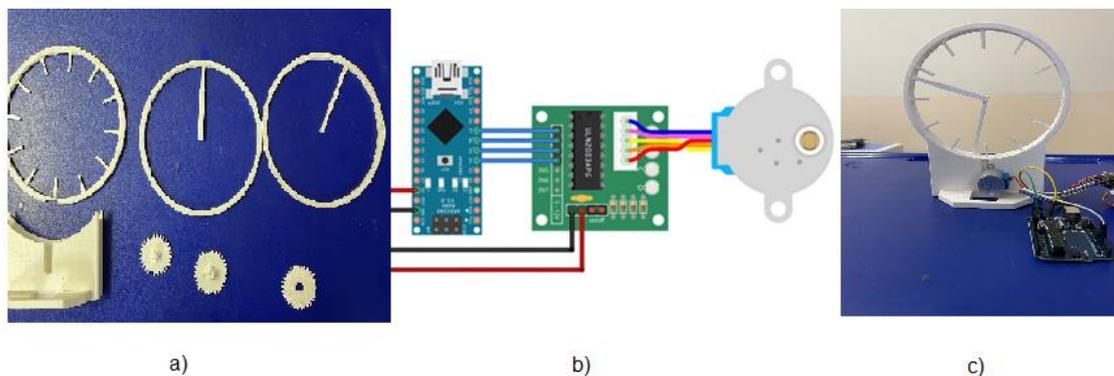
De acordo com Moreira (2002), o conceito-em-ação se apresenta como tudo aquilo que

se mostra relevante perante uma situação, com potencial para vir a se tornar um conhecimento científico, enquanto que o teorema-em-ação pode ser algo verdadeiro ou não, estando implícito na estrutura cognitiva do aprendiz, sendo papel então do pesquisador/professor explicitar esse invariante. Portanto, a explicitação dos Invariantes Operatórios possibilitará verificar um possível domínio do Campo Conceitual da Teoria da Relatividade restrita, visto o estudante ter sido exposto a uma série de situações-problema, de diferentes níveis de complexidade e natureza, que promoveu o surgimento dos teoremas e conceitos em ação.

### Elaboração do Produto Tecnológico

Com o objetivo de explorar a dilatação temporal prevista pela Teoria da Relatividade, que interfere diretamente no funcionamento do GPS, foram construídos 9 pares de relógios utilizando uma impressora 3D (o modelo foi obtido em um repositório<sup>10</sup>), de forma a tornar didática a simulação sobre a dilatação do tempo. Os ponteiros dos relógios são movidos por um motor de passo controlado pelo Arduino e um sistema de engrenagens. Desse modo, alterando os parâmetros no código fonte<sup>11</sup> usado no Arduino, podemos alterar a velocidade dos ponteiros. A Figura 1 apresentamos imagens das peças do relógio impressas, um esquema do circuito eletrônico e uma foto do relógio completamente montado.

Figura 1 – a) Peças do relógio impressas ainda antes da montagem, b) circuito mostrando as conexões do motor de passo com o controlador e a placa Arduino Nano e c) imagem do relógio montado.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A atividade desenvolvida buscou trabalhar o popularmente conhecido Paradoxo dos Gêmeos. O “paradoxo” trata de uma situação em que dois irmãos gêmeos se separam, de forma que um irmão viaja em uma nave próximo à velocidade da luz, enquanto o seu par permanece

<sup>10</sup> Repositório impressão 3D: <https://www.thingiverse.com/thing:4761858>

<sup>11</sup> Link de acesso para os códigos de programação: <https://www.tinkercad.com/things/7Yh2gLrDadR-copy-of-relógio-flutuante-manual-do-mundo/editel?tenant=circuits>

na superfície terrestre. Segundo a teoria da relatividade o tempo passa mais lentamente para o viajante numa velocidade próxima a velocidade da luz, assim do ponto de vista do irmão na Terra ele reencontra seu irmão viajante mais novo. O paradoxo se estabelece quando avaliamos a simetria das equações envolvidas, pois no referencial do irmão viajante, ele ficou parado e a Terra que se movimentou numa velocidade alta, de modo que, do ponto de vista do irmão viajante, deveria o irmão da Terra estar mais novo. De fato, a segunda alternativa não acontece, e quem envelhece mais rápido é o irmão na Terra (FALCIANO, 2007).

### Metodologia

A metodologia aqui apresentada traz um caráter qualitativo desenvolvida em uma escola pública na cidade de Campo Grande – Mato Grosso do Sul, em uma turma de 3º ano do Ensino Médio com um total de 20 estudantes matriculados durante as aulas regulares de Física. A turma foi dividida em duplas, de forma que cada dupla recebeu um par de relógios programados para mostrarem o tempo com velocidades diferentes (o tempo do irmão na Terra e o tempo do viajante). Após cada dupla estar devidamente posicionada com seus relógios, foi entregue uma atividade composta por três situações-problema (Quadro 2) sobre o tema da dilatação temporal.

Quadro 2 – Situações-problemas trabalhadas para abordar a Dilatação Temporal

Situações -problema	Resultado Esperado
<b>Situação 1.</b> Imagine que você e o seu parceiro são astronautas e irmãos(ãs) gêmeos(as). Um de vocês deverá embarcar em uma viagem intergaláctica em busca de vida em outra galáxia enquanto o outro permanecerá na Terra. A nave em questão é capaz de se mover em uma velocidade próxima à da luz. Com o objetivo de medir os tempos da viagem, você e seu amigo sincronizam o relógio de vocês antes da partida. Quando você e o seu parceiro de expedição estavam lado a lado, na mesma sala, foi possível notar alguma diferença em relação ao tempo do seu relógio e do dele? Explique	Identificar que dois corpos que se movem com a mesma velocidade sob um mesmo referencial não possuem diferença no que diz respeito a passagem do tempo.
<b>Situação 2.</b> Após o seu parceiro realizar a sua viagem intergaláctica, ele retorna para a Terra. Imagine agora que o seu parceiro era o seu irmão(ã) gêmeo(a). Após o seu retorno, vocês resolvem comparar os seus relógios. O que é possível observar em relação aos dois relógios? O que é possível constatar em relação a idade dos gêmeos(as)? Explique.	Identificar que um corpo que se move com uma velocidade diferente de um segundo corpo, terá uma diferença na passagem do tempo de acordo com o referencial estabelecido.
<b>Situação 3.</b> Os seus pais encontram você e seu irmão(ã) gêmeo(a) e se deparam com a situação. De que forma você explicaria para eles o efeito sofrido por vocês?	Explicar que quando um corpo se move com velocidade diferente do corpo em um referencial com velocidade nula, os corpos irão sofrer uma dilatação temporal devido a essa diferença de velocidade.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Durante a Situação-problema 1 cada dupla deveria escolher qual dos integrantes iria permanecer na Terra (sala de aula) e qual iria realizar a viagem espacial (indo para outra sala), de forma que cada estudante iria ficar com um relógio observando o seu tempo próprio.

No momento da situação-problema 2 as duplas deveriam se separar, de forma que um membro fosse para a outra sala (se moveu próximo a velocidade da luz) e o outro permaneceu no recinto (estava na superfície terrestre). Os pares se mantiveram separados por aproximadamente 10 minutos, retornando então para a sala de aula regular (Terra). A Figura 2 mostra os estudantes realizando a atividade referida.

Figura 2 – a) Estudantes realizando a atividade da dilatação temporal utilizando relógios impressos em uma impressora 3D



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Uma vez realizado o procedimento e as duplas estarem juntas novamente, cada grupo discutiu a situação-problema 3, verificando o que foi possível concluir em relação aos tempos passados para os relógios que estavam em velocidades diferentes, finalizando, assim, a atividade envolvendo o Paradoxo dos Gêmeos.

De forma a organizar os resultados obtidos através das situações-problema as quais os estudantes foram expostos, os dados apresentados foram trabalhados em duas etapas, possibilitando dessa forma agrupar as respostas em categorias de *conceito-em-ação* e *teorema-em-ação*. Com o objetivo de preservar a privacidade dos estudantes que participaram da pesquisa, suas identidades foram alteradas para A1, A2, A3... e assim por diante.

## Resultados e Discussão

A primeira etapa da análise dos dados buscamos encontrar nas respostas dos participantes uma regra de ação do tipo “se... então”, visando localizar uma situação de causa e efeito. Por exemplo, para a situação-problema 1, o estudante A20 respondeu:

*“Não, porque a velocidade é a mesma, se todos mundo está na mesma velocidade não existe diferença (de tempo)” (A20).*

Podemos observar então a seguinte relação de causa e efeito no discurso do estudante A20: (*se*) todo mundo está na mesma velocidade, (*então*) não existe diferença de tempo. Portanto, é possível obter o seguinte teorema-em-ação: *Se a velocidade dos dois corpos é a mesma, então não existe diferença em relação ao tempo.*

Uma vez definida a regra a qual orientou a explicitação dos teoremas-em-ação, se deu início a segunda etapa, cujo objetivo foi determinar os conceitos-em-ação que estariam implícitos ou explícitos em cada teorema. Para o exemplo apresentado é possível observar que o único conceito-em-ação mobilizado foi a da *velocidade*, visto que a sua relação de causa e efeito estava relacionado somente a uma diferença ou não de velocidade entre os dois corpos. Por sua vez, o estudante A2 apresentou o seguinte discurso para a mesma situação-problema:

*“Não, por conta da mesma Gravidade da sala em que estão, e a velocidade que os relógios se encontram são as mesmas” (A2).*

Neste caso é possível observar que o estudante mobilizou dois conceitos-em-ação: *a gravidade e a velocidade*. Ao analisar a sua situação de causa, nota-se que o participante atribui a não mudança no tempo dos relógios não somente à velocidade, mas também ao fato de os dois corpos se encontrarem sob a mesma aceleração gravitacional. Porém, nem todas as respostas foram passíveis de se aplicar a causa e efeito descrita, como é o caso do estudante A6, que para a situação-problema 2 apresentou a seguinte resposta:

*“quem estava na Terra o tempo passou mais rápido do que quem estava no espaço” (A6).*

Nesse caso, o estudante apenas afirmou que existiu uma diferença de tempo entre os relógios dos gêmeos, porém não deixou, nem de forma implícita, qual foi a causa dessa mudança. As respostas desse gênero foram classificadas como *Inadequada*, visto a ausência da relação “se...então” definida previamente. A pesquisa contou com um total de 20 estudantes participantes em cada situação-problema apresentada no Quadro 2. No Quadro 3 apresentamos os Invariantes Operatórios mobilizados pelos estudantes para as situações -problema 1.

Quadro 3 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos estudantes para a Situação-Problema 1.

Grupo	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Exemplos das respostas	Total de estudantes
-------	-------------------	------------------	------------------------	---------------------

1.1	Velocidade	Se a velocidade dos dois corpos é a mesma, então não existe diferença em relação ao tempo.	“Não, porque a velocidade é a mesma, se todos mundo está na mesma velocidade não existe diferença (de tempo)” (A20)	A1, A14, A15, A20
1.2	Velocidade e gravidade	Se a velocidade e a aceleração gravitacional são as mesmas, então não ocorre mudança no tempo.	“Não, por conta da mesma Gravidade da sala em que estão, e a velocidade que os relógios se encontram são as mesmas” (A2).	A2, A3, A5, A19
1.3	Velocidade e gravidade	Se a aceleração gravitacional é a mesma, então a velocidade não muda, logo o tempo será o mesmo para os dois.	“Não terá diferença no tempo, a velocidade é a mesma por que a gravidade e igual” (A9).	A9, A10, A11
1.4	Espaço-tempo	Se dois corpos dividem o mesmo espaço-tempo, então não sofrem diferença no tempo entre eles.	“não, porque estamos no mesmo espaço-tempo, juntos” (A17)	A4, A13, A16, A17
1.5	Gravidade	Se dois corpos estão sob mesma aceleração gravitacional, então o tempo não passa diferente.	“não teve por que à gravidade é a mesma do meu parceiro” (A6)	A6, A12, A18
1.6	Gravidade e espaço-tempo	Se dois corpos dividem o mesmo espaço-tempo e tem a mesma aceleração gravitacional, então o tempo não passará diferente.	“não vai ter diferencia por que está ao mesmo espaço-tempo e a gravidade é igual para todos” (A7)	A7

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A partir do Quadro 3 é possível verificar que os estudantes do Grupo 1.1 atribuíram a não mudança de tempo à velocidade, ou seja, *se* os dois corpos estão com a mesma velocidade, *então* não existe mudança no tempo. Por sua vez, os estudantes do grupo 1.2 A2, A3, A5, A19 atribuíram a não mudança de tempo à velocidade, porém mobilizando também o conceito da gravidade, estabelecendo a não mudança de tempo ao par dos conceitos: *se* a velocidade e a gravidade são as mesmas, *então* não ocorre mudança no tempo. Como é possível observar, os conceitos de velocidade e gravidade foram mobilizados duas vezes, porém de formas distintas. Os estudantes do Grupo 1.A9, A10, A11 a estabeleceram uma causa diferente para a mudança do tempo, afirmando que: *se* a gravidade é a mesma, *então* a velocidade não muda, logo o tempo será o mesmo.

Esse caso se difere do segundo grupo de Invariantes devido a mudança da velocidade ser uma causa da gravidade, ou seja, fica implícito no discurso do estudante que só ocorrerá uma mudança de velocidade caso ocorra uma mudança na aceleração gravitacional que ele sofre, podendo dessa forma alterar a forma como o tempo transcorre. Para esse caso, é possível notar que o Invariante Operatório estabelecido se afasta em alguns pontos do conceito científico, visto que a gravidade não é um fator obrigatório para a mudança de velocidade de um corpo; porém existem indícios de que esse grupo de teorema-em-ação e conceito-em-ação tem potencial para vir a se aproximar do conhecimento científico, visto que ainda existe uma relação da aceleração gravitacional e da velocidade com a dilatação temporal.

Um exemplo de invariante implícito na estrutura cognitiva do estudante é observado no Grupo 1.4 está no quarto grupo, onde o conceito-em-ação mobilizado está em torno do conceito de *espaço-tempo*. Para esse caso, é possível notar que a relação de causa e efeito está atribuída à posição dos corpos no espaço-tempo, ou seja, *se* dois corpos dividem o mesmo espaço-tempo, *então* não existe uma diferença de tempo entre eles.

Um outro grupo de conceitos e teoremas-em-ação (Grupo 1.5) atribui a não mudança de tempo somente à gravidade, estabelecendo que *se* dois corpos estão sob uma mesma aceleração gravitacional, *então* não existe uma diferença no tempo. A aceleração gravitacional como um efeito relativístico aparece somente na Teoria da Relatividade Geral, e apesar desse grupo não relacionar a velocidade como uma causa, ainda existe uma aproximação com o objetivo esperado, apresentando potencial para evoluir para um conhecimento científico, visto que a aceleração da gravidade também surge dentro da relatividade, porém sob outro contexto.

Por fim, o estudante A7 (Grupo 1.6) mobilizou um invariante operatório que relaciona não somente a Relatividade restrita, mas também a Geral. Em seu discurso, o mesmo atribui a dilatação temporal ao fato de que *se* dois corpos dividem o mesmo espaço-tempo e estão sob uma mesma aceleração da gravidade, *então* não ocorrerá qualquer mudança no tempo. Nesse caso, observa-se que a causa da não mudança no tempo está relacionada tanto ao espaço-tempo (a velocidade é a mesma) quanto à aceleração da gravidade, essa que surge somente nas discussões da Relatividade Geral. Para a situação-problema 1 é possível observar que todos os Invariantes Operatórios mobilizados tiveram algum grau de relação com a Teoria da Relatividade restrita, de forma que todos apresentaram potencial de se aproximar daquilo que se determinou como objetivo da atividade. No Quadro 4 apresentamos os Invariantes Operatórios mobilizados para a situação-problema 2.

Quadro 4 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos estudantes para a situação-problema 2.

Grupo	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Exemplos das respostas	Total de estudantes
2.1	Dilatação temporal, velocidade e espaço-tempo	Se um corpo tiver velocidade diferente do outro e não dividirem o mesmo espaço-tempo, então ocorrerá uma dilatação temporal entre eles	“[...]estando os irmãos em velocidades diferentes, o tempo para eles também passou de forma diferente, visto que estavam em posições distintas do Espaço-Tempo. Logo, o relógio de um terá ficado para trás em relação ao outro, considerando que para um o tempo passou mais rápido e para o outro não, sendo assim um estará mais jovem em relação ao outro” (A19).	A19
2.2	Velocidade e dilatação temporal	Se a diferença de velocidade aumenta (entre os irmãos), então ocorrerá uma dilatação temporal maior	“Quanto maior a velocidade, maior a distorção a diferença é que um estava parado e o outro se movendo. Assim o tempo se passou diferente” (A1).	A1
2.3	Gravidade	Se aceleração gravitacional é diferente, então ocorrerá uma mudança no tempo dos relógios.	“o horário dos relógios está diferente, porque a gravidade do irmão que foi pro espaço era menor com isso fazendo o relógio se atrasar em vista do irmão que ficou na Terra” (A2)	A2, A7, A12
2.4	Gravidade e velocidade	Se existe uma diferença de velocidade e aceleração gravitacional entre os corpos, então ocorrerá uma mudança no tempo dos relógios.	“No Espaço a gravidade é menor e tem mais velocidade, mais na terra a gravidade é maior e a velocidade menor, por isso para quem tá na terra o tempo passou mais rápido e no espaço o tempo passou mais devagar” (A5)	A3, A4, A5
2.5	Inadequado	Inadequado	“quem estava na Terra o tempo passou mais rápido do que quem estava no espaço” (A6)	A6, A8, A9, A10, A11, A13, A14, A15, A16, A17, A18, 20

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Quanto aos invariantes mobilizados na segunda situação-problema, no observamos que um estudante (A19, grupo 2.1) mobilizou conceitos-em-ação que remetem à *dilatação temporal, velocidade e espaço-tempo*, assumindo uma relação de causa dupla, onde *se* um corpo tiver velocidade diferente do outro *e* não dividirem o mesmo espaço-tempo, **então** ocorrerá uma

dilatação temporal entre eles, enquanto que o A1 (grupo 2.1) aponta para uma relação de que *se* a diferença de velocidade for maior entre os corpos *então* maior será a dilatação temporal ocorrida, mobilizando conceitos-em-ação relacionados à velocidade e à dilatação temporal.

Enquanto isso, os estudantes do grupo 2.3 apontaram uma causa relacionada ao conceito da gravidade remetendo à Relatividade Geral, de forma que *se* a aceleração gravitacional for diferente para os dois corpos, *então* ocorrerá uma mudança no tempo. Nesse caso, o invariante explicitado não atingiu o objetivo que era identificar que a diferença de velocidade causa a dilatação temporal; porém existem subsídios que apontam para uma aproximação do conceito científico proposto, visto que foi sensibilizado um teorema-em-ação em potencial.

Ainda no campo da Relatividade Geral, os estudantes incluídos no grupo 2.4 três participantes (A3, A4, A5) apontaram que *se* existe uma diferença de velocidade e aceleração gravitacional entre os corpos, *então* ocorrerá uma mudança no tempo dos relógios, apontando conceito-em-ação relacionados à velocidade e à gravidade. Por sua vez, esse grupo apresenta um problema quando aponta um efeito de causa dupla, ao afirmar que só ocorrerá uma alteração na passagem do tempo caso ocorra tanto a diferença entre as velocidades quanto a diferença na aceleração da gravidade.

Por fim, o último grupo (2.5) de Invariantes mostra que 12 estudantes se enquadraram na categoria *Inadequado*, pois em seus discursos não foram apresentadas situações de causa e efeito. É possível observar que houve uma compreensão de que o tempo passou diferente para os gêmeos, porém sem deixar de forma implícita ou explícita a causa dessa diferença. No Quadro 5 apresentamos os Invariantes Operatórios referentes à situação-problema 3.

Quadro 5 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos estudantes para a Situação-Problema 3.

Grupo	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Exemplos das respostas	Total de estudantes
3.1	Velocidade, dilatação temporal, espaço-tempo	Se dois corpos estão com diferentes velocidades e não dividem o mesmo local do espaço-tempo, então ocorrerá uma dilatação temporal entre eles.	“foi por conta da relatividade temporal já que estávamos em locais diferentes e em velocidades diferentes” (A13)	A19, A13
3.2	Velocidade, gravidade	Se existe diferença de velocidade e aceleração gravitacional entre os corpos, então o tempo será diferente para os dois.	“que a uma diferença de tempo no espaço, por causa do campo gravitacional que influência no tempo, no espaço (a nave) a velocidade	A2,A5,A7,A8, A9,A10,A11

			é maior que a das pessoas na Terra por isso que ocorre na diferença de idade” (A7)	
3.3	Gravidade	Se a aceleração gravitacional for diferente entre os corpos, então o tempo passará diferente.	“A gravidade interferiu no tempo que fez nos diferenciar na idade” (A6)	A3,A6
3.4	Velocidade	Se existe diferença na velocidade entre dois corpos, então o tempo passará diferente para eles.	“um exemplo que posso te dar é do filme do Flash, que enquanto ele está super rápido o restante está super lento, por conta da super velocidade dele, e isso muda o tempo.” (A20)	A15,A17,A20
3.5	Relatividade	Ocorreu diferença no tempo por conta da relatividade.	“eu falaria que foi a teoria da relatividade, e também foi por causa do tempo que o meu irmão passou no espaço” (A14)	A14, A12
3.6	Espaço-tempo, relatividade	Se dois corpos não dividem o mesmo espaço-tempo, então ocorrerá efeitos da relatividade entre eles.	“eu saí do mesmo espaço-tempo que ela, o que de acordo com a relatividade pode causar essa consequência de diferença de idade” (A16)	A16
3.7	Órbita	Se a órbita de dois corpos é diferente, então o tempo passará diferente para eles.	“na Terra o tempo passa mais rápido já no espaço e de certa forma lento pois a órbita é totalmente diferente” (A18)	A18

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Ao analisar as respostas para a última situação-problema, o primeiro grupo (3.1) de teoremas e conceitos-em-ação se apresenta de forma implícita, visto que ao se referir à “*relatividade temporal*” o discurso estava remetendo ao conceito da *dilatação temporal* e, ao afirmar que os corpos estavam em locais diferentes, temos uma referência ao não-compartilhamento do mesmo espaço-tempo, resultando em uma situação de causa e efeito como descrita anteriormente.

No que diz respeito ao segundo grupo (3.2), o ocorrido foi atribuído não somente à velocidade, mas também à aceleração gravitacional, de forma que a dilatação temporal apenas iria ocorrer caso ocorresse uma diferença tanto na velocidade quanto na aceleração da gravidade, incidindo em conceitos da Relatividade Geral.

Os três grupos seguintes mobilizaram somente um conceito-em-ação. Os estudantes do grupo 3.3 trouxeram uma situação que remete à Relatividade Geral novamente, atribuindo que

a causa da dilatação temporal estava na diferença da aceleração gravitacional entre os corpos e não na diferença da velocidade entre eles. Os estudantes do grupo 3.4 mobilizaram justamente o campo da Relatividade restrita, ao dizer que a causa da mudança no tempo remete à mudança de velocidade entre eles. Já os estudantes do grupo 3.5 mobilizaram somente um invariante deixando explícito que o efeito foi a relatividade, porém não deixa claro qual a causa disso. Através de outros grupos de situações-problema seria possível que ele desenvolvesse conceitos e teoremas-em-ação mais elaborados em torno da questão.

Já o estudante do grupo 3.6 estabelece como causa o fato de que *se* dois corpos estão em diferentes posições do espaço *então* ocorrerá efeitos relativísticos entre eles. O discurso aqui se apresenta de modo raso, não deixando claro quais exatamente serão esses efeitos, nem o motivo de estarem em espaço-tempo distintos e causarem esse efeito. Porém, existe uma possibilidade desse invariante operatório evoluir para um possível do Campo Conceitual em questão.

Por fim, o estudante do grupo 3.7 apresentou uma resposta que não atinge aos objetivos da atividade, nem tão pouco se aproxima do conhecimento científico esperado, visto que a atribuição da dilatação temporal foi colocada como um efeito da órbita dos planetas, o que é uma inverdade. Para esse caso, se faz necessário uma nova série de situações-problema, para que ele possa ter possíveis avanços dentro do Campo Conceitual abordado.

### **Considerações finais**

O produto tecnológico desenvolvido revelou-se um recurso pedagógico significativo, proporcionando ao estudante explorar o Campo Conceitual da Relatividade Restrita, não apenas teoricamente, mas também observando na prática, através dos tempos medidos nos relógios, como os efeitos relativísticos impactam nosso cotidiano pois, sem essa descoberta, seria inviável a utilização dos GPS.

A tecnologia GPS possui diversos Campos Conceituais associados ao seu funcionamento, de forma que a pesquisa se ateve especificamente ao efeito da Dilatação Temporal, pois pertencente ao Campo Conceitual da Teoria da Relatividade. A análise revelou que nem todos os participantes atingiram o objetivo proposto pela atividade, apresentando em seus discursos invariantes operatórios com potencial para vir a se tornar um conhecimento próximo do científico.

Já a Aprendizagem Baseada em Projetos revelou-se uma metodologia promissora, promovendo não somente o trabalho cooperativo, como também incentivando o

desenvolvimento de pensamento crítico, gerando um ambiente de trabalho estimulante para os participantes.

Observamos que a atividade desenvolvida possibilitou mobilizar diversos grupos de Invariantes Operatórios, alguns explícitos, outros implícitos, indo ao encontro de um dos desafios da TCC que é de identificar os invariantes que se apresentam de maneira implícita, cabendo ao mediador entre o problema abordado e o aprendiz a tarefa de explicitar esses conceitos e teoremas-em-ação. Segundo Moreira (2002), é raro que os estudantes consigam expressar em linguagem natural os seus próprios teoremas e conceitos-em-ação. Neste contexto, a combinação do uso de tecnologias com a metodologia da ABP propiciou ao pesquisador/professor a oportunidade de tornar explícitos esses invariantes operatórios.

Em relação aos estudantes que apresentaram invariantes inadequados é necessário elaborar um novo conjunto de situações, possibilitando, dessa forma, um possível domínio desse Campo Conceitual.

Por fim, acreditamos que esta pesquisa venha favorecer a prática pedagógica do professor e o processo de aprendizagem dos estudantes, bem como que o produto tecnológico e a metodologia de ABP estimulem o desenvolvimento do senso crítico diante de questões científicas, tecnológicas, indo além dos limites da sala de aula.

### **Agradecimentos**

Este trabalho contou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

### **Referências**

BENDER, W. N. **Aprendizagem Baseada em Projetos: Educação Diferenciada para o Século XXI**. Porto Alegre. Editora Penso, 2014.

CALHEIRO, L. B. **Inserção de tópicos de física partículas de forma integrada aos conteúdos tradicionalmente abordados no ensino médio**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

DE MOURA, F. A.; GOMES, T. J. de S.; DE MARIA, A. C. C; MOURA, S. R. Ensino de Termometria e Tecnologias de Inovação: realidade e possibilidades de uma prática educacional usando Arduino. **Educitec-Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, v. 5, n. 10, 2019.

- FALCIANO, F. T. Cinemática relativística: paradoxo dos gêmeos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 19-34, 2007.
- Martinazzo, C. A., Trentin, D. S., Ferrari, D., & Piaia, M. M.. Arduino: Uma tecnologia no ensino de física. **Revista Perspectiva**, v. 38, n. 143, 2014.
- 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. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre. Vol. 7, n. 1 (jan./mar. 2002), p. 7-29, 2002.
- MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do professor de física**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017.
- MOREIRA, M. P. C., Romeu, M. C., Alves, F. R. V., & da Silva, F. R. O. Contribuições do Arduino no ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 721-745, 2018.
- NETO, A. F.; LOUBET, S. S.; ALBUQUERQUE, L. M. O uso da impressora 3D no processo de ensino e aprendizagem. **Revista Eletrônica Sala de Aula em Foco**, v. 10, n. 2, 2019
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.5, n.1, p. 23-48, 2000.
- PASQUALETTO, T. I.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Aprendizagem baseada em projetos no Ensino de Física: uma revisão da literatura. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 551-577, 2017.
- TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.9, n.3, p.209-214, 1992.
- TIRONI, C. R., SCHMIT, E., SCHUMACHER, V. R. N.; SCHUMACHER, E. IX Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências, ABRAPEC, Águas de Lindóia, 2013.
- VERGNAUD, G. Psychology and Didactics of Mathematics in France--An Overview. **International Reviews on Mathematical Education**, v. 15, n. 2, p. 59-63, 1983.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Ensino de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica se mostra importante visto a quantidade de informações e tecnologias que estão em constante fluxo e cada vez mais presente na sociedade. Saber identificar os princípios físicos por trás daquilo que se usa, e não somente usar para trazer maior conforto nas atividades cotidianas, auxilia na construção de um pensamento crítico de mundo.

A Revisão Sistemática realizada foi de grande contribuição para obter referenciais nas atividades desenvolvidas, servindo principalmente de um alerta para a relevância de abordar o conteúdo proposto na educação básica, visto que na última década apenas um trabalho se preocupou em abordar o GPS relacionado a Teoria da Relatividade, mostrando o quão desconexo está o funcionamento dessa tecnologia com o ensino da Física Moderna e Contemporânea. Uma das dificuldades apontadas pelos autores desse trabalho, foi na escassez de trabalhos voltados para essa temática, tornando árduo a transposição didática do conhecimento científico para o contexto de sala (RODRIGUES, SAUERWEIN E SAUERWEIN, 2014).

A falta de trabalhos como referência para a elaboração da pesquisa foi a maior barreira encontrada nessa dissertação, porém ela não deve ser vista como algo a ser evitado. A baixa publicação relacionando o GPS com a teoria proposta por Einstein, deve servir como motivador para o fomento de investigações nesse campo, visando difundir e trazer melhores qualificações no que tange o estudo da tecnologia com o Campo Conceitual da Teoria da Relatividade.

Outro resultado importante obtido através da revisão está no referencial metodológico adotado para essa pesquisa, a Aprendizagem Baseada em Projetos. Buscando atender as demandas do mundo moderno, a ABP vem se mostrando uma metodologia ativa e inovadora em sala de aula, de forma a colocar o aluno como um agente ativo no seu processo de aprendizagem, permitindo levantar questionamentos através de debates, pesquisas etc. Além disso, a ABP oportuniza ao aprendiz uma posição de escolha dentro daquilo que se será desenvolvido no projeto, o que traz potencial em envolver mais ainda o aluno dentro das atividades desenvolvidas, podendo resultar em melhores resultados (BENDER, 2014).

Envolver os estudantes em um projeto que ultrapassa os limites da sala de aula, proporcionando motivação e engajamento são características desejadas por diversos ramos da educação, sendo muito úteis em disciplinas consideradas difíceis ou de baixo interesse por uma parcela dos estudantes (PASQUALETTO, VEIT e ARAUJO, 2017).

Apesar das diversas contribuições que utilizar a Aprendizagem Baseada em Projetos como uma metodologia para o planejamento das aulas, a sua aplicação para o ensino da Teoria da Relatividade e/ou GPS não vem sendo trabalhada na última década, gerando uma série de dificuldades no planejamento, visto a falta de referencial como discutido anteriormente.

Utilizar essa metodologia na pesquisa permite trazer uma difusão e melhores qualificações como uma metodologia ativa a ser aplicada no Ensino de Física. A Teoria da Relatividade é um Campo Conceitual com múltiplas faces, e de difícil entendimento, visto que os efeitos relativísticos não são observáveis no dia a dia, exigindo uma abstração tanto por parte de quem ensina, tanto de quem aprende. A ABP proporcionou uma organização de quais faces dessa teoria seria abordada e os momentos do projeto em que elas seriam desenvolvidas, visto que não seria viável desenvolver a TR em toda a sua extensão.

Desenvolver a aproximação da física com tecnologias que são frequentemente utilizadas pela sociedade, pode fazer com que os estudantes deixem de lado a sensação de que estão estudando algo desconexo da realidade, sem qualquer aplicabilidade (RODRIGUES, SAUERWEIN e SAUERWEIN, 2014). O Sistema de Posicionamento Global se apresenta como sendo a tecnologia mais próxima dos efeitos relativísticos que está difundido na contemporaneidade, realizar então o estudo dessa tecnologia como uma Questão Motriz oportunizou uma aproximação do instrumento de localização com o conhecimento científico.

As atividades descritas nessa pesquisa foram aplicadas em turmas do 3º ano do Ensino Médio por decorrência do currículo estipulado pela Secretária de Educação (MATO GROSSO DO SUL, 2021). Apesar da Física Moderna e Contemporânea ser comumente desenvolvida no último ano escolar, o seu desenvolvimento não deve se ater somente a esse momento. O Projeto Piloto discutido, foi trabalhado com turmas mescladas envolvendo todas as séries do Ensino Médio, e apenas não foi possível concluir as atividades por decorrência do cronograma escolar da época que sofreu alterações.

É possível, por exemplo, desenvolver a FMC paralela a Física Clássica, como aponta Sá (2015), que desenvolveu a sua dissertação em turmas de 1º ano do Ensino Médio, de forma que o desempenho final dos estudantes relacionados a TR se mostrou muito similar aos resultados obtidos nas avaliações referentes a Mecânica Clássica, evidenciando que não existem motivos, em termos de aprendizagem, de desenvolver esse conteúdo somente no 3º ano.

No que tange a avaliação da aprendizagem dos estudantes, a Teoria dos Campos Conceituais se mostrou um bom referencial teórico, visto que a FMC possui diversos campos conceituais e, a sua compreensão, dificilmente será imediata (MOREIRA, 2002). Tal diversidade é apontada no Manuscrito 1 que apresentou os Invariantes Operatórios referentes

ao Campo Conceitual da Velocidade e Aceleração e, apesar de não desenvolver a Teoria da Relatividade em si, traz elementos essenciais para uma melhor evolução dentro do referido Campo Conceitual.

Por sua vez, o Manuscrito 2, buscou desenvolver o Campo da teoria proposto por Einstein, e no discurso dos estudantes é possível observar conceitos-em-ação que remetem ao Campo Conceitual da velocidade e aceleração. Também foi possível observar uma evolução no discurso dos estudantes. Enquanto no segundo trabalho os discursos se apresentaram de forma mais sucinta e pouco desenvolvimento, no terceiro trabalho os textos dos estudantes se apresentaram com maior complexidade, fato é observado no momento de categorizar os Invariantes Operatórios, notando uma quantidade maior de conceitos e teoremas-em-ação em relação a atividade anterior.

Apesar do expressivo aumento de Invariantes observados, ainda persistiu os estudantes categorizados como *Inadequado*. Esses participantes foram aqueles que, em seu discurso, não foi possível estabelecer uma relação de causa, como discorrido nos manuscritos. A ocorrência desse tipo corrobora com o trabalho de De Carvalho Junior (2015) e Otero, Arlego e Prodanoff (2015), que apontam que nem todos os estudantes foram capazes de contemplar uma construção desse Campo Conceitual, propondo que para contornar esses obstáculos e promover uma aprendizagem com maior significado, seria necessário novas situações-problemas que visem o surgimento de um novo conjunto de Invariantes Operatórios por parte dos aprendizes.

Apesar das grandes contribuições da teoria proposta por Gérard Vergnaud, as pesquisas que fazem uso desse referencial teórico estão mais presentes na educação da matemática, visto que o autor era matemático de formação, porém ela não é específica desse campo. Na física, por exemplo, existem uma gama de campos conceituais que não podem ser ensinados de imediato e nem como sistemas isolados, como a mecânica, termologia, ou mesmo na biologia, como é o caso da reprodução de vegetais e animais (MOREIRA, 2002).

Utilizar então a TCC para a análise dos dados obtidos permitiu explicitar os invariantes operatórios no que tange a Teoria da Relatividade e o funcionamento do GPS, como apresentado nos manuscritos acima. É possível dizer que ela traz um potencial em identificar as dificuldades dos alunos na resolução das situações-problemas, permitindo uma verificação se está ocorrendo ou não uma evolução do campo conceitual em questão.

A pesquisa pode concluir então que o estudo do GPS estruturado a partir de uma Aprendizagem Baseada em Projetos contribuiu para uma evolução dos estudantes em relação ao Campo Conceitual da Teoria da Relatividade. A elaboração do projeto pautada na ABP permitiu organizar quais faces da teoria seriam trabalhadas ao longo do trabalho, além de

colocar o estudante como um agente ativo do seu processo de aprendizagem, trazendo maiores contribuições para um possível domínio do campo conceitual investigado.

Além dos resultados apresentados ao longo dessa dissertação, a pesquisa espera também promover uma maior difusão do estudo do GPS pautado na Teoria da Relatividade, visto a escassez de trabalho na área, tal qual difundir também a Aprendizagem Baseada em Projetos e a Teoria dos Campos Conceituais no Ensino de Física, que vem se mostrando referenciais com potencialidade para corroborar com uma aprendizagem significativa.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, M.; BEGO, A. M.; ZULIANI, S. R. Q. A. Conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK): revisão sistemática da produção recente da área de Ensino de Ciências. **XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2019.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo, Editora Almedina Brasil, 2016.
- BENDER, W. N. **Aprendizagem Baseada em Projetos: Educação Diferenciada para o Século XXI**. Porto Alegre. Editora Penso, 2014.
- BRASIL. Lei Nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017. Altera as Leis n° 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, e 11.494, de 20 de junho 2007, que regulamenta o Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação, a Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei n° 5.452, de 1° de maio de 1943, e o Decreto-Lei n° 236, de 28 de fevereiro de 1967; revoga a Lei n° 11.161, de 5 de agosto de 2005; e institui a Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral. Brasília, DF. Diário Oficial da União, 2017.
- BRASIL, **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2006.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.
- BOLOGNANI, A. C. A. **Ensino e Aprendizagem de Frações mediados pela Tecnologia: Uma análise à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). Programa em Pós-Graduação em Ensino de Ciências. Universidade Federal de Itajubá, 2015.
- CAPELARI, D. **Uma sequência didática para ensinar relatividade restrita no ensino médio com o uso de TIC**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.
- COUTO, R. V. L. do.; FERREIRA, M., DA SILVA FILHO, O. L. Astronomia no Ensino Médio: uma abordagem simplificada a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Anais do I Encontro Regional do MNPEF Centro-Oeste/Norte**. v.3, n. especial. 2019.
- DA ROSA, C. W.; PEREZ, C. A. S.; DRUM, C. Ensino de física nas séries iniciais: concepções da prática docente. **Investigações em ensino de ciências**, v. 12, n. 3, p. 357-368, 2007.
- DA SILVA, A. G.; ERROBIDART, N. C. G.; ALVES, D. C. B.; QUEIRÓS, W. P. Análise da história da Teoria da Relatividade Restrita em livros didáticos do terceiro ano do ensino médio indicados no PNLEM 2015/2017. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 13, n. 4, p. 5, 2019.
- DA SILVA ANDRADE, D. E.; NETO, A. F. P. P.; DE OLIVEIRA, C. A.; BRITO, J. A. Comportamentalismo, Cognitivismo e Humanismo: uma revisão de literatura. **Revista Semiárido De Visu**, v. 7, n. 2, p. 222-241, 2019.
- DE CARVALHO, G. J. D. O esquema de movimento como organizador da ação em mecânica clássica e relativística. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 3, p. 205-235, 2015.
- DE OLIVEIRA, A. N.; SAMPAIO, W. S.; SIQUEIRA, M. C. A. Física moderna e contemporânea no ensino básico: o cinto de segurança como alternativa para a abordagem

teórica do princípio de equivalência da relatividade geral. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 4, p. 7-17, 2019.

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.

DINIZ, V. S.; PASTORIO, D. P. Uma revisão sistemática da literatura sobre a construção e uso dos mundos virtuais 3D no ensino de Física. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 14, n. 2, p. 1-25, 2023.

DOS SANTOS, F. M. Análise de conteúdo: a visão de Laurence Bardin. **Revista Eletrônica de Educação**, v. 6, n.1, 2012.

FERREIRA, M.; COUTO, R. V. L.; DA SILVA FILHO, O. L.; PAULUCCI, L.; MONTEIRO, F.F. Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.

FREITAS, E. T. **A Física Moderna no Cotidiano**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2019.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e serviços de saúde**, v. 23, p. 183-184, 2014.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª Edição. São Paulo. Editora Atlas S.A., 2002.

JARDIM, W. T.; OTOYA, V. J. V.; OLIVEIRA, C. G. S. A teoria da relatividade restrita e os livros didáticos do Ensino Médio: Discordâncias sobre o conceito de massa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, p. 2506-1-2506-7, 2015.

KAUARK, F. da S., MANHÃES, F. C. e MEDEIROS, C. H. **Metodologia da Pesquisa: Um Guia Prático**. Itabuna, Bahia. Editora Via Litterarum, 2010.

LADEIRA, V. B.; CALHEIRO, L. C.; GONCALVES, A. M. B. Exploring kinematics graphs using Arduino and an interactive Excel spreadsheet. **Physics Education**, v. 57, n. 2, p. 023007, 2022.

MARRANGHELLO, G. F.; PAVANI, D. B. Astronomia E Física Moderna: Duas Necessidades, Uma Solução. **I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia**. Rio de Janeiro, 2011.

MARKHAM, T.; LARMER, J.; RAVITZ, J. **Aprendizagem Baseada em Projetos: guia para professores de ensino fundamental e médio**. 2ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2008.

MATO GROSSO DO SUL. Currículo de Referências: SED/Secretaria Estadual de Educação de Mato Grosso do Sul, 2021.

MATO GROSSO DO SUL MAPA. Maps of World., <https://pt.mapsofworld.com/brasil/estados/mato-grosso-do-sul.html>. Consultado em: 8 de setembro de 2022

MELO, M. G. de A.; CAMPOS, J. S.; ALMEIDA, W. dos S. Dificuldades enfrentadas por professores de Ciências para ensinar Física no Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 4, 2015.

MOREIRA, Marcos Antonio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. p.195

MOREIRA, M. A., LEITE, L., DOURADO, L., AFONSO, A., & MORGADO, S. The relevance of physics knowledge for citizenship and the incoherence of physics teaching. Contextualizing teaching to improve learning. **New York: Nova Science Publishers**, 2017.

- MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos avançados**, v. 32, p. 73-80, 2018.
- NEVES, J. A. das. **Uma análise do conteúdo da relatividade restrita nos livros didáticos do Ensino Médio**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.
- NOGUEIRA, C. M. I.; REZENDE, V. A teoria dos campos conceituais no ensino de números irracionais: implicações da teoria piagetiana no ensino de matemática. **Schème: Revista eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas**, v. 6, n. 1, p. 41-63, 2014.
- NUNES, R. C.; QUEIRÓS, W. P.; DA CUNHA, J. A. R. A aparência visual da contração relativística nos livros de física aprovados no Programa Nacional do Livro Didático-2018. **Revista de enseñanza de la física**, v. 33, n. 3, p. 101-113, 2021.
- NUNES, R. C.; QUEIRÓS, W. P.; DA CUNHA, J. A. R. Conceito de massa e a relação massa energia no conteúdo de relatividade especial em livros didáticos de física. **Revista de enseñanza de la física**, v. 34, n. 1, p. 8-20, 2022.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.5, n.1, p. 23-48, 2000.
- OTERO, M. R.; ARLEGO, M.; PRODANOFF, F. Design, analysis and reformulation of a didactic sequence for teaching the Special Theory of Relativity in high school. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, p. 3401-1-3401-10, 2015.
- PARANHOS, M. C. R., PARANHOS, M. L. R., DE SOUZA FILHO, L. C., DOS SANTOS, J. R. Metodologias ativas no ensino de física: uma análise comparativa. **UNILUS Ensino e Pesquisa**, v. 14, n. 36, p. 124-131, 2017.
- PASQUALETTO, T. I.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Aprendizagem baseada em projetos no Ensino de Física: uma revisão da literatura. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 551-577, 2017.
- PEREIRA, M. G.; GALVÃO, T. F. Etapas de busca e seleção de artigos em revisões sistemáticas da literatura. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, p. 369-371, 2014.
- PEREIRA, P. do N. **Análise de conteúdos de física moderna e contemporânea em livros didáticos de Física do Ensino Médio da Rede Pública Estadual de São Luís-MA**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática/CCET) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.
- PEREIRA, R. V. **Construção de um website sobre a Teoria da Relatividade Restrita**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do ABC. 2019.
- PIAGET, J.; INHELDER, B. **A Psicologia da Criança**. Rio de Janeiro: Difel, 1978. La Psychologie de L Enfant, 1966.
- RICARDO, E. C. **Problematização e contextualização no ensino de física**. Ensino de Física. São Paulo: Cengage Learning, p. 29-48, 2010.
- RIBOLDI, B. M. **A construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para ensinar relatividade utilizando animações e o game A slower speed of light**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal de São Carlos, 2015.

SÁ, M. R. R. de. **Teoria da Relatividade Restrita e Geral ao longo do 1º ano do ensino médio: uma proposta de inserção**. 2015.

SANTAROSA, M. C. P. Ensaio sobre a aprendizagem significativa no ensino de matemática. **Aprendizagem significativa em Revista**, v. 6, n. 3, p. 57-69, 2016.

SILVA, P. O. D.; KRAJEWSKI, L. L.; LOPES, H. D. S.; NASCIMENTO, D. O. D. Os desafios no ensino e aprendizagem da Física no Ensino Médio. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, 2018

SILVA JUNIOR, C. G.; RÉGNIER, N. A. Jogos como situação para aprendizagem segundo a teoria dos campos conceituais: o caso do pega-varetas. Anais do Simpósio Internacional de Pesquisa em Educação Matemática (SIPEMAT), Caruaru-PE, Brasil, 2008.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.9, n.3, p.209-214, 1992.

VASCONCELOS, C.; PRAIA, J. F.; ALMEIDA, L. S. Teorias de aprendizagem e o ensino/aprendizagem das ciências: da instrução à aprendizagem. **Psicologia escolar e educacional**, v. 7, p. 11-19, 2003.

VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. **Journal of Mathematical Behavior**, v. 17, n. 2, 1998. p. 167-181. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0364021399800573>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

ZANOTTA, D. C.; CAPPELLETTO, E.; MATSUOKA, M. T. O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, 2011

**ANEXO A**

Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**



**Instituto de Física**  
**Mestrado em Ensino de Ciências**

**TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)**

Prezado participante, você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa intitulada “O ESTUDO DO GPS PARA O DOMÍNIO DO CAMPO CONCEITUAL DA TEORIA DA RELATIVIDADE”, desenvolvida pelo pesquisador Patrick Luiz Guevara Delgado, sob orientação da Profa. Dra. Lisiane Barcellos Calheiro.

O objetivo central do estudo é investigar como o estudo do GPS pode contribuir para a domínio do Campo Conceitual da Teoria da Relatividade Geral que será empreendido com os(as) alunos(as) do 3º ano do Ensino Médio da Escola Estadual Cívico-Militar Marçal de Souza Tupã-Y.

O convite para a sua participação se deve ao fato de você estar matriculado na turma de 3º ano da Escola Estadual Cívico-Militar Marçal de Souza Tupã-Y.

Sua participação é voluntária, isto é, ela não é obrigatória, e você tem plena autonomia para decidir se quer ou não participar, bem como retirar sua participação a qualquer momento. Você não terá prejuízo algum caso decida não consentir sua participação, ou desistir da mesma. Contudo, ela é muito importante para a execução da pesquisa. Serão garantidas a confidencialidade e a privacidade das informações por você prestadas. Qualquer dado que possa identificá-lo será omitido na divulgação dos resultados da pesquisa, e o material será armazenado em local seguro. A qualquer momento, durante a pesquisa, ou posteriormente, você poderá solicitar do pesquisador informações sobre sua participação e/ou sobre a pesquisa, o que poderá ser feito através dos meios de contato explicitados neste Termo.

A pesquisa será desenvolvida no período regular das aulas. A sua participação durante as aulas consistirá em assistir as aulas expositivas em sala de aula, as aulas experimentais realizadas e realizar as atividades propostas.

Para obter os dados do estudo, serão aplicados questionários e opinários com você e seus colegas, participantes do estudo. Os questionários e opinários serão anônimos, ou seja, não será necessário identificação, esses ficarão na posse do pesquisador.

O tempo de duração do questionário e opinário é aproximadamente 50 minutos. Ao final da pesquisa, todo material será mantido em arquivo, sob guarda e responsabilidade do pesquisador responsável, por pelo menos 5 anos, conforme Resolução CNS no 466/2012.

O benefício relacionado com a participação nesta pesquisa é estar inserido em um contexto que favorece a relação dos conhecimentos pedagógicos, físicos, tecnológicos, históricos, sociais e políticos, necessários para uma aprendizagem com significados e estarão vivenciando uma metodologia que favorece a motivação para aprender, trabalhar em equipe e desenvolver habilidades cooperativas.

O participante poderá estar sujeito a responder algum questionamento que poderia causar algum constrangimento. Pensando então minimizar tal risco, ficará claro ao participante que ele terá total liberdade em responder as questões, podendo se recusar a responder em caso de possíveis constrangimentos, estando o participante livre de qualquer forma de punição ou semelhante caso se negue a responder.

Para as atividades experimentais, caso haja, os participantes terão orientação, acompanhamento e itens de segurança necessários. Toda prática experimental que possa vir a ocorrer será realizada somente na presença do professor pesquisador.

Em caso de gastos decorrentes de sua participação na pesquisa, você (e seu acompanhante, se houver) será ressarcido. Em caso de eventuais danos decorrentes de sua participação na pesquisa, você será indenizado.

Os resultados desta pesquisa serão divulgados em palestras dirigidas ao público participante, relatórios individuais para os entrevistados, artigos científicos e no formato de dissertação/tese.

Este termo é redigido em duas vias, sendo uma do participante da pesquisa e outra do pesquisador. Em caso de dúvidas quanto à sua participação, você pode entrar em contato com o pesquisador responsável através do email [patrickguevara1996@gmail.com](mailto:patrickguevara1996@gmail.com) e do telefone (67) 981923952.

Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFMS (CEP/UFMS), localizado no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, prédio das Pró-Reitorias 'Hércules Maymone' – 1º andar, CEP: 79070900. Campo Grande – MS; e-mail: [cepconep.propp@ufms.br](mailto:cepconep.propp@ufms.br); telefone: 67-3345-7187;

atendimento ao público: 07:30-11:30 no período matutino e das 13:30 às 17:30 no período vespertino.

O Comitê de Ética é a instância que tem por objetivo defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. Dessa forma, o comitê tem o papel de avaliar e monitorar o andamento do projeto de modo que a pesquisa respeite os princípios éticos de proteção aos direitos humanos, da dignidade, da autonomia, da não maleficência, da confidencialidade e da privacidade.

[  ] marque esta opção se você concorda que durante sua participação na pesquisa seja realizada, permitindo a gravação de recursos de áudio, imagem, vídeo e respondendo questionários quando solicitado.

[  ] marque esta opção se você não concorda que durante sua participação na pesquisa seja realizada, não permitindo a gravação de recursos de áudio, imagem, vídeo e respondendo questionários quando solicitado.

---

Nome e assinatura do pesquisador

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Local e data

---

Nome e assinatura do participante

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

**ANEXO B**

Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**



**Instituto de Física**  
**Mestrado em Ensino de Ciências**

**TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)**

A pessoa pela qual você é responsável está sendo convidada a participar da pesquisa intitulada “O ESTUDO DO GPS PARA O DOMÍNIO DO CAMPO CONCEITUAL DA TEORIA DA RELATIVIDADE”, desenvolvida pelo pesquisador Patrick Luiz Guevara Delgado sob orientação da Profa. Dra. Lisiane Barcellos Calheiro.

O convite de participação se deve ao fato de o estudante estar matriculado na turma do 3º ano do Ensino Médio da Escola Estadual Marçal de Souza Tupã-Y.

Consentir a participação dele(a) é ato voluntário, isto é, não obrigatório, e você tem plena autonomia para decidir se quer ou não que ele(a) participe, bem como retirar a sua anuência a qualquer momento. Nem você nem ele terão prejuízo algum caso decida não consentir com a participação, ou desistir da mesma. Contudo, ela é muito importante para a execução da pesquisa. Serão garantidas a confidencialidade e a privacidade das informações prestadas pelo participante. Qualquer dado que possa identificar o participante será omitido na divulgação dos resultados da pesquisa, e o material será armazenado em local seguro. A qualquer momento, durante a pesquisa, ou posteriormente, você poderá solicitar do pesquisador informações sobre a participação e/ou sobre a pesquisa, o que poderá ser feito através dos meios de contato explicitados neste Termo.

Você deverá decidir se a pessoa pela qual você é responsável irá participar dessa pesquisa. Por favor, não se apresse em tomar a decisão. Leia cuidadosamente o que se segue e pergunte ao responsável pelo estudo sobre qualquer dúvida que tiver.

A pesquisa será desenvolvida no período regular das aulas, no Itinerário Formativo no qual o aluno está cursando. A participação da pessoa pela qual você é responsável consistirá em assistir as aulas expositivas em sala de aula, aulas experimentais realizadas com o uso do Arduino e realizar as atividades propostas.

Para obter os dados do estudo, serão aplicados questionários e opinários para os participantes do estudo. Os questionários e opinários serão anônimos, ou seja, não será necessário identificação, esses ficarão na posse do pesquisador. O tempo de duração do questionário e opinário é de aproximadamente 50 minutos.

Ao final da pesquisa, todo material será mantido em arquivo, sob guarda e responsabilidade do pesquisador responsável, por pelo menos 5 anos, conforme Resolução CNS no 466/2012.

O benefício relacionado com a participação nesta pesquisa é estar inserido em um contexto que favorece a relação dos conhecimentos pedagógicos, físicos, tecnológicos, históricos, sociais e políticos, necessários para uma aprendizagem com significados e estarão vivenciando uma metodologia que favorece a motivação para aprender, trabalhar em equipe e desenvolver habilidades cooperativas.

O participante poderá estar sujeito a responder algum questionamento que poderia causar algum constrangimento. Pensando então minimizar tal risco, ficará claro ao participante que ele terá total liberdade em responder as questões, podendo se recusar a responder em caso de possíveis constrangimentos, estando o participante livre de qualquer forma de punição ou semelhante caso se negue a responder.

Para as atividades experimentais, caso haja, os participantes terão orientação, acompanhamento e itens de segurança necessários. Toda prática experimental que possa vir a ocorrer será realizada somente na presença do professor pesquisador.

Em caso de gastos decorrentes da participação na pesquisa, a pessoa pela qual você é responsável (e seu acompanhante, se houver) será ressarcido. Em caso de eventuais danos decorrentes da participação na pesquisa, o participante será indenizado.

Este termo é redigido em duas vias, sendo uma do responsável pelo participante da pesquisa e outra do pesquisador. Em caso de dúvidas quanto a participação da pessoa pela qual você é responsável, você pode entrar em contato com o pesquisador responsável através do email [patrickguevara1996@gmail.com](mailto:patrickguevara1996@gmail.com), do telefone (67) 981923952.

Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFMS (CEP/UFMS), localizado no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, prédio das Pró-Reitorias 'Hércules Maymone' – 1º andar, CEP: 79070900. Campo Grande – MS; e-mail: [cepconep.propp@ufms.br](mailto:cepconep.propp@ufms.br); telefone: 67-33457187; atendimento ao público: 07:30-11:30 no período matutino e das 13:30 às 17:30 no período vespertino. O Comitê de Ética é a instância que tem por objetivo defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento

da pesquisa dentro de padrões éticos. Dessa forma, o comitê tem o papel de avaliar e monitorar o andamento do projeto de modo que a pesquisa respeite os princípios éticos de proteção aos direitos humanos, da dignidade, da autonomia, da não maleficência, da confidencialidade e da privacidade.

[ ] marque esta opção se você concorda que durante a participação nesta pesquisa da pessoa pela qual você é responsável seja realizada, permitindo a gravação de recursos de áudio, imagem, vídeo e respondendo questionários quando solicitado..

[ ] marque esta opção se você não concorda que durante a participação nesta pesquisa da pessoa pela qual você é responsável seja realizada, não permitindo a gravação de recursos de áudio, imagem, vídeo e respondendo questionários quando solicitado..

\_\_\_\_\_  
Nome e assinatura do pesquisador

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Local e data

\_\_\_\_\_  
Nome e assinatura do responsável pelo participante da pesquisa

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Local e data

Assinatura do(a) aluno(a): \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_\_

Assinatura da pesquisador: \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_\_

**ANEXO C**

**ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL  
SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO  
ESCOLA ESTADUAL CÍVICO-MILITAR MARÇAL DE SOUZA TUPÃ-Y**

**AUTORIZAÇÃO**

Eu, diretor(a) da Escola Estadual Cívico-Militar Marçal de Souza Tupã-Y, abaixo assinado(a), autorizo a realização da pesquisa “O ESTUDO DO GPS PARA O DOMÍNIO DO CAMPO CONCEITUAL DA TEORIA DA RELATIVIDADE” a ser conduzida pelo pesquisador Patrick Luiz Guevara Delgado, sob a orientação da Profa. Dra. Lisiane Barcellos Calheiro.

Declaro, também, que fui suficientemente informado(a) pelo pesquisador sobre as características e objetivos da pesquisa, bem como das atividades que serão realizadas na instituição a qual represento. Estou ciente de que a pesquisa será realizada no período de 13/03/2023 a 07/07/2023.

Campo Grande, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2023.

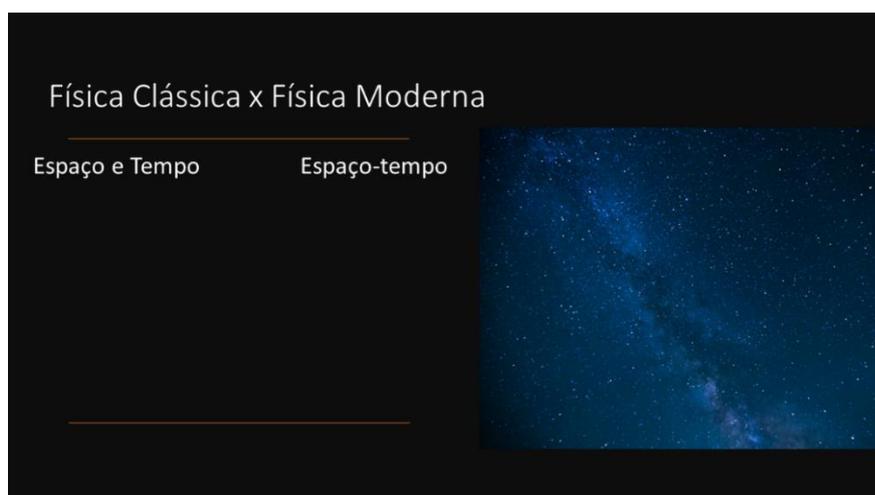
---

Assinatura

## ANEXO D



**Fonte:** <https://memt.com.br/sincronismo-de-horario-aplicado-nos-sistemas-de-medicao-de-energia/>. Acesso em 25/02/2023.



**Fonte:** Imagem gerada por IA do Power Point.



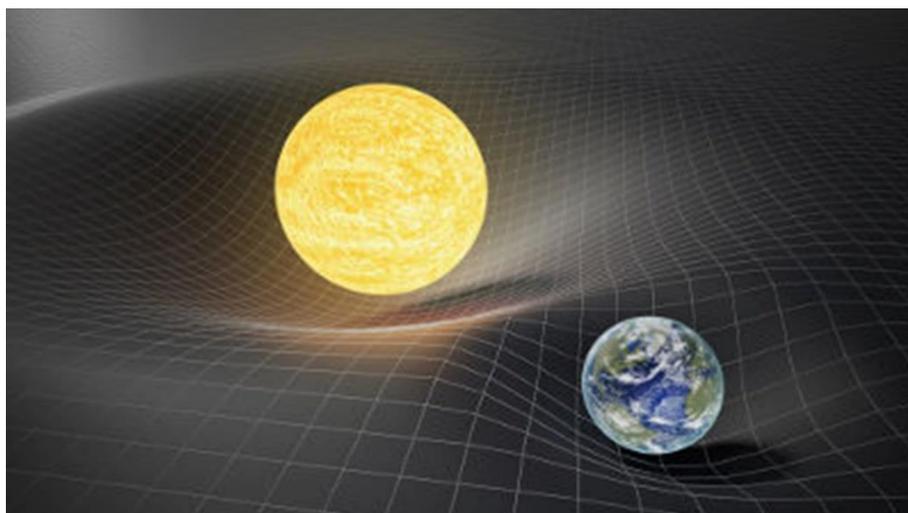
**Fonte:** <https://super.abril.com.br/especiais/o-misterio-dos-buracos-negros>. Acesso em 17/02/2023.



Fonte: <https://super.abril.com.br/especiais/o-misterio-dos-buracos-negros>. Acesso em 17/02/2023.



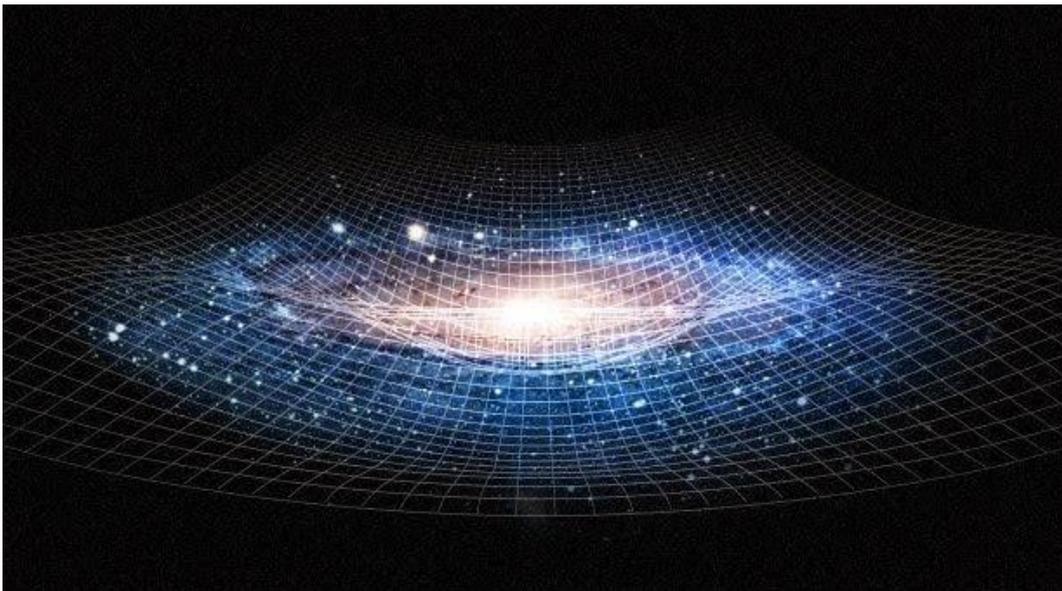
Fonte: <https://super.abril.com.br/especiais/o-misterio-dos-buracos-negros>. Acesso em 17/02/2023.



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/teoria-relatividade-geral.htm>. Acesso em 17/02/2023.



**Fonte:** <https://veja.abril.com.br/ciencia/astronomos-mudam-endereco-da-via-lactea-no-universo>. Acesso em 21/03/2023.



**Fonte:** <https://www.misteriosdouniverso.net/2015/05/o-que-e-na-verdade-o-espaco-interativo.html>. Acesso em 21/03/2023.

## Os postulados da Teoria da Relatividade Especial

**Todas as leis da natureza são as mesmas em todos os sistemas de referência que se movam com velocidade uniforme.**



Fonte: Imagem gerada pela IA do Power Point.

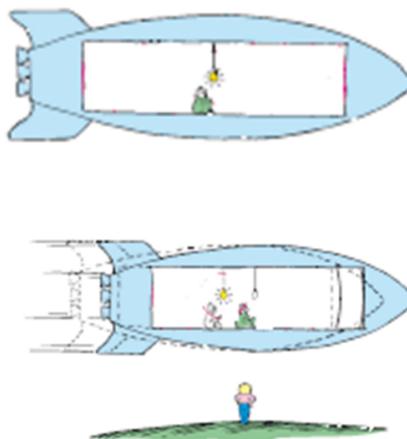


**A velocidade de propagação da luz é a mesma para todos os referenciais.**

Fonte: Imagem gerada pela IA do Power Point.

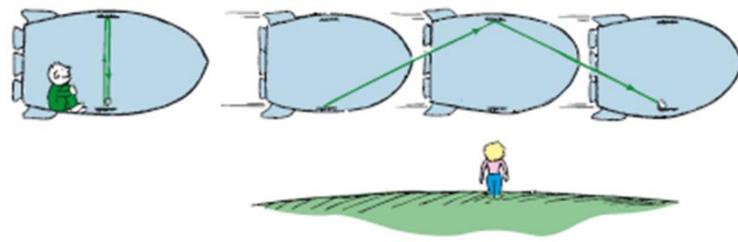
## Simultaniedade

**Dois eventos que são simultâneos em um sistema de referência não necessariamente devem ser simultâneos em um sistema que se move em relação ao primeiro.**



Fonte: HEWITT, 2015, p. 662.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12ª Edição. Porto Alegre. Bookman Editora

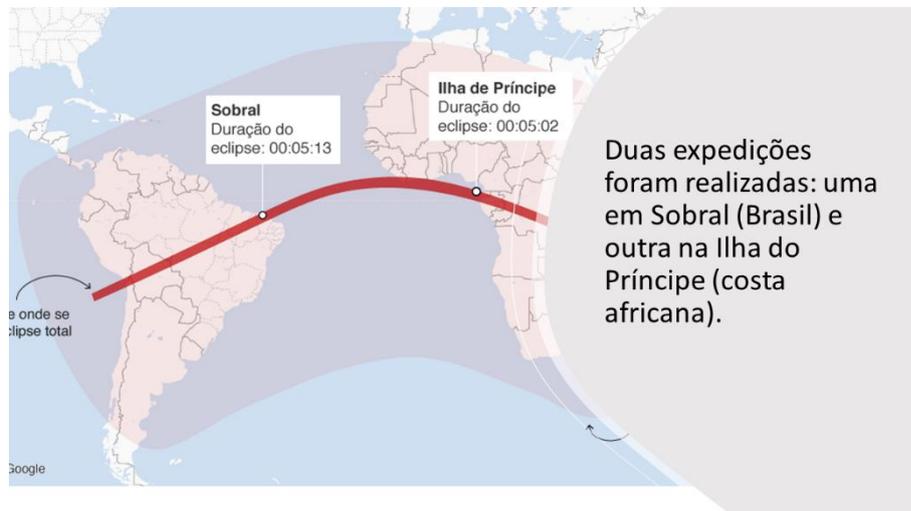


Fonte: HEWITT, 2015, p. 662.<sup>5</sup>

### A Confirmação da Teoria da Relatividade



Fonte:

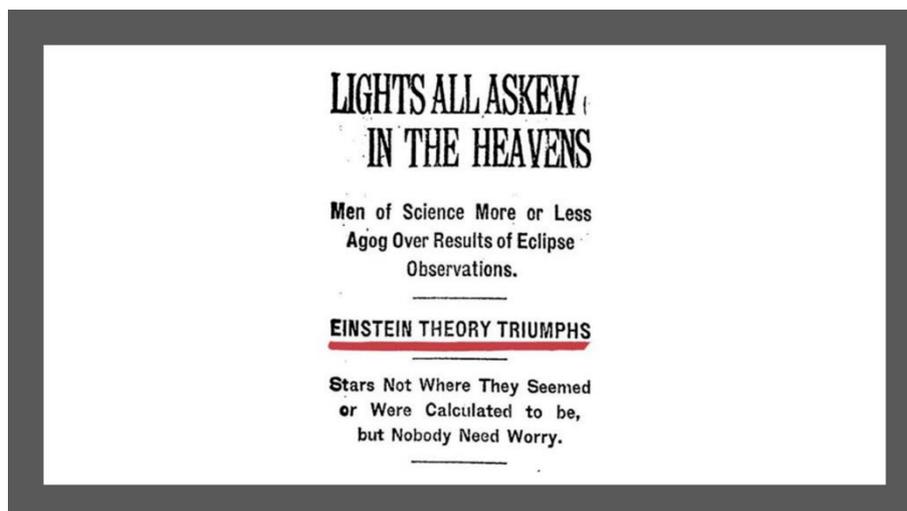


<sup>12</sup> HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12ª Edição. Porto Alegre. Bookman Editora

**Fonte:** <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-48296017>. Acesso em 13/02/2023.



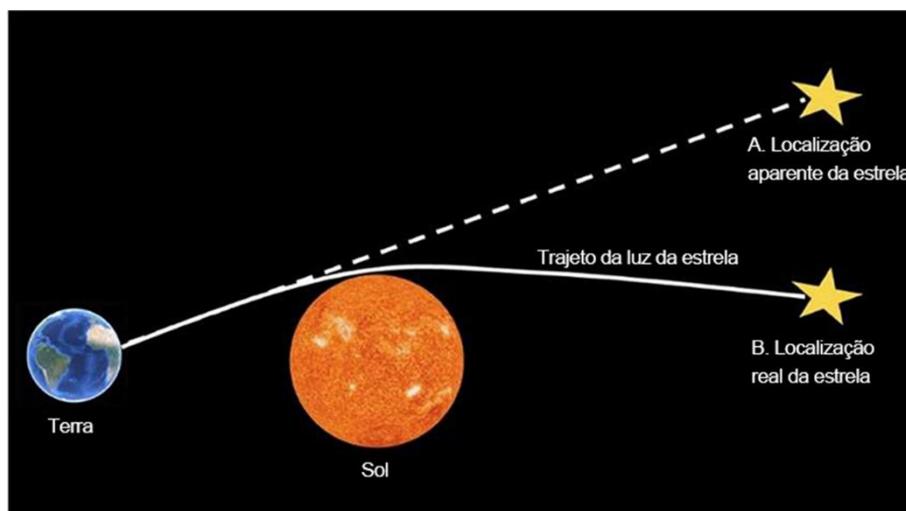
**Fonte:** <https://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2019/05/eclipse-de-sobral-ha-100-anos-evento-comprovava-teoria-de-einstein.html>. Acesso em 13/02/2023.



**Fonte:** <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-48296017>. Acesso em 13/02/2023.



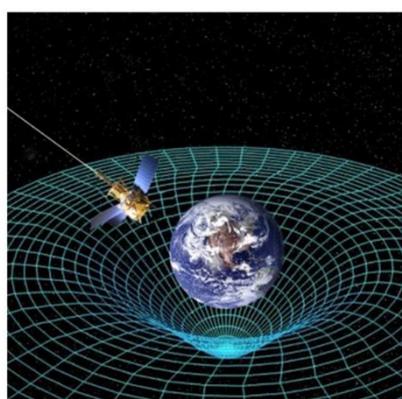
Fonte: <https://parajovens.unesp.br/o-eclipse-solar-que-validou-a-teoria-da-relatividade-de-einstein/#:~:text=Albert%20Einstein%20concluiu%20sua%20teoria,gravidade%20estabelecidos%20por%20Isaac%20Newton.> Acesso em 12/03/2023.



Fonte: <https://parajovens.unesp.br/o-eclipse-solar-que-validou-a-teoria-da-relatividade-de-einstein/#:~:text=Albert%20Einstein%20concluiu%20sua%20teoria,gravidade%20estabelecidos%20por%20Isaac%20Newton.> Acesso em 12/03/2023.

## Teoria da Relatividade Geral

- Observações realizadas em um sistema acelerado serão iguais aos que estão em um campo gravitacional.



Fonte: [https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=sonda-nasa-confirma-teoria-einstein-espaco-tempo&id=020175110505.](https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=sonda-nasa-confirma-teoria-einstein-espaco-tempo&id=020175110505) Acesso em 12/03/2023.

## Como o GPS é afetado pela Relatividade?



Dilatação Temporal: por conta do movimento do satélite em relação a superfície terrestre, o tempo passará diferente para os dispositivos em órbita.



Diferença de Potencial Gravitacional: por estarem localizados em uma altitude diferente da superfície terrestre, o tempo passará diferente para os satélites por conta da influência da gravidade

Fonte: Imagem gerada a partir da IA do Power Point.

## APÊNDICE A

1. Quais conclusões você pode tomar tendo apenas o sinal do satélite A?
2. Após ser adicionado o satélite B, e realizando a combinação do satélite A com o B, foi possível notar alguma diferença em relação a posição em que a pessoa se encontra? Explique suas conclusões.
3. O que você acredita que irá acontecer quando você tracejar o sinal do satélite C? Descreva suas conclusões em relação a posição em que a pessoa se encontra.
4. Em posse dos sinais do satélite A, B, C e D, o que é possível concluir em relação a posição da pessoa no mapa?
5. De que maneira seria possível ter uma precisão maior na localização do indivíduo? Explique utilizando o que você aprendeu na atividade.
6. Caso as suas linhas não se cruzem no mesmo local, explique o que poderia ter ocasionado isso?

## APÊNDICE B

1- O princípio da trilateração é um método matemático utilizado para determinar a posição de um objeto no espaço. Esse princípio é amplamente utilizado em sistemas de posicionamento global (GPS), onde são utilizados satélites para determinar a localização de um dispositivo. Uma empresa te solicita que você determine a localização de um objeto, porém ao invés de enviar as coordenadas, essa empresa te envia o mapa abaixo. Explique de que forma você determinaria a localização do objeto no mapa baseado no Princípio da Trilateração.



**Fonte:** Adaptado de <https://br.pinterest.com/pin/372461831689034903/>. Acesso em 15/01/2023.

2- O Princípio da Trilateração é capaz de determinar a localização de um objeto medindo a distância entre um objeto e três pontos de referência conhecidos. O mapa abaixo representa uma situação em que uma pessoa localizada na Terra recebe o sinal de somente dois satélites. Explique utilizando os seus conhecimentos sobre esse princípio para determinar em qual(is) estado (s) essa pessoa se encontra. Caso ocorra de não ser possível determinar um único ponto, explique o motivo disso acontecer.



**Fonte:** Adaptado de <https://www.infoescola.com/geografia/mapa-do-brasil/>. Acesso em 15/01/2023.

3- Em diversas cidades é comum encontrar empresas que alugam carros para as pessoas, tendo seu uso sendo tanto para passeio quanto para trabalho, como é o caso de Ubers. Esses carros

alugados possuem um localizador, sendo possível ao dono da empresa localizar o automóvel em caso de furtos. O gerente responsável pelo monitoramento desses automóveis deseja aumentar a precisão para localiza-lo, trazendo maior segurança para o locatário. De que forma seria possível melhorar a precisão no que diz respeito a localização desses carros? Explique baseado no que foi estudado sobre o Princípio da Trilateração.

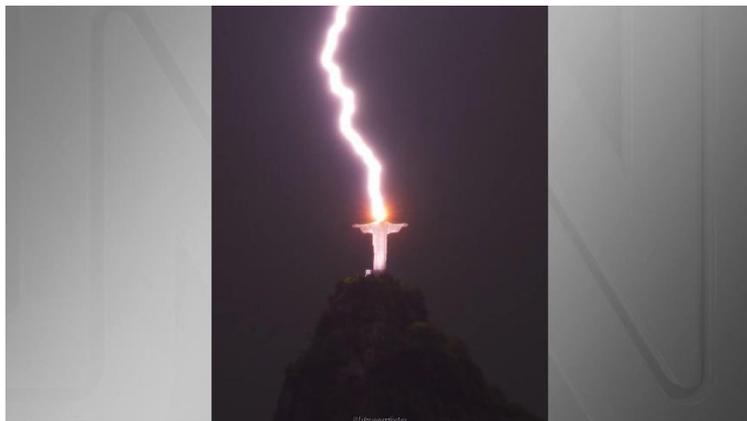
### APÊNDICE C

Link de acesso para os modelos utilizados na construção do relógio:  
<https://www.thingiverse.com/thing:4761858>, acessado às 18:36 de 08 de setembro de 2023.

Link de acesso para os códigos e pinagem utilizados na construção do relógio:  
<https://www.tinkercad.com/things/62G02wcFmoy>, acessado às 18:37 de 08 de setembro de 2023.

### APÊNDICE D

1. Imagine que você está na sua casa e observa um raio caindo. Após alguns segundos você ouve o barulho do trovão. Você nota que existe uma não-simultaniedade entre os dois eventos (ver e ouvir o fenômeno). A não-simultaniedade nesse caso tem relação com a simultaniedade explicada pela Teoria da Relatividade Especial? Explique.

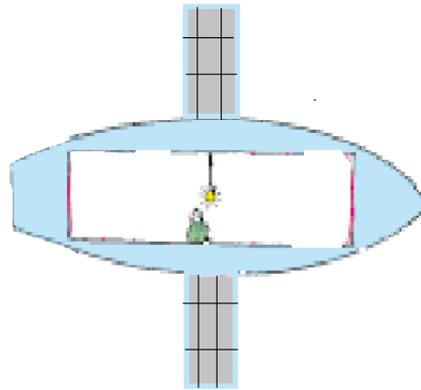


**Fonte:** <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/impressionante-cristo-redentor-e-atingido-por-raio-veja-imagens/>. Acesso em 12/03/2023.

2. Considere um satélite que orbita a Terra tendo um movimento relativo em relação ao planeta, sendo esse responsável por emitir ondas de rádio que operam para o funcionamento do GPS. Você está na superfície terrestre e possui um dispositivo

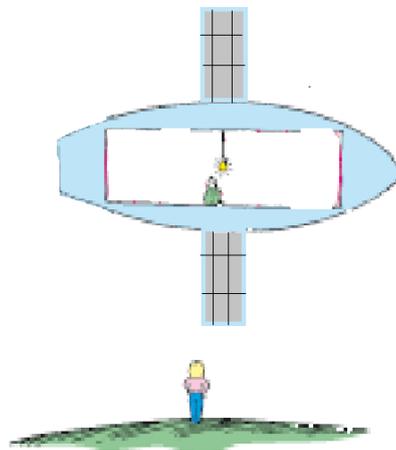
extremamente avançado capaz de detectar o movimento dessas ondas de rádio. Considere as seguintes situações:

- a) Um astronauta está realizando uma manutenção no satélite e verifica que o emissor de ondas de rádio fica exatamente no centro dele. Ao testar se está funcionando o dispositivo, ele liga o emissor do GPS. Quais conclusões o astronauta terá em relação ao tempo que levará para as ondas chegarem ao fundo do satélite e à frente da nave?



Fonte: HEWITT<sup>1</sup>, 2015, p. 662.

- b) A pessoa posicionada na superfície terrestre irá ter as mesmas conclusões? Explique.

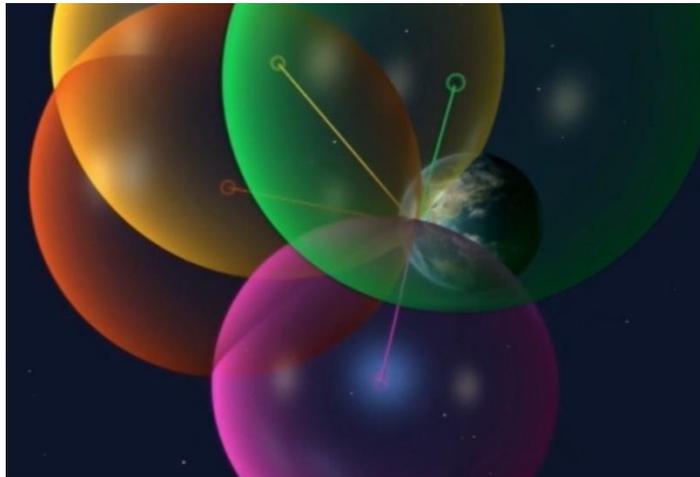


Fonte: HEWITT<sup>1</sup>, 2015, p. 662.<sup>13</sup>

3. O GPS é um dispositivo criado originalmente para uso militar em 1972 pelos norte-americanos, onde a sua criação tem fortes bases na Teoria da Relatividade proposta por Einstein. O Princípio da Trilateração afirma que conhecendo a distância até três pontos distintos, é possível determinar a localização de um corpo. Por sua vez, o GPS opera

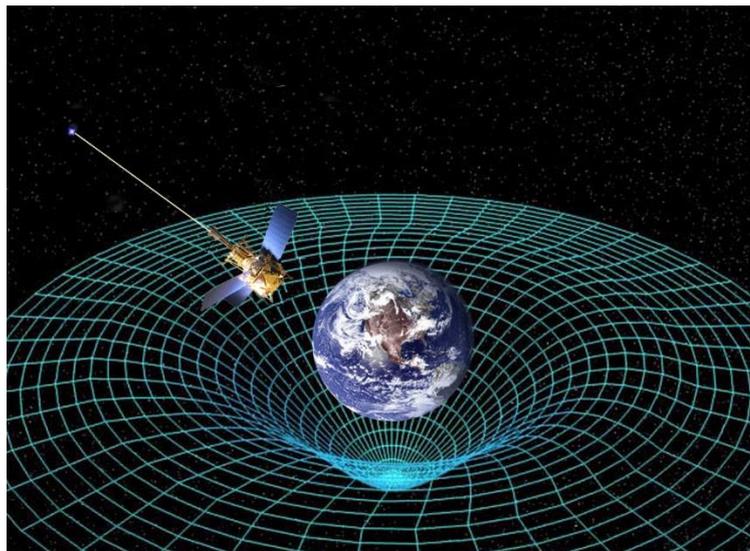
<sup>1</sup> HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12ª Edição. Porto Alegre. Bookman Editora

utilizando no mínimo quatro satélites em diferentes posições. Explique a necessidade de um quarto satélite para o funcionamento dessa tecnologia.



**Fonte:** <https://resources.perimeterinstitute.ca/products/everyday-einstein-gps-relativity?variant=29245855170638>. Acesso em 12/03/2023.

4. Os satélites GPS estão a uma altitude de aproximadamente 20.000 km, estando em um potencial gravitacional menor em relação a superfície terrestre. Cada dispositivo desse está equipado com um relógio atômico, capazes de medir o tempo com uma precisão extraordinária. Se ignorarmos os efeitos relativísticos, essa tecnologia exibiria uma imprecisão de até 10 km por dia nas rotas estabelecidas. Explique qual a importância de se levar em conta esses efeitos e como a altitude do satélite em relação a Terra afeta o tempo corrido.



**Fonte:** <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=sonda-nasa-confirma-teoria-einstein-espaco-tempo&id=020175110505>. Acesso em 12/03/2023

**APÊNDICE E – ARTIGO 1**

# A voz e a escolha do aluno para a construção de uma aprendizagem baseada em projetos

## Student voice and choice for building project-based learning

Patrick Luiz Guevara Delgado<sup>1\*</sup>, Lisiane Barcellos Calheiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós- Graduação Ensino em Ciências, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Cidade Universitária, Av. Costa e Silva - Pioneiros, MS, CEP 79070-900 – Campo Grande, MS, Brasil.

\*E-mail: [patrickguevara1996@gmail.com](mailto:patrickguevara1996@gmail.com)

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

### Resumo

Este artigo tem como objetivo apresentar uma das etapas de um itinerário formativo visando responder a seguinte questão: *Quais os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito do GPS e como o protagonismo deles pode guiar o desenvolvimento de uma ABP? A pesquisa foi realizada em uma escola pública de Mato Grosso do Sul, Brasil, no Ensino Médio, na disciplina Itinerário Formativo. Através da etapa a "Voz e Escolha do Aluno", buscamos identificar os conhecimentos prévios dos estudantes utilizando como método de coleta de dados o modelo SQP o qual, através de três questões, auxilia a entender onde os estudantes se encontram em relação a um conteúdo específico. O Quadro consiste na colocação de uma série de questionamentos a respeito de um determinado tópico, visto que ao identificar o que os alunos já sabem sobre uma temática, o grupo da ABP já estará trabalhando o conhecimento que foi adquirido. Para a análise dos resultados utilizamos o software Iramuteq, de forma a construir um grafo da árvore máxima de similitude. Os grafos gerados a partir das questões puderam orientar quais procedimentos serão tomados desse ponto em diante, além de deixar claro as expectativas dos estudantes perante o que será desenvolvido bem como os conhecimentos prévios acerca da temática proposta.*

**Palavras - chave:** Aprendizagem baseada em projetos; Itinerário formativo; GPS; Teoria da relatividade-

### Abstract

This article aims to present one of the stages of a training itinerary in order to answer the following question: *What is the students' previous knowledge about GPS and how their protagonism can guide the development of a PBL? The research was carried out in a public school in Mato Grosso do Sul, Brazil, in High School, in the course Formative Itinerary. Through the "Student's Voice and Choice" step, we seek to identify the students' prior knowledge using the SQP model as a data collection method, which, through three questions, helps to understand where students are in relation to specific content. The Framework consists of placing a series of questions about a particular topic, since when identifying or what students already know about a theme, the PBL group will already be in the knowledge activity that was acquired. For the analysis of the results, we used the Iramuteq software, in order to construct a graph of the maximum similarity tree. The graphs generated from the questions were able to guide which procedures will be taken from that point on, in addition to making clear the students' expectations regarding what will be developed as well as previous knowledge about the proposed theme.*

**Keywords:** Project-based learning; Training itinerary; GPS; Theory of relativity.

## I. INTRODUÇÃO

No decorrer das últimas décadas, diversos pesquisadores têm contribuído para a inserção do Ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na Educação Básica. Conforme afirma Dominguíni (2012), os debates e propostas a respeito da inserção desses conteúdos vêm se acentuando. Vivemos em uma sociedade que está imersa no mundo tecnológico, porém quase nada se sabe a respeito do funcionamento dessas tecnologias (Pessanha e Pietrocola, 2016).

Estudos que evidenciam a necessidade de inserir uma Física atual e contextualizada na grade curricular não são uma novidade. Vindo ao encontro desses estudos, o Currículo de Referência de Mato Grosso do Sul (MS) traz uma abordagem que permite aos estudantes um maior contato com tópicos de FMC, propiciando a integração da teoria com a prática. O documento oficial citado tem como objetivo estabelecer os referenciais curriculares necessários para a elaboração de Itinerários Formativos (IF), destacando que:

*O Novo Ensino Médio pretende atender às necessidades e expectativas dos estudantes, fortalecendo seu interesse, engajamento e protagonismo, visando garantir sua permanência e aprendizagem na escola. Também busca assegurar o desenvolvimento de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores capazes de formar as novas gerações para lidar com desafios pessoais, profissionais, sociais, culturais e ambientais do presente e do futuro, considerando a intensidade e velocidade das transformações que marcam as sociedades na contemporaneidade. (Brasil, 2018b, p. 1)*

Os IFs devem contemplar uma carga horária de 1200 horas de forma que proporcione ao estudante o aprofundamento em uma determinada área do conhecimento através de atividades realizadas em sala de aula (Brasil, 2018b). De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018a), os IFs deverão estar organizados em áreas do conhecimento, sendo elas: Linguagens e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Ciências Humanas e suas Tecnologias e Formação Técnico Profissional. A organização e construção dos IFs deverão contemplar quatro eixos estruturantes: Investigação Científica, Processos Criativos, Mediação e Intervenção Sociocultural e Empreendedorismo.

Neste artigo apresentamos uma das etapas de um projeto desenvolvido em um IF, na área do conhecimento de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, fazendo uso do método científico para promover a busca por respostas para os fenômenos da natureza mediante observação e questionamentos (Mato Grosso do Sul, 2021). O Currículo de Referência do MS permite a implementação de diversos projetos direcionados ao ensino da Física Moderna e Contemporânea de maneira contextualizada, permitindo ao aluno se aprofundar em uma área do conhecimento que tenha maior interesse.

Pensando em contemplar esses referenciais estabelecidos pelo novo currículo e criando um ambiente em sala de aula que promova o protagonismo do aluno, agregando maior significado naquilo que se ensina, elaboramos um projeto utilizando a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) como metodologia didática de um IF voltado para o estudo da Relatividade, a partir de atividades relacionadas ao estudo do Sistema de Posicionamento Global (GPS) em um contexto de Ensino Médio. Para Souza e Dourado (2015), a ABP é uma metodologia centrada na aprendizagem dos estudantes “que tem por base a investigação para a resolução de problemas e que envolve os conhecimentos prévios dos alunos”.

Este trabalho tem como foco a etapa Voz e Escolha do Aluno de forma a colocar o estudante no centro de seu processo de aprendizagem, dando maior autonomia ao participante dentro do projeto intitulado “O Uso do Arduino como Recurso Didático na Construção do Campo Conceitual da Teoria da Relatividade”.

Assim apresentamos os resultados dessa etapa e buscamos responder a seguinte questão: *quais os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito do GPS e como o protagonismo do estudante pode guiar o desenvolvimento de uma ABP?*

## II. APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS

Os estudantes não mais se comportam como meros depósitos de conhecimentos, e tratá-los dessa forma apenas dificulta o processo de ensino, visto que a acumulação de conteúdos não traz significado para os alunos, tornando as aulas maçantes e exaustivas. Do mesmo modo que os alunos anseiam por aulas com metodologias diferenciadas, os professores também se sentem angustiados diante da evolução tecnológica e das mudanças comportamentais presentes no âmbito escolar (Martinazzo, Trentin, Ferrari e Piala, 2014).

Segundo Pasqueletto, Veit e Araujo (2017) metodologias que coloquem a escola em consonância com as necessidades da sociedade são indispensáveis. Pensando então em um contexto de metodologias ativas, que proporcionem ao aluno estar no centro do processo educativo, a ABP vem se mostrando um formato empolgante e inovador, proporcionando aos alunos trabalharem com tarefas do mundo real, podendo até mesmo trazer contribuições para sua comunidade (Bender, 2014).

Dentro do contexto escolar é comum encontrar alunos desmotivados ou desinteressados naquilo que o professor está lecionando. Portanto, buscar estratégias para motivar esses estudantes, cativando a sua curiosidade e empenho nas atividades de sala de aula é de extrema importância. Bender (2014) define a ABP como sendo "projetos autênticos e realistas, baseados em uma questão, tarefa ou problema altamente motivador e envolvente, para ensinar conteúdos acadêmicos aos alunos no contexto do trabalho cooperativo para a resolução de problemas".

Para muitas pessoas falar de "física" é algo que traz consigo diversas lembranças de experiências negativas, por conta da sua complexidade ou mesmo pela falta de afinidade com a área do conhecimento. O primeiro contato formal dos estudantes com a disciplina Física costuma ser no Ensino Médio, tornando esse momento fundamental para apresentar e trabalhar a disciplina de maneira que seja mais atraente aos olhos de quem aprende. Desse modo desenvolver e cativar os alunos a investigar o objeto de estudo deve auxiliar no processo de aprendizagem.

A ABP vem justamente ao encontro disso, uma vez que define a motivação do aluno como ponto importante para o processo, buscando proporcionar ao indivíduo o poder de escolha no seu processo educacional. Bender (2014) destaca que:

*[...] Quando os alunos escolhem realizar uma experiência de aprendizagem dessa natureza, é muito mais provável que eles participem ativamente de todas as fases do processo de aprendizagem se tiverem um poder de escolha considerável sobre quais questões serão abordadas e quais atividades serão realizadas. Além disso, quando os alunos veem que estão tratando de um problema do mundo real e procurando por uma solução real, eles ficam ainda mais motivados. (Bender, 2014, p. 45)*

Nas diretrizes da ABP, a construção da aprendizagem só irá acontecer caso o aluno seja um elemento ativo; a sua motivação deve ser de maneira intrínseca, não extrínseca. Isso significa que o projeto será bem-sucedido mediante aquilo que o aluno de fato fizer, e não algo que o professor apenas demonstre ou faça por ele (Masson, Miranda, Munhoz Junior e Castanheira, 2012). Nesse contexto o professor assumirá um papel de problematizador/mediador, tendo como função motivar o aluno, despertando a curiosidade e o desejo pelo objeto do conhecimento, enquanto o aluno possui um papel de agente, estando ele no centro do seu processo de aprendizagem.

Um dos desafios para se abordar esse método de aprendizagem é sobre como implementá-lo dentro do currículo. Bender (2014) afirma que ao implementar o projeto, o professor deve se questionar qual será o foco: utilizar a ABP como um suplemento para uma ou mais unidades de ensino ou utilizar como substituto para o ensino tradicional que é baseado em unidades? A ABP pode estar vinculada a diversas unidades de ensino em uma instituição, por exemplo, o professor de Biologia pode trabalhar durante o projeto os conceitos envolvidos no processo da fotossíntese enquanto o professor de Química trabalha os conceitos pertinentes a sua área do conhecimento relacionados ao processo de produção de energia das plantas.

Para a elaboração do processo não existe um passo a passo a se seguir ou lista de critérios a serem cumpridas. Porém, existem alguns aspectos comuns nas obras dos estudiosos dessa área que ajudam a orientar o planejamento, conforme apresentado no quadro I.

QUADRO I – Características essenciais da ABP de acordo com Bender (2014, p.16-17).

<b>Âncora</b>	Introdução e informações básicas para preparar o terreno e gerar o interesse dos alunos.
<b>Trabalho em equipe cooperativo</b>	É crucial para as experiências da ABP, enfatizado por todos os proponentes da ABP como forma de tornar as experiências de aprendizagem mais autênticas.
<b>Questão motriz</b>	Deve chamar a atenção dos alunos, bem como focar seus esforços.
<b>Feedback e revisão</b>	A assistência estruturada deve ser rotineiramente proporcionada pelo professor ou no interior do processo de ensino cooperativo. O feedback pode ser baseado nas avaliações do professor ou dos colegas.
<b>Investigação e inovação</b>	Dentro da questão motriz abrangente, o grupo precisará gerar questões adicionais focadas mais especificamente nas tarefas do projeto.
<b>Oportunidades e reflexão</b>	Criar oportunidades para a reflexão dos alunos dentro de vários projetos é aspecto enfatizado por todos os proponentes da ABP.
<b>Processo de investigação</b>	Pode-se usar diretrizes para a conclusão do projeto e geração de artefatos para estruturar o projeto. O grupo também pode desenvolver linhas de tempo e metas específicas para a conclusão de aspectos do projeto.
<b>Resultados apresentados publicamente</b>	Os projetos de ABP pretendem ser exemplos autênticos dos tipos de problemas que os alunos enfrentam no mundo real, de modo que algum tipo de apresentação pública dos resultados do projeto é fundamental dentro da ABP.
<b>Voz e escolha do aluno</b>	Os alunos devem ter voz em relação a alguns aspectos de como o projeto pode ser realizado, além de serem encorajados a fazer escolhas ao longo de sua execução.

Conforme discutido anteriormente, é essencial para o sucesso do projeto proposto a participação do aluno, dando a ele a oportunidade de ter uma voz ativa dentro do projeto. Portanto, a pesquisa tem o seu foco na característica da "Voz e escolha do aluno", buscando colocar o aprendiz como um agente do seu processo de aprendizagem, atingindo melhores resultados ao final da ABP, aumentando o seu interesse e comprometimento com as atividades propostas ao longo da execução do planejamento.

O momento e de que forma possibilitar as escolhas do aluno deverão ser decisões a serem tomadas pelo professor, podendo o professor permitir aos alunos se envolverem na elaboração da questão motriz ou mesmo após a questão já ter sido estabelecida. Em caso posterior, os estudantes podem ter participação ao realizarem um *brainstorming* para a implementação do projeto ou mesmo para o desenvolvimento do Artefato que eles deverão produzir ao final do projeto (Bender, 2014). As possibilidades para trabalhar esse aspecto são inúmeras, permitindo ao regente explorar a sua imaginação, se baseando até mesmo em outros projetos já executados, que podem ser encontrados na plataforma online Edutopia, a qual contempla um vasto material a respeito da ABP.

Analisando o contexto do cotidiano do aluno e buscando trazer o uso de tecnologias para sala de aula, de modo a promover um maior interesse no conteúdo que se estuda, o projeto que este artigo propõe será trabalhado após a questão motriz já ter sido definida previamente pelo educador: *como o Sistema de Posicionamento Global ou GPS (Global Positioning System) funciona e como ele é capaz de localizar um objeto na Terra? Para responder esta questão será trabalhada a Teoria da Relatividade, uma vez que esta responde as questões que envolvem os efeitos da dilatação temporal sofrida pelos satélites em órbita.*

#### A. GPS e a Teoria da Relatividade

A Teoria da Relatividade foi proposta em 1905 pelo Físico teórico Albert Einstein, sendo essa um dos pilares da Física Moderna junto à Mecânica Quântica. Os estudos publicados por Einstein trouxeram diversas mudanças na compreensão de mundo, proporcionando a criação de novas tecnologias que vieram para facilitar a vida das pessoas.

Com o avanço da Internet e dos telefones móveis na vida das pessoas, o GPS se tornou algo presente no dia a dia da humanidade, seja para procurar a melhor rota para ir ao trabalho ou mesmo para monitorar a que distância se encontra o motorista de um aplicativo de viagens. Apesar do uso constante dessa tecnologia, é difícil encontrar uma pessoa que saiba como funciona o GPS.

De modo geral, se for possível determinar a distância de um corpo até outros três pontos, a localização pode ser triangulada para um único ponto através do Princípio da Trilateração, utilizando circunferências para determinar a posição do objeto. Do contrário, caso se tenha apenas dois pontos, terão dois possíveis locais em que o corpo pode se encontrar, conforme mostrado na figura 1. Por sua vez, a figura 2 apresenta o Princípio da Trilateração a partir de três circunferências, sendo o resultado um ponto no plano.



FIGURA 1. Os pontos P e P' indicam as possíveis localizações.

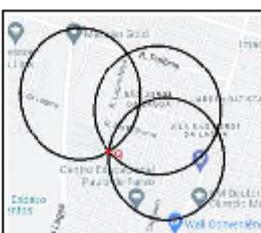


FIGURA 2. O ponto Q indica o local em que se encontra o objeto.

O receptor do GPS utiliza o mesmo princípio para determinar a posição de um corpo no planeta. Suponha que em um dado instante de tempo  $t$  o receptor receba o sinal de três satélites distintos. Os raios encontrados pelos satélites serão correspondentes a uma superfície esférica. Considerando que a Terra seja um quarto corpo esférico, essas quatro esferas irão se interceptar em um único ponto, sendo esse a localização do objeto no planeta, como apresentado na figura 3.

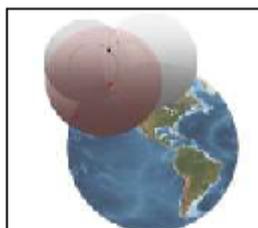


FIGURA 3. Interseção de quatro superfícies esféricas. Fonte: Lima (2013).

Por se tratar de uma velocidade extremamente alta o tempo deve ser medido com uma alta precisão, onde um microssegundo de erro corresponde a um erro de 300 metros de distância (Huerta, Galles, Greco e Mangieterra, 2008). No interior de cada satélite existe um relógio atômico, visto que, o receptor e o emissor do sinal se encontram em pontos diferentes do campo gravitacional terrestre, sendo necessário levar em conta as propriedades relativísticas, fazendo com que os relógios atômicos se atrasem em relação aos que se encontram em um ponto diferente do campo gravitacional, conforme previsto pela Teoria da Relatividade.

Para esse trabalho, buscamos mobilizar conhecimentos prévios e conhecimentos científicos presentes na estrutura cognitiva dos estudantes, a partir do modelo de SQP (Saber-Querer-Precisar), desenvolvido originalmente por Ogle (1986), o qual através de três questões auxilia a entender onde os estudantes se encontram em relação a um conteúdo específico.

### III. METODOLOGIA

A presente pesquisa, de abordagem qualitativa, foi realizada em uma escola estadual de MS com um grupo de 27 alunos na faixa etária de 15 anos a 18 anos, que estavam matriculados nas aulas do Itinerário Formativo da Unidade Curricular Bloco II – Eletiva com estudantes do 1º, 2º e 3º ano do Ensino Médio. No total, a turma contava com 30 alunos, porém 3 alunos recusaram participar da pesquisa. Esses três estudantes desenvolveram as atividades com a turma, porém os seus dados não foram utilizados para análise. De forma a determinar quais são os conhecimentos prévios dos estudantes e visualizar as expectativas deles para como o projeto será desenvolvido, foi solicitado aos participantes que registrassem suas respostas a partir do modelo de SQP (Quadro II) de forma individual.

Determinar em que ponto os alunos se encontram em relação a um determinado conteúdo é muito a um professor antes dar início a um projeto. O método apresentado no Quadro II envolve a colocação de um quadro em branco com uma série de questionamentos a respeito dos conhecimentos do aluno perante uma problemática. Bender (2014) afirma que “ao identificar o que os alunos já sabem sobre um tópico, o grupo de ABP estará ativando o conhecimento adquirido”.

Ao definir o tópico ou elaborar o projeto, o pesquisador deve ficar atento ao grau de complexidade daquilo que será trabalhado, quanto mais complexo foi, maior a probabilidade de alguns itens ou pontos importantes não se encaixarem dentro das perguntas, portanto, o Quadro SQP deve ser usada de maneira crítica e objetiva durante o projeto (Bender, 2014).

As questões podem vir acompanhadas de uma breve discussão ou mesmo um brainstorming, ficando a critério da pessoa que elabora o projeto. Uma sugestão interessante é que, ao final do projeto, trabalhar novamente o Quadro adicionando a questão “O que eu aprendi?”, permitindo que os próprios estudantes possam enxergar se houve, ou não, uma evolução conceitual durante o processo.

Quadro II – Quadro SQP de acordo com Bender (2014) desenvolvido por Ogle (1986).

SABER	QUERER	PRECISAR
O que eu sei?	O que eu quero saber?	O que eu preciso saber?

De forma a obter as respostas de maneira mais clara possível, o pesquisador realizou pequenas discussões sobre cada uma das questões a serem respondidas. As respostas deveriam seguir a temática proposta no projeto. Portanto, as respostas deveriam ser sobre "O que eu sei, o que eu quero saber e o que eu preciso saber sobre o GPS?".

Com o objetivo de manter o sigilo na identificação dos participantes, os seus respectivos nomes foram alterados para Aluno 1, Aluno 2 e assim por diante.

Para a análise dos dados coletados, ou seja, as respostas às questões aplicadas, foi utilizado o programa Iramuteq. Este propicia diferentes tipos de análises: estatísticas textuais, classificação hierárquica descendente, análises de similitude e nuvem de palavras.

*O Iramuteq é um software de análise textual, que funciona ancorado ao programa estatístico R e gera dados, a partir de textos (corpora textuais) e tabelas. Os resultados dessas análises demonstram a posição e a estrutura das palavras em um texto, ligações e outras características textuais, que permitem detectar indicadores e, assim, visualizar intuitivamente a estrutura e ambientes do texto a ser analisado. (Klant, dos Santos, 2021, p. 2)*

O software é capaz de agregar muito valor ao que diz respeito à análise de conteúdo, porém ele por si não realiza a tarefa de apresentar e discutir os dados, cabendo esse momento ao pesquisador (Klant, dos Santos, 2021).

Neste trabalho utilizamos a análise de similitude, a qual utiliza a teoria dos grafos que possibilita verificar o grau de conexão entre as palavras. Para o corpus textual, foram criados códigos para cada pergunta apresentada no Quadro II, onde a variável "nome do aluno" foi substituída por um número, de modo a garantir a privacidade do participante. Nas respostas foram corrigidos possíveis erros de gramática; por exemplo, onde se lia "referensia" corrigiu-se para "referência". Palavras que fazem uso da letra "ç" foram substituídas por "c" e as que possuem conexão como "teoria da relatividade" foram alteradas para "teoria\_da\_relatividade", de modo a facilitar a leitura do software.

#### IV. RESULTADOS

Apresentamos, a seguir, os resultados da análise das respostas transcritas das questões aplicadas (quadro II). Para a questão "o que eu sei" apresentamos na figura 5 o grafo da árvore máxima de similitude por cocorrência, que permite visualizar as relações entre as palavras apresentadas pelos estudantes ao responder a questão.

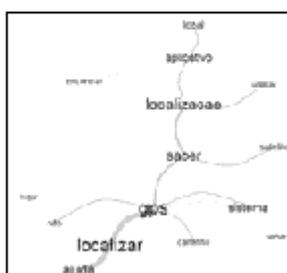


FIGURA 5. Grafo gerado a partir do software Iramuteq correspondente à questão "O que eu sei".

Pela análise do grafo foi possível evidenciar que os estudantes possuem um conhecimento prévio de que o GPS é um recurso utilizado para localização. Na parte inferior, observam-se linhas mais finas, indicando uma menor recorrência ao relacionar o aplicativo com satélites, sendo esse uma das bases de seu funcionamento. De maneira geral, as respostas apresentadas demonstram que os participantes do projeto possuem um conhecimento básico a respeito da tecnologia utilizada para localização.

Para verificar se o grafo gerado estava de acordo com as respostas obtidas, foi realizada uma comparação entre o que foi obtido pelo software com o que foi escrito pelos estudantes. Abaixo apresentamos a transcrição das respostas de participantes distintos que responderam a questão "O que eu sei".

*"Aluno 1: O GPS é um dispositivo de localização.; Aluno 2: O GPS nos ajuda a localizar, não se perder.;" Aluno 10: "Aplicativo usado para localizar cidades, ruas, locais [...]."; Aluno 15: "É um sistema de localização que emite sinais de satélites"; Aluno 20: "[...] que serve para te ajudar a se localizar ou localizar alguém". (grifo nosso)*

Por sua vez, a figura 6 contempla o grafo da questão "O que eu quero saber?" sobre GPS ao decorrer da ABP.



FIGURA 6. Grafo gerado a partir do software Iramuteq correspondente à questão "O que eu quero saber".

A análise realizada permite uma orientação para quais atividades serão desenvolvidas ao longo do Itinerário Formativo. O grafo mostra que existe uma ocorrência maior em querer saber como funciona e como o GPS faz para localizar algo, enquanto uma pequena parcela tem interesse em saber como a Teoria da Relatividade se relaciona com o sistema de localização. Ou seja, as ações promovidas terão como foco o funcionamento da tecnologia e consequentemente as suas implicações com a Teoria da Relatividade.

Novamente, para critérios de comparação, apresentamos cinco respostas que foram escritas por alunos distintos para a pergunta "O que eu quero saber".

Aluno 1: "Como funciona a localização do GPS.; Aluno 2: Como a Teoria da Relatividade funciona e como o GPS nos localiza." Aluno 17: "Como eles sabem a onde estamos.;" Aluno 12: "Quero saber se o GPS funciona [...]."; Aluno 5: "Como funciona a tecnologia do GPS". (grifo nosso)

Por fim, a figura 7 apresenta quais conhecimentos os estudantes acreditam que precisam saber para compreender o GPS.



FIGURA 7. Grafo gerado a partir do software Iramuteq correspondente à questão "O que eu preciso saber".

A análise permite inferir que para os estudantes entenderem o GPS serão necessários conhecimentos de Geografia, Teoria da Relatividade e como funciona o dispositivo, deixando as disciplinas de Física e Matemática com uma menor coocorrência, o que de certa forma é contraditório, visto que a Teoria da Relatividade está dentro do Campo Conceitual da Física, evidenciando uma possível desassociação entre a disciplina e o conteúdo.

Comparando o grafo obtido para a questão "O que eu preciso saber", é possível notar novamente uma coerência entre o que foi obtido pelo programa e as respostas obtidas pelos estudantes, como apresentado abaixo.

Aluno 1: "Geografia, tradutor, matemática.;" Aluno 2: "Como funciona a Teoria da Relatividade, precisamos saber geografia, física, matemática.;" Aluno 22: "Preciso saber mais da geografia[...]."; Aluno 12: "O que é a Teoria da Relatividade." Aluno 27: "Como GPS é calculado em diversas localidades com o apoio da geografia". (Grifo nosso)

As questões "O que eu sei e O que eu preciso saber" tiveram o objetivo de determinar quais conhecimentos prévios o aluno tinha a respeito da temática proposta e quais conteúdos disciplinares ele acredita que precisa compreender para o funcionamento do GPS. Por sua vez, a pergunta "O que eu quero saber?" possibilitou ao aluno revelar quais são os objetos do conhecimento que ele gostaria de trabalhar ao longo do projeto, dando maior motivação ao seu desempenho, conforme discutido anteriormente, trazendo dessa forma uma boa orientação para as ações que serão executadas ao longo da ABP.

## V. CONCLUSÃO

Na busca por novas metodologias que atendam aos interesses dos estudantes e que ao mesmo tempo atenda as expectativas do Novo Ensino Médio, a Aprendizagem Baseada em Projetos se apresenta como uma abordagem contemporânea que possibilita liberdade aos professores de trabalharem os objetos de conhecimento, ao mesmo tempo que permite ao aluno expor as suas expectativas diante do que se irá aprender.

Para a presente pesquisa, a questão motriz foi escolhida previamente pelo professor pesquisador, porém nada impede que o professor delimite o que será trabalhado com os alunos antes mesmo de começar a elaborar a ABP. Possibilitar ao estudante participar de seu processo de aprendizagem, colocando-o como protagonista dentro do âmbito escolar, tem como resultado uma maior motivação por parte deles e conseqüentemente um melhor rendimento escolar.

Os grafos gerados a partir das questões puderam orientar quais procedimentos serão tomados desse ponto em diante, além de deixar claro os anseios dos alunos perante o que será desenvolvido. Por fim, acreditamos que diversas questões poderão surgir ao longo do projeto, além das que inicialmente emergiram neste trabalho. Nesse sentido, organizar um primeiro olhar para os conhecimentos prévios sobre o tema que efetivamente será trabalhado será de grande importância para orientar as ações a serem planejadas.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul -UFMS e com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

## REFERÊNCIAS

- Bender, W. N. (2014). *Aprendizagem Baseada em Projetos: Educação Diferenciada para o Século XXI*. Porto Alegre: Penso.
- Brasil. Portaria n.º 1432, de 28 de dezembro de 2018b. Estabelece os referenciais para elaboração dos itinerários formativos conforme preveem as Diretrizes Nacionais do Ensino Médio. Diário Oficial da União. Edição 66, Seção 1, Pg. 94.
- Dominguini, L. (2012). Física moderna no Ensino Médio: com a palavra aos autores dos livros didáticos do PNLEM. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(2), 2502.
- Huerta, E.; Galles, C.; Greco, A.; Mangieterra, A. (2008). El GPS y la Teoría de la Relatividad. *Revista de Enseñanza de la Física* 21(1), 59-70.
- Klant, L. M., & dos Santos, V. S. (2021). O uso do software Iramuteq na análise de conteúdo-estudo comparativo entre os trabalhos de conclusão de curso do ProFEPT e os referenciais do programa. *Research, Society and Development*, 10(4), e8210413786-e8210413786.
- Lima, D. D. (2013). *Desvendando a Matemática do GPS*. Recuperado de <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/6507>.
- Martinazzo, C. A.; Trentin, D. S.; Ferrari, D.; Piali, M. M. (2014). Arduino: Uma tecnologia no ensino de física. *Revista Perspectiva*, 38, 143.
- Masson, T. J.; Miranda, L. F. de.; Munhoz Junior, A. H.; Castanheira, A. M. P. (2012). *Metodologia de ensino: aprendizagem baseada em projetos (pbl)*. In: Anais do XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Belém, PA, Brasil.
- Mato Grosso do Sul. (2021). *Currículo de Referências: SED/Secretaria Estadual de Educação de Mato Grosso do Sul*.
- Mato Grosso do Sul. (2022). *Roteiro Prático das Eletivas: Ensino Médio em Tempo Integral*. SED/Secretaria Estadual de Educação de Mato Grosso do Sul.
- Ogle, D. M. (1986). *KWL: A teaching model that develops active reading of expository text.* The reading teacher 39.6: 564-570.

Pasqueletto, T. I.; Veit, E. A.; Araujo, I. S. (2017). Aprendizagem baseada em projetos no Ensino de Física: uma revisão da literatura. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 551-577.

Pessanha, M.; Pietrocola, M. (2016). O ensino de estrutura da matéria e aceleradores de partículas: uma pesquisa baseada em design. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 16(2), 361-388.

Rezende Junior, M. F.; Cruz, F. F. S. (2009). Física moderna e contemporânea na formação de licenciandos em física: necessidades, conflitos e perspectivas. *Ciência & Educação (Bauru)*, 15(2).

Souza, S. & Dourado, L. (2015). Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. *Holos*, 31(5) 182-200.

**APÊNDICE F – ARTIGO 2**



## A PLATAFORMA ARDUINO E SEU POTENCIAL COMO FERRAMENTA DE EXPLICITAÇÃO DE INVARIANTES OPERATÓRIOS RELACIONADOS AOS CONCEITOS DE VELOCIDADE E ACELERAÇÃO

*THE ARDUINO PLATFORM AND ITS POTENTIAL AS A TOOL FOR EXPLAINING  
OPERATIONAL INVARIANTS RELATED TO THE CONCEPTS OF SPEED AND  
ACCELERATION*

Patrick Luiz Guevara Delgado<sup>1</sup>  
Lisiane Barcellos Calheiro<sup>2</sup>

### Resumo

A sociedade está imersa, cada vez mais, em um mundo no qual as tecnologias estão presentes em nosso dia a dia, de forma que os recursos tecnológicos não ficam de fora do contexto escolar. Neste artigo apresentamos, como produto educacional, uma montagem experimental utilizando a plataforma Arduino para introduzir os conceitos de velocidade e aceleração. A pesquisa foi implementada em uma turma de 3º ano do ensino médio de uma escola pública estadual. Utilizamos, como referencial metodológico, a Aprendizagem Baseada em Projetos, visando desenvolver e estimular o uso de ferramentas tecnológicas no contexto escolar. Para análise dos resultados utilizamos a Teoria dos Campos Conceituais buscando responder a seguinte questão de pesquisa: Quais invariantes operatórios sobre velocidade e aceleração podem ser mobilizados a partir de situações-problema tendo o Arduino como um produto educacional? O uso do dispositivo em sala de aula permitiu não apenas demonstrar e visualizar o movimento executado durante a ação, mas também realizar análise de gráficos, tornando a aula lúdica e ao mesmo tempo capaz de exigir dos alunos um pensamento crítico na análise das situações-problema a eles apresentadas. Como resultados foi possível verificar que os estudantes mobilizaram diferentes teoremas e conceitos-em-ação que apontaram para um possível domínio do Campo Conceitual abordado.

**Palavras chave:** Arduino; Aprendizagem Baseada em Projetos; Ensino de Física.

<sup>1</sup> Licenciado em Física pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) Atualmente, é professor de física na Rede Estadual de Ensino de Mato Grosso do Sul.

<sup>2</sup> Doutora em Educação em Ciências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atualmente, é professora Adjunta na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), incluindo o Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências.

**Abstract**

Society is increasingly immersed in a world in which technologies are present in our daily lives, so that technological resources are not left out of the school context. In this article we present, as an educational product, an experimental setup using the Arduino platform to introduce the concepts of speed and acceleration. The research was implemented in a 3rd year high school class at a state public school. We use Project-Based Learning as a methodological reference, aiming to develop and encourage the use of technological tools in the school context. To analyze the results, we used the Conceptual Field Theory, seeking to answer the following research question: Which operational invariants about speed and acceleration can be mobilized from problem situations using Arduino as an educational product? Using the device in the classroom allowed not only to demonstrate and visualize the movement performed during the action, but also to perform graphic analysis, making the class fun and at the same time capable of demanding critical thinking from students when analyzing the problem situations presented to them. As a result, it was possible to verify that the students mobilized different theorems and concepts-in-action that pointed to a possible domain of the Conceptual Field addressed.

**Keywords:** Arduino; Project Based Learning; Teaching Physics.

**Introdução**

As tecnologias estão cada vez mais presentes no mundo contemporâneo. Seu uso tem se mostrado fundamental em diversos setores da sociedade, seja para auxiliar no plantio de um determinado alimento ou para a obtenção mais precisa de diagnósticos médicos. Além disso, elas também se apresentam em momentos de lazer, como ao assistir um filme ou realizar chamadas de vídeo com pessoas distantes. Fato é que a tecnologia se tornou uma presença significativa na vida de uma parcela considerável da população (MARTINS, GARCIA e BRITO, 2011; ALVES, 2022).

Neste contexto, a discussão sobre a inserção de tecnologias em sala de aula não é algo recente. Ela já data de algumas décadas. Segundo Brito e Purificação (2008, p. 23): “[...] estamos em um mundo em que as tecnologias interferem no cotidiano, sendo relevante, assim, que a educação também envolva a democratização do acesso ao conhecimento, à produção e à interpretação das tecnologias”.

Como afirmam os autores, tratar dos recursos tecnológicos no âmbito da educação não é algo somente para agradar aos estudantes, mas também traz um viés de democratização do conhecimento, oportunizando o acesso, a produção e a interpretação do uso dessas tecnologias.

Considerando que a tecnologia está presente em diversos setores da sociedade contemporânea, por que não introduzi-lá também na prática docente? De

acordo com Martinazzo, Trentin, Ferrari e Piaia (2014), os estudantes não se contentam apenas com aulas expositivas. Já os professores, estes se encontram em uma situação de angústia frente à evolução tecnológica e, conseqüentemente, na mudança comportamental dos estudantes.

A presença de dispositivos móveis e computadores possibilita ao estudante o acesso constante à internet, oportunizando uma variedade de recursos e informações que contribuem para o seu enriquecimento e, ao professor, propicia novas estratégias pedagógicas diferenciadas, capazes de enriquecer e tornar mais atrativas suas aulas. Porém, esta atração muitas vezes não se traduz automaticamente em um revista de produtos educacionais, engajamento profundo e aprendizado significativo. Souza Neto (2015, p.5) destaca que "a simples utilização das tecnologias digitais como forma de apoio às tradicionais estratégias de ensino é compreendê-las de forma bem limitadas em relação ao seu potencial".

No entanto, para que o uso de tecnologias seja integrada à prática docente de forma efetiva, elas devem promover a participação ativa dos estudantes, contribuir na resolução de problemas e integrar os conteúdos de forma mais significativa. No ensino de Física destacam-se diferentes possibilidades de uso das tecnologias digitais, as quais possibilitam a modelagem e o estudo de diferentes fenômenos. Podemos citar o uso de *hardwares* e *softwares*, recursos como o uso de simulações, vídeos, plataformas online e aplicativos móveis que permitem visualizar e compreender fenômenos complexos (ARANTES, MIRANDA e STUART, 2010; NOGUEIRA, 2023).

Rodrigues (2017,p.37) destaca que a utilização e integração das tecnologias digitais são significativas e provocam alterações positivas nos professores e estudantes, " seja ao nível da inovação das metodologias ou da melhoria da motivação e dos resultados escolares dos alunos".

Neste contexto, o presente artigo apresenta resultados de uma das etapas de uma dissertação em andamento, que tem como objetivo utilizar a plataforma Arduino para introduzir o estudo dos conceitos de Velocidade e Aceleração, tendo como aporte metodológico a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP).

Para análise dos resultados utilizamos a Teoria dos Campos Conceituais buscando responder a seguinte questão de pesquisa: Quais invariantes operatórios sobre velocidade e aceleração podem ser mobilizados a partir de situações-problema tendo o Arduino como um produto educacional?

## Aporte Teórico

### *O Arduino e o Ensino de Física*

Na área da Ciências da Natureza e, principalmente, na Física, é comum trabalhar utilizando modelagem computacional, de forma a trazer um maior significado para conceitos que muitas vezes se apresentam de forma abstrata e de difícil compreensão. Dentre as diversas formas de se fazer uma modelagem, a placa controladora Arduino vem se mostrando versátil e de simples entedimento, não sendo necessário um estudo aprofundado para compreender o básico acerca da funcionalidade do aparelho.

O Arduino é uma placa controladora de código aberto, destinado para qualquer pessoa que deseja realizar projetos interativos. Ele utiliza-se de diferentes tipos de sensores, sendo capaz de acender um simples LED de forma automática e até mesmo abrir portões de garagem conforme a aproximação de um veículo. A vantagem desse produto é que ele pode ser usado tanto por amadores que desejam aprender sobre a tecnologia ou mecanizar algo de seu cotidiano, quanto por profissionais do ramo da programação (ARDUINO.CC, 2021). Desde sua criação, o arduino vem ocupando espaço em diversos setores, e a área do ensino não ficaria de fora. O dispositivo começou a ser utilizado em escolas e universidades buscando enriquecer o conhecimento nos cursos ministrados (GONÇALVES, FREITAS e CALHEIRO, 2023). De acordo com Moreira *et al.* (2018) e Schiavon *et al.* (2023), o aparato pode ser utilizado no meio escolar através da experimentação, visando elaborar instrumentos científicos de custo acessível, instigando não somente a curiosidade, como também servindo de uma iniciação para um ambiente de programação.

Em um ambiente de sala de aula é importante a maneira como o Arduino será utilizado, o que será fundamental para agregar uma aprendizagem com maior significado, propiciando o planejamento de aulas mais dinâmicas e atrativas aos olhos dos estudantes. Apesar das vantagens que o arduino pode promover nesse ambiente, ele ainda é pouco utilizado, visto que os professores podem não ter tido uma formação inicial ou continuada que os preparassem para o uso dessa tecnologia (MARTINAZZO *et. al.*, 2014).

Visando analisar os aspectos acima citados acerca das vantagens de se

utilizar essa tecnologia no ambiente escolar, o presente trabalho busca verificar se o uso da tecnologia Arduino aliada ao ambiente escolar tem a capacidade de promover não somente um ambiente potencialmente estimulante para o aprendizando, mas também servir como ideias para que professores de diferentes áreas possam se inspirar e introduzir a tecnologia em suas práticas pedagógicas.

### ***Aprendizagem Baseada em Projetos***

Buscando romper com um modelo de ensino que costuma dar respostas prontas ou que busque vencer o currículo escolar, tomando o estudante um agente passivo em sala de aula, as metodologias ativas surgem como ferramentas para auxiliar o professor a atingir melhores resultados em suas práticas pedagógicas, tomando o ambiente escolar mais prazeroso ao estudante.

De acordo com Morán (2015), para que os estudantes se tomem mais proativos é necessário, também, adotar estratégias que envolvam o aprendiz em atividades complexas, exigindo tomadas de decisões e posicionamento diante das questões apresentadas, utilizando materiais que sejam relevantes, agregando a experimentação de novas possibilidades e estimulando iniciativas de forma ativa em sala de aula. O autor destaca a importância da inovação na educação, argumentando que o ensino baseado em projetos é uma maneira eficaz de promover a inovação na sala de aula.

Visando trabalhar uma metodologia ativa no ensino de Física, a ABP vem justamente ao encontro de se criar um espaço que permita ao estudante exercer um pensamento crítico, tomando-o um agente central de seu processo de ensino e aprendizagem. A ABP é definida por Bender (2014, p.15) como sendo "projetos autênticos e realistas, baseados em uma questão, tarefa ou problema altamente motivador e envolvente, para ensinar conteúdos acadêmicos aos estudantes no contexto do trabalho cooperativo para a resolução de problemas". O Quadro 1 apresenta características essenciais para a ABP, definidas pelo autor.

Quadro 1: Características essenciais da ABP de acordo com Bender (2014, p.16-17)

<b>Âncora</b>	Introdução e informações básicas para preparar o terreno e gerar o interesse dos estudantes.
<b>Trabalho em equipe cooperativo</b>	É crucial para as experiências da ABP, enfatizado por todos os proponentes da ABP como forma de tornar as experiências de aprendizagem mais autênticas.
<b>Questão motriz</b>	Deve chamar a atenção dos estudantes, bem como focar seus esforços.
<b>Feedback e revisão</b>	A assistência estruturada deve ser rotineiramente proporcionada pelo professor ou no interior do processo de ensino cooperativo. O feedback pode ser baseado nas avaliações do professor ou dos colegas.
<b>Investigação e inovação</b>	Dentro da questão motriz abrangente, o grupo precisará gerar questões adicionais focadas mais especificamente nas tarefas do projeto.
<b>Oportunidades e reflexão</b>	Criar oportunidades para a reflexão dos estudantes dentro de vários projetos é aspecto enfatizado por todos os proponentes da ABP.
<b>Processo de investigação</b>	Pode-se usar diretrizes para a conclusão do projeto e geração de artefatos para estruturar o projeto. O grupo também pode desenvolver linhas de tempo e metas específicas para a conclusão de aspectos do projeto.
<b>Resultados apresentados publicamente</b>	Os projetos de ABP pretendem ser exemplos autênticos dos tipos de problemas que os estudantes enfrentam no mundo real, de modo que algum tipo de apresentação pública dos resultados do projeto é fundamental dentro da ABP.
<b>Voz e escolha do estudante</b>	Os estudantes devem ter voz em relação a alguns aspectos de como o projeto pode ser realizado, além de serem encorajados a fazer escolhas ao longo de sua execução.

Fonte: Bender (2014).

A dissertação da qual originou esse trabalho teve como *Questão Motriz* estudar como a Teoria da Relatividade está associada ao funcionamento da tecnologia GPS (*Global Positioning System*). Para o presente artigo, foi desenvolvida a etapa *Investigação e Inovação* definida no Quadro 1, de forma a introduzir os conceitos de Velocidade e Aceleração necessários para conduzir a uma melhor compreensão da teoria da Relatividade.

### *Teoria dos Campos Conceituais*

Para a análise dos dados foi utilizada a Teoria dos Campos Conceituais (TCC), desenvolvida pelo matemático, filósofo e psicólogo francês Gérard Vergnaud (1933-2021), com vistas a verificar o desenvolvimento cognitivo e a apropriação de conceitos complexos por parte dos estudantes.

Gerard Vergnaud compôs o segundo quadro dos doutorandos de Jean Piaget (1896-1980), sendo evidente as influências do pensador suíço em sua obra, principalmente no que diz respeito a definição de esquema. De acordo com Lopes, Sá e Darsie (2018), Vergnaud considera que os esquemas possuem relação com as situações na qual eles estão inseridos, ou seja, possui uma relação esquema-sujeito,

indo de encontro com a interação proposta por seu orientador sujeito-objeto.

Apesar de Piaget trazer valiosas contribuições para a área do ensino, o mesmo não demonstrava interesse para tal, tendo como foco o desenvolvimento cognitivo do ser humano. Por sua vez, Vergnaud busca, com a sua teoria, visar justamente o contexto escolar (NOGUEIRA e REZENDE, 2014).

Segundo essa teoria, o conhecimento está organizado em Campos Conceituais, possuindo a conceitualização como um eixo central; o domínio desse campo só ocorrerá no decorrer do tempo, por meio de experiências e aprendizagens que o estudante deve presenciar (VERGNAUD, 1983). Os principais conceitos que abrangem a TCC são:

- Campo Conceitual - um conjunto de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, que se interligam durante o processo de ensino (VERGNAUD, 1983). Para o autor, existem três argumentos que levam a esse conceito: um conceito não irá se formar somente a partir de uma única situação; uma situação não pode ser analisada tendo um único conceito; a construção de um conceito pode decorrer até mesmo por décadas.

- Conceitos – definido como um conjunto triplo,  $C = (S, I, R)$ , onde S é o conjunto de situações que darão sentido ao conceito I o conjunto de invariantes operatórios relacionados ao conceito, sendo esse utilizado para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto, e R as representações simbólicas que podem ser utilizadas para indicar e representar os invariantes operatórios (VERGNAUD, 1998).

- Situações – pode ser interpretada como um conjunto de tarefas, de forma que cada tarefa possui diferente nível e dificuldade (VERGNAUD, 1998).

- Esquemas – é a forma como os invariantes de uma determinada classe de situações estão organizados; a partir desses esquemas que serão investigados os invariantes operatórios dos estudantes (VERGNAUD, 1998).

- Invariantes Operatórios – compreendido pela expressão “conceito-em-ação” e “teorema-em-ação”. O conceito-em-ação é tido como aquilo que se mostra relevante perante uma determinada situação, que tem potencial para vir a se tornar um conceito científico. Por sua vez, o teorema-em-ação pode ser tanto verdadeiro quanto falso, implícito na estrutura cognitiva do aprendiz, estando a cargo do pesquisador/professor explicitar esse teorema (CALHEIRO, 2018; MOREIRA, 2002). De acordo com Moreira (2002, p.20):

As concepções prévias dos estudantes contêm teoremas e conceitos-em-ação que não são verdadeiros teoremas e conceitos científicos mas que podem evoluir para eles. (...) o hiato entre os invariantes operatórios dos estudantes e os do conhecimento científico é grande, de modo que a mudança conceitual poderá levar muito tempo (MOREIRA, 2002, p. 20).

Ou seja, identificar esses invariantes é uma maneira potencial de auxiliar os estudantes na construção de um Campo Conceitual, de forma a expô-los a diversas situações-problemas. Para a análise de dados desse artigo, foi proposta a verificação dos Invariantes Operatórios dos estudantes no que diz respeito ao possível domínio do Campo Conceitual dos conceitos "velocidade" e "aceleração", através de três situações-problema.

#### **Encaminhamento metodológico**

A presente pesquisa possui caráter qualitativo, tendo como público alvo estudantes regularmente matriculados no 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública de Mato Grosso do Sul. As atividades foram desenvolvidas no período regular de aulas dos estudantes na disciplina de Física, contando com um total de 13 participantes, sendo necessárias duas aulas de 50 minutos para a conclusão.

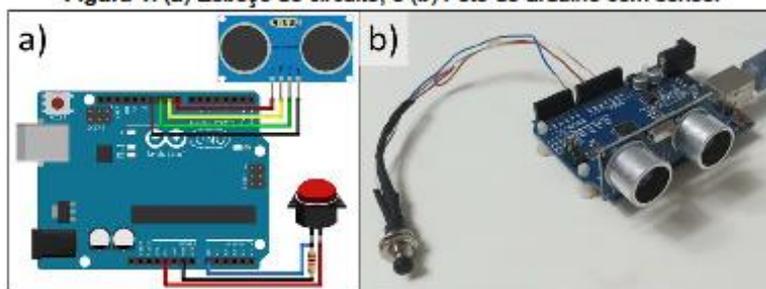
Os conceitos de Velocidade e Aceleração são importantes para que ocorra uma evolução no domínio do Campo Conceitual da Teoria da Relatividade. Ao se deparar com a Teoria da Relatividade Restrita proposta por Einstein, o estudante irá analisar corpos que possuem velocidade diferente de zero em relação a um corpo estacionado, enquanto que para a Teoria da Relatividade Geral, serão abordados situação-problema em que corpos estarão acelerados e, por conta dessa aceleração, sofrerão efeitos como se estivessem imersos em um campo gravitacional. Desse modo, é importante uma compreensão desses dois conceitos a fim de minimizar possíveis equívocos no momento da abordagem desse conteúdo.

Visando então desenvolver esses conceitos e, ao mesmo tempo fazer o uso de recursos tecnológicos no âmbito escolar, foi utilizada a placa controladora Arduino, de modo que o estudante pudesse construir gráficos da sua posição em função do tempo, verificando de que modo os conceitos estão envolvidos.

O aparato experimental utilizado consistiu em um Arduino Uno com o código previamente instalado, um sensor de movimento ultrassônico, um botão, uma fonte de

alimentação para o Arduino, um datashow e um anteparo. A Figura 1 apresenta o dispositivo utilizado.

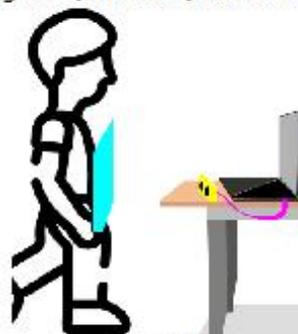
Figura 1: (a) Esboço do circuito, e (b) Foto do arduino com sensor



Fonte: Ladeira, Calheiro e Gonçalves (2022).

Na Figura 2 apresentamos de que modo foi organizado a montagem experimental para a execução da atividade.

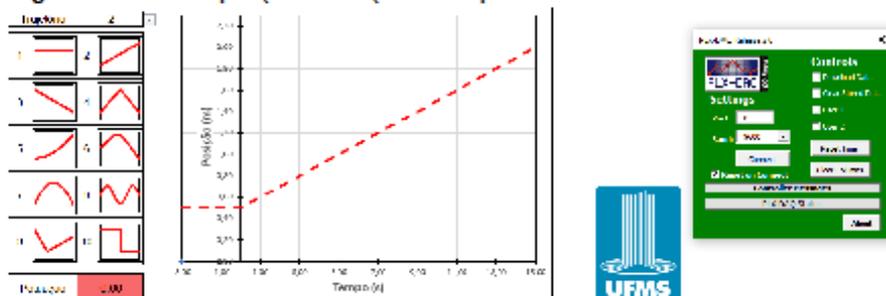
Figura 2: Montagem experimental para a execução da atividade



Fonte: Autores.

Para o trabalho em questão, foi utilizado um notebook como fonte de alimentação para o Arduino. Após a montagem ter sido realizada conforme a Figura 2, foi aberta uma planilha do Excel que consistia em um conjunto de 10 gráficos da posição de um corpo em função do tempo. A Figura 3 apresenta a interface dessa planilha.

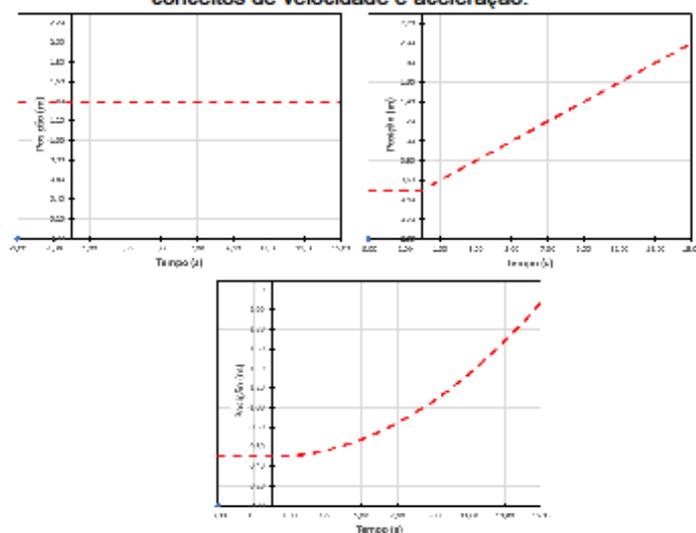
Figura 3: Gráfico da posição em função do tempo em Excel com o auxílio de um Arduino



Fonte: Autores.

Na interface da esquerda é possível alternar entre até 10 diferentes gráficos da posição em função do tempo. Por decorrência do tempo limitado para a execução da atividade, foram selecionados somente três trajetórias para a análise, sendo elas a Trajetória 1, 2 e 5, intituladas neste trabalho de Situações-problema 1, 2 e 3, respectivamente, apresentadas na Figura 4.

Figura 4: Situações-problema 1, 2 e 3, respectivamente, utilizadas para o estudo dos conceitos de velocidade e aceleração.



Fonte: Autores.

O objetivo dos estudante era realizar deslocamentos com o anteparo pela sala de aula de modo a construir o gráfico apresentado no datashow. O programa em

questão apresenta, também, uma pontuação que varia de 0-10 pontos e que serviu como um estímulo para os participantes verificarem quem obteve uma curva mais próxima do modelo esperado, sem cunho avaliativo. A Figura 5 traz os estudantes realizando a atividade proposta.

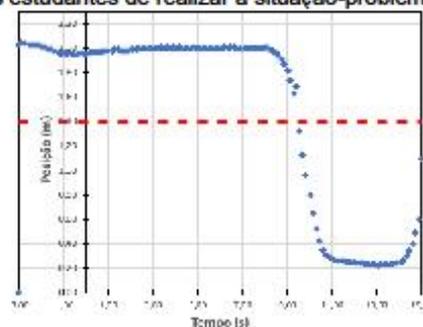
Figura 5: Estudante segurando uma anteparo para construir um gráfico da posição em função do tempo com o auxílio de um Arduino



Fonte: Autores.

Durante o deslocamento do estudante com o anteparo, o mesmo visualizava no gráfico o seu deslocamento através de uma linha azul pontilhada, quando, então, o participante alinhava a linha azul (o seu deslocamento) com a linha vermelha (movimento esperado). A Figura 6 apresenta uma das tentativas dos estudantes ao executar situação-problema 1.

Figura 6: Tentativa dos estudantes de realizar a situação-problema 1 da atividade proposta



Fonte: Autores.

Para cada situação-problema analisada pelos estudantes, eles deveriam responder a seguinte questão: de que forma o conceito de velocidade e aceleração estão envolvidos na ação realizada?

Neste artigo elaboramos uma análise dos esquemas utilizados pelos estudantes ao participarem da atividade, sendo identificados anonimamente por A1, A2, ..., A13 para garantir a confidencialidade dos dados.

### Resultados e Discussão

Pensando em organizar os resultados obtidos por meio da atividade, a pesquisa foi dividida em duas etapas a fim de agrupar as respostas em categorias de conceito-em-ação e teoremas-em-ação apresentados pelos estudantes.

Na primeira etapa foi determinada qual era a regra da ação, sendo essa do tipo "se... então", buscando uma relação de causa e efeito. Por exemplo, para o Situação-problema 1, o estudante A6 respondeu: *"não teve velocidade porque não se moveu de um ponto a outro. Também não teve aceleração, porque sem o uso da velocidade não tem a aceleração."* (A6).

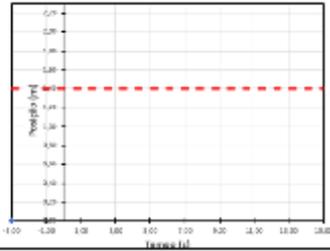
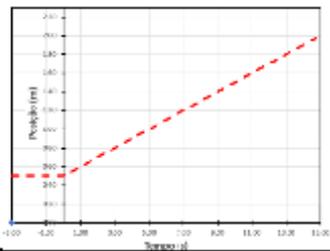
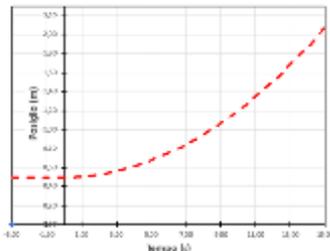
Pela regra do "se...então", é possível observar uma relação de causa e efeito, no qual ele afirma que *"não se moveu de um ponto ao outro" (se)* logo *"não teve velocidade" (então)*. Dessa forma, chega-se ao seguinte teorema-em-ação: *não teve velocidade porque não teve movimento. Sem velocidade não tem aceleração diferente de zero.*

Definido então o teorema-em-ação, inicia-se a segunda etapa, na qual pretende-se determinar qual é o conceito-em-ação que está explícito ou implícito no teorema, podendo esse ser uma afirmação. Para a situação-problema acima, o estudante atingiu o objetivo esperado, sendo capaz de diferenciar os conceitos de velocidade e aceleração, inferindo o conceito da seguinte forma: *Velocidade é a variação da posição no tempo, enquanto aceleração é a variação da velocidade no tempo.* Entretanto, nem todas as respostas foram passíveis de se aplicar a regra pré-estabelecida, como é a situação-problema do participante A10: *"para a linha azul (do gráfico) se encaixar precisa ajustar o gráfico"*. (A10).

Nessa situação não é possível inferir uma situação de causalidade, impossibilitando a identificação dos invariantes operatórios, caracterizando, então, como *indefinido* durante a análise dos resultados.

O Quadro 2 apresenta os resultados esperados para cada situação-problema abordada, sendo utilizado como parâmetro para avaliar se a atividade teve um potencial significado para o possível domínio do campo conceitual abordado.

**Quadro 2: Resultado esperado para cada situação-problema analisada**

Situações-problema	Resultado esperado
<b>1</b>	
 <p>Gráfico 1: Posição (m) vs Tempo (s). A linha é horizontal em 0,5 m.</p>	Identificar que um corpo em repouso possui velocidade nula, visto que o mesmo não varia sua posição durante um determinado intervalo de tempo.
<b>2</b>	
 <p>Gráfico 2: Posição (m) vs Tempo (s). A linha é uma reta crescente.</p>	Identificar que um corpo possui velocidade diferente de zero quando a sua posição varia em um determinado intervalo de tempo, porém a sua aceleração será nula pois a sua velocidade foi constante em todo o trajeto.
<b>3</b>	
 <p>Gráfico 3: Posição (m) vs Tempo (s). A linha é uma curva crescente.</p>	Identificar que um corpo possui velocidade diferente de zero quando a sua posição varia em um determinado intervalo de tempo e teve aceleração uma vez que a sua velocidade alterou ao longo do trajeto.

Fonte: Autores.

Para cada situação-problema analisada, foram obtidas um total de 13 respostas. O Quadro 3 apresenta os invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes para o Situação-problema 1.

Quadro 3: Invariantes Operatórios mobilizados pelos estudantes para a Situação-problema 1

Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Exemplos das justificadas escritas pelos estudantes	Ocorrência do total de estudantes
Velocidade é a variação da posição no tempo, enquanto que aceleração é a variação da velocidade no tempo.	Não teve velocidade porque não teve movimento. Sem velocidade não tem aceleração diferente de zero.	"não teve velocidade, porque não se moveu de um ponto a outro. Também não teve aceleração, porque sem o uso da velocidade não tem a aceleração" (A6)	8 estudantes (61,53%)
Precisa de velocidade para fazer uma reta no gráfico, porém sem aceleração porque não ocorreu uma variação da velocidade no período de tempo.	Teve velocidade porque a reta do gráfico se manteve (linear), mas não teve aceleração porque o gráfico não mudou.	"teve velocidade porque se manteve a reta (do gráfico) mas não teve aceleração porque não variou (a velocidade)." (A8)	2 estudantes (15,38%)
O corpo se moveu com velocidade constante.	A velocidade não mudou, mas o corpo ainda estava em movimento.	"o corpo dele estava movimento enquanto a velocidade não mudava" (A5)	1 estudante (7,69%)
Indefinido	Indefinido	"para a linha azul (do gráfico) se encaixar precisa ajustar o gráfico" (A10)	2 estudantes (15,38%)

Fonte: Autores.

Para esta situação-problema 1, 61,53% dos estudantes que participaram da atividade foram capazes de diferenciar os conceitos de velocidade e aceleração de maneira satisfatória, se aproximando do conceito científico. Para 2 estudantes (15,38%), o conceito estava associada à figura formada pelo gráfico, ou seja, como formou-se uma figura no gráfico, existiu velocidade. A velocidade nesse situação-problema está atribuída aos pontos visualizados no gráfico e não ao deslocamento da pessoa no momento da plotagem, que nessa situação-problema era nenhum. O mesmo é válido para a aceleração, pois como a figura observada era uma linha reta horizontal, foi constatado que o corpo não acelerou, estando implícito que se o gráfico crescesse linearmente, seria constatado que o corpo acelerou, visto que a figura observada estava se deslocando para cima.

Dos 13 estudantes, somente 1 (7,69%) afirmou que o corpo estava se movimentando, porém com velocidade constante, sendo análogo ao anterior. O movimento está atribuído à imagem formada no gráfico e não ao movimento realizado pelo corpo. O corpo tinha velocidade constante (zero), porém não realizou qualquer movimento para tal. Por fim, 2 estudantes (15,38%) foram categorizados como

indefinidos por conta das condições citadas anteriormente.

Na seqüência, o Quadro 4 apresenta os invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes para o Situação-problema 2.

Quadro 4: Invariantes Operatórios mobilizados pelos estudantes para o Situação-problema 2

Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Exemplos das justificadas escritas pelos estudantes	Ocorrência do total de estudantes
Teve velocidade porque ocorreu movimento e aceleração nula porque a velocidade foi constante.	Teve velocidade porque foi necessário se mover de um ponto a outro; não teve aceleração porque a velocidade foi constante.	"Teve aceleração porque precisou aumentar a velocidade para realizar a curva do gráfico e velocidade porque foi de um ponto até o outro da sala" (A12)	8 estudantes (61,53%)
Se a velocidade é constante a aceleração é nula.	Não teve aceleração pois a figura do gráfico (velocidade) era constante.	"Ele não teve aceleração, pois continuou no mesmo ritmo no gráfico, sem mudar a velocidade" (A3)	3 estudantes (23,07%)
A velocidade e aceleração dependem da variação da posição no tempo.	Teve velocidade e aceleração porque variou a posição no espaço.	"Teve velocidade e aceleração por ela ter que se mover de um ponto ao outro para conseguir se alinhar ao gráfico" (A13)	1 estudante (7,69%)
Indefinido	Indefinido	"Teve velocidade" (A5)	1 estudante (7,69%)

Fonte: Autores.

Conforme destaca-se no quadro, oito estudantes (61,53%) mobilizaram invariantes que apontam para uma aproximação do conhecimento científico dos conceitos de velocidade e aceleração, atribuindo uma aceleração nula para quando a velocidade se mantia constante ao longo do trajeto, diferente dos outros 3 estudantes (23,07%) que relacionaram o movimento à figura observada no gráfico, atribuindo que a velocidade foi constante porque "continuou no mesmo ritmo no gráfico" (A3). Nessas duas situação-problemas é possível observar que, para o primeiro grupo dos invariantes, o conceito está relacionado ao movimento do corpo físico dentro da sala de aula, enquanto que para o segundo grupo foi analisado estritamente a figura formada no gráfico, não sendo necessário visualizar o real trajeto do corpo no ambiente em qual o experimento foi realizado.

Para 1 estudante (7,69%) ainda existe um equívoco explicitado pelo seu invariante no qual aceleração e velocidade são tidos como sinônimos, apresentando um teorema que diz que para um corpo estar acelerado basta que o mesmo tenha

velocidade, mostrando-se uma inverdade, visto que para um corpo ter aceleração diferente de zero, é necessário que ocorra uma variação da velocidade em um período de tempo.

Por fim, somente 1 estudante (7,69%) entrou na categoria de Indefinido, por conta de sua resposta não atender a regra de ação definida anteriormente nesse trabalho. Por sua vez, o Quadro 5 apresenta os invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes para o Situação-problema 3.

Quadro 5: Invariantes Operatórios mobilizados pelos estudantes para o Situação-problema 3

Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Exemplos das justificadas escritas pelos estudantes	Ocorrência do total de estudantes
É necessário variar a velocidade para obter aceleração	O corpo acelerou porque a velocidade aumentou com o tempo.	<i>"[...] teve aceleração porque o tempo de chegada diminuiu durante o deslocamento." (A6)</i>	10 estudantes (76,92%)
O corpo estava acelerado mesmo sua velocidade sendo nula.	O corpo estava acelerando apesar de sua posição no tempo (velocidade) não variar.	<i>"tinha que acelerar com a velocidade igual para construir o gráfico" (A5)</i>	1 estudante (7,69%)
Indefinido	Indefinido	<i>"foi acelerando" (A7)</i>	2 estudantes (15,38%)

Fonte: Autores.

Para a última situação-problema analisada, dez estudantes (76,92%) apresentaram invariantes que apontavam que o corpo estava acelerando por conta de uma variação que existiu na velocidade; de acordo com o A6: *"[...] teve aceleração porque o tempo de chegada diminuiu durante o deslocamento."* É possível observar que quando o estudante deixa explícito que *"o tempo de chega diminuiu"* está implícito que a velocidade do corpo aumentou durante o trajeto, estando de acordo com o conhecimento científico a respeito do fenômeno observado.

Somente 1 estudante (7,69%) apresentou um equívoco nos conceitos, pois entendeu que precisava manter uma velocidade constante para que o corpo acelerasse, e 2 estudantes (15,38%) foram categorizados como indefinido, se tomando inviável analisar as suas respostas.

### Considerações finais

Para a análise dos resultados é importante observar que este não foi o primeiro contato dos estudantes com o conceito formal de velocidade e aceleração, visto que na grade curricular do estado de Mato Grosso do Sul esse conteúdo consta no 1º ano do Ensino Médio. Apesar disso, é uma memória distante para a maioria dos estudantes, visto já ter transcorrido cerca de dois anos do contato com esses termos, além de ter ocorrido durante a pandemia, ou seja, período em que as aulas ocorreram de forma remota no Estado.

Os resultados apresentados através da análise dos Invariantes Operatórios são apenas uma parte inicial das discussões que envolvem a análise do Campo Conceitual da Velocidade e Aceleração. Moreira (2002, p.16) afirma que "[...] conceitos-em-ação e teoremas-em-ação podem, progressivamente, tomarem-se verdadeiros conceitos e teoremas científicos, mas isso pode levar muito tempo". É claro que um único grupo de atividade não é o suficiente para determinar se ocorreu de fato ou não um domínio desse campo, porém já oferece subsídios para futuras investigações acerca da temática.

Por sua vez, uso da plataforma Arduino e outras tecnologias associadas possibilitou uma abordagem inovadora ao permitir que os estudantes não apenas visualizassem o movimento de execução, mas realizassem análises de gráficos, estimulando o desenvolvimento de habilidades cognitivas e promovendo uma aprendizagem com potenciais significados. O uso do dispositivo também permitiu dar "vida" para conceitos, permitindo ao professor aprimorar metodologias de ensino através da utilização de tecnologias, gerando inovação no meio educacional e apresentando resultados potencialmente satisfatórios (SILVA, BRANDÃO, DE AZEVEDO, DE AGUIAR, 2019), refletidos na análise dos dados dos Invariantes Operatórios descritos na seção anterior, onde foi possível mobilizar diversos grupos de teoremas e conceitos-em-ação fazendo uso do Arduino como um recurso pedagógico.

Os resultados dessa pesquisa vão ao encontro dos obtidos por Martín, Martínez, Fernández e Bravo (2016), no qual alegam que trabalhar a robótica da placa controladora aliada a uma metodologia como a Aprendizagem Baseada em Projetos tem mostrado resultados práticos e eficientes, promovendo momentos de autoaprendizagem para os estudantes.

No que diz respeito ao referencial metodológico utilizado para o desenvolvimento da pesquisa, a ABP se mostrou uma metodologia ativa capaz de desenvolver competências e habilidades nos estudantes, promovendo não somente um pensamento crítico a respeito das atividades propostas, mas também colocando os indivíduos como protagonistas de seu processo de ensino e aprendizagem, propiciando uma maior autonomia nas tomadas de decisões, visto que os casos analisados dependiam da interação aluno-objeto para que ele pudesse chegar às suas próprias conclusões.

Apesar das vantagens observadas quando da utilização desse método de ensino, o sucesso de sua aplicação não depende somente do conhecimento do pesquisador/professor. É necessário romper com as barreiras tradicionalistas de ensino, uma vez que o docente irá assumir papel de mediador nas atividades, conduzindo o estudante a momentos de reflexão, decisão e atitude (MORENO, DOS REIS e CALEFI, 2016).

Por fim, é possível concluir que este estudo possibilitou a inserção da tecnologia Arduino em conjunto com ABP, como uma metodologia capaz de apresentar uma prática diferenciada para o estudo dos conceitos de Física e que possa servir de subsídio para a abordagem da Física Moderna e Contemporânea, mais especificamente no campo da Teoria da Relatividade.

### **Agradecimentos**

Este trabalho contou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

### **Referências**

ALVES, E. F. P. Tecnologia na educação: reflexão para uma prática docente  
Technology in education: reflection for a teacher practice. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 1, p. 4227-4238, 2022.

ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUART, N. Objetos de Aprendizagem no Ensino de Física: Usando Simulações Phet. *Revista Física Na Escola*, ISSN 1983-6430, Vol 11 Nr 01, 2010, p. 27-31.

ARDUINO.CC. **Arduino**, 2021. About Arduino: What is a Arduino? Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/about>. Acesso em: 17 de outubro de 2023.

BENDER, W. N. (2014). **Aprendizagem Baseada em Projetos: Educação Diferenciada para o Século XXI**. Porto Alegre. Editora Penso.

BRITO, G. da S.; PURIFICAÇÃO, I. da. **Educação e Novas Tecnologias: Um repensar**. Editora IBPEX, Curitiba, 2ª Edição, 2008.

CALHEIRO, L. B. **As representações sociais da radiação no contexto do ensino médio e a sua articulação com os campos conceituais de Vergnaud**. 2018. Tese (Educação em Ciências Química da Vida e Saúde). Universidade Federal de Santa Maria, 2018.

GONÇALVES, A. M. B.; FREITAS, W. P. S.; CALHEIRO, L. B. Resources on physics education using Arduino. *Physics Education*, v. 58, n. 3, p. 033002, 2023.

LADEIRA, V. B.; CALHEIRO, L. C.; GONÇALVES, A. M. B. Exploring kinematics graphs using Arduino and an interactive Excel spreadsheet. *Physics Education*, 57(2), 02300, 2022.

LOPES, T. B.; DE SÁ, P. F.; DARSIE, M. M. P.. Influências de epistemólogos anteriores e contemporâneos para a elaboração da teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud. *Revista Eletrônica de Educação Matemática*, v. 13, n. 2, p. 250-263, 2018.

Martín, J. L.; Martínez, P.; Fernández, G. M.; Bravo, C. Analizando el desarrollo de las habilidades STEM a través de un proyecto ABP con arduino y su relación con el rendimiento académico, 2016.

MARTINAZZO, C. A.; TRENTIN, D. S.; FERRARI, D.; PIAIA, M. M. Arduino: Uma tecnologia no ensino de física. *Revista Perspectiva*, v. 38, n. 143, 2014.

MARTINS, A. A.; GARCIA, N. M. D.; BRITO, G. da S. Ensino de física e novas tecnologias de informação e comunicação: uma análise da produção recente. ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA E EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, VIII, 2011.

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. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre. Vol. 7, n. 1 (jan./mar. 2002), p. 7-29, 2002.

MOREIRA, M. P. C.; ROMEU, M. C.; ALVES, F. R. V.; DA SILVA, F. R. O. Contribuições do Arduino no ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 35, n. 3, p. 721-745, 2018.

MORENO, M. A.; DOS REIS, M. J.; CALEFI, P. S. Concepções de professores de biologia, física e química sobre a aprendizagem baseada em problemas (ABP). *Revista Hipótese*, v. 2, n. 1, p. 104-117, 2016.

NOGUEIRA, C. M. I.; REZENDE, V. A teoria dos campos conceituais no ensino de números irracionais: implicações da teoria piagetiana no ensino de matemática. *Schêma: Revista eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas*, v. 6, n. 1, p. 41-63, 2014.

NOGUEIRA, J. M. *Da internet à sala de aula: um estudo exploratório de laboratórios brasileiros de experimentação remotamente controlados para aprendizagem de Física*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2023.

RODRIGUES, A. L. *A formação ativa de professores com integração pedagógica das tecnologias digitais*. Tese de doutoramento, Educação (Tecnologia de Informação e Comunicação na Educação), Universidade de Lisboa, Instituto de Educação, 2017.

SCHIAVON, G. J.; ATAIDES, A. D.; SANTOS, O. R.; BATISTA, M. C.; BRAGA, W. S.; SOUTO, A. R. Construção de um Medidor de Carga e Energia Armazenada em Capacitores Utilizando a Plataforma Arduino. *Revista do Professor de Física*, v. 6, n. 3, p. 66-86, Brasília, 2022.

SILVA, A. H. A., BRANDÃO, G. A., AZEVEDO, P. H. G. de; AGUIAR, D. S. de. Usando a robótica educacional com Scratch e Arduino para melhor compreensão de Ciências Exatas. *Scientia Prima*, v. 6, n. 1, p. 147-159, 2020.

SOUZA NETO, A. *Do aprender ao ensinar com as tecnologias digitais: mapeamento dos usos feitos pelos professores*. 2015. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Humanas e da Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, Florianópolis.

VERGNAUD, G. Cognitive and developmental psychology and research in mathematics education: Some theoretical and methodological issues. *For the learning of mathematics*, v. 3, n. 2, p. 31-41, 1982.

VERGNAUD, G. Psychology and Didactics of Mathematics in France—An Overview. *International Reviews on Mathematical Education*, v. 15, n. 2, p. 59-63, 1983.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, v. 17, n. 2, p. 167-181, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0364021399800573>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

VERGNAUD, G. *Forme opératoire et forme prédicative de la connaissance*. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 17, n. 2, p. 287-304, 2012.

**APÊNDICE G – ARTIGO 3**



## O Arduino como recurso tecnológico para explicitação de invariantes operatórios relacionados à Teoria da Relatividade

Patrick Luiz Guevara Delgado<sup>1</sup>   
 Lisiane Barcellos Calheiro<sup>2</sup>   
 Além-Mar Bernardes Gonçalves<sup>3</sup> 

### Resumo

O avanço das tecnologias nas últimas décadas tem feito com que os aparatos tecnológicos se tornem cada vez mais presentes na sociedade. Dentre os diversos dispositivos presentes no mundo contemporâneo, o GPS (*Global Positioning System*) se apresenta como um recurso de extrema importância em áreas como a aviação e o transporte de mercadorias. Esse dispositivo possui fortes bases na teoria da relatividade restrita, devido à diferença de velocidade entre os satélites em órbita e os receptores localizados na superfície terrestre, ocasionando em uma dilatação temporal. Este trabalho desenvolveu um produto tecnológico, de cunho pedagógico, utilizando a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) como referencial metodológico, com o objetivo de responder a seguinte questão de pesquisa: Quais invariantes operatórios relacionados à Teoria da Relatividade Restrita podem ser mobilizados por meio de uma atividade investigativa, tendo a aprendizagem baseada em projetos como referencial metodológico? Para análise dos dados, utilizamos a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) desenvolvida por Gerard Vergnaud. A pesquisa foi implementada em uma turma de terceiro ano do ensino médio com um grupo de 20 estudantes em uma escola pública. Os resultados demonstram que, aliado à metodologia da ABP, o produto tecnológico se apresentou como um recurso pedagógico significativo, mobilizando diversos grupos de invariantes operatórios, alguns explícitos, outros implícitos, indo assim ao encontro da TCC, possibilitando uma demonstração dos efeitos relativísticos no cotidiano. Por fim, acreditamos que esta pesquisa venha favorecer a prática pedagógica do professor e o processo de aprendizagem dos estudantes.

**Palavras-chave:** teoria especial da relatividade; aprendizagem baseada em projetos; teoria do campo conceitual.

### Arduino as a technological resource for explicit operational invariants Related to the Theory of Relativity

#### Abstract

The advancement of technologies in recent decades has led technological devices to become increasingly prevalent in society. Among the various devices present in the contemporary world, the Global Positioning System (GPS) stands out as a resource of extreme importance in areas such as aviation and the transportation of goods. This device has strong foundations in the theory of special relativity, due to the difference in velocity between the orbiting satellites and the receivers located on the Earth's surface, resulting in temporal dilation. This study developed a technological product with a pedagogical focus using Project-Based Learning (PBL) as a methodological framework, aiming to answer the following research question: What operational invariants related to the Theory of Special Relativity can be mobilized through an investigative activity using Project-Based Learning as a methodological reference? For data analysis, we employed the Theory of Conceptual Fields (TCF)

<sup>1</sup> Mestrando em Ensino de Ciências, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9001-5852>. E-mail: [patrickguevara1998@gmail.com](mailto:patrickguevara1998@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutora em Educação em Ciências, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7154-2574>. E-mail: [liscalheiro@gmail.com](mailto:liscalheiro@gmail.com)

<sup>3</sup> Doutor em Física, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7052-4713>. E-mail: [alem-mar.goncalves@ufms.br](mailto:alem-mar.goncalves@ufms.br)

developed by Gerard Vergnaud. The research was implemented in a third-year high school class with a group of twenty students in a public school. The results demonstrate that, coupled with the PBL methodology, the technological product emerged as a significant pedagogical resource, mobilizing various groups of operational invariants, some explicit, others implicit, thus aligning with the TCF and allowing for a demonstration of relativistic effects in everyday life. Ultimately, we believe that this research will contribute to teachers' pedagogical practice and students' learning process.

**Keywords:** special theory of relativity; project-based learning; conceptual field theory.

### El Arduino como recurso tecnológico para invariantes operativas explícitos relacionados a la Teoría de la Relatividad

#### Resumen

El avance de las tecnologías en las últimas décadas ha hecho que los dispositivos tecnológicos sean cada vez más frecuentes en la sociedad. Entre los diversos dispositivos presentes en el mundo contemporáneo, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se presenta como un recurso de extrema importancia en áreas como la aviación y el transporte de mercancías. Este dispositivo tiene bases sólidas en la teoría de la relatividad especial, debido a la diferencia de velocidad entre los satélites en órbita y los receptores ubicados en la superficie terrestre, lo que resulta en una dilatación temporal. Este estudio desarrolló un producto tecnológico con un enfoque pedagógico utilizando el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) como marco metodológico, con el objetivo de responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué invariantes operativas relacionados con la Teoría de la Relatividad Restringida pueden ser movilizados a través de una actividad investigativa utilizando el Aprendizaje Basado en Proyectos como referencia metodológica? Para el análisis de datos, se empleó la Teoría de Campos Conceptuales (TCC) desarrollada por Gerard Vergnaud. La investigación se implementó en una clase de tercer año de secundaria con un grupo de veinte estudiantes en una escuela pública. Los resultados demuestran que, junto con la metodología de ABP, el producto tecnológico se presentó como un recurso pedagógico significativo, movilizando diversos grupos de invariantes operativos, algunos explícitos y otros implícitos, así alineándose con la TCC y permitiendo una demostración de los efectos relativistas en la vida cotidiana. En última instancia, creemos que esta investigación contribuirá a la práctica pedagógica de los profesores y al proceso de aprendizaje de los estudiantes.

**Palabras clave:** teoría especial de la relatividad; aprendizaje en base a proyectos; teoría de campos conceptuales.

#### Introdução

O mundo em que as novas gerações de estudantes crescem está cada vez mais repleto de tecnologias com os mais variados fins. Elas estão presentes, por exemplo, quando usamos aplicativos nos telefones que dependem da informação de localização do aparelho para fornecer um serviço (aplicativos de entregas de comida, de transporte público), fazendo uso do GPS (*Global Positioning System*). Contudo, é importante refletirmos sobre as palavras de Moreira (2017, p. 2), ao expressar que "estamos no século XXI, mas a Física ensinada não passa do século XIX", pois é desatualizada em termos de conteúdo e tecnologias, tendo seu grande foco em provas e exames, abordando essa área do conhecimento como uma ciência acabada.

Nesse sentido, Calheiro (2014) destaca que a ausência de tópicos relacionados aos avanços científicos e tecnológicos na educação básica se dá por diversos fatores. Dentre eles, há a dificuldade por parte dos professores de ministrar essas aulas pela

complexidade em torno dessa área do conhecimento, ou mesmo pela falta de uma formação continuada pautada nessa questão.

Russo e Ardono (2018) apontam que existe uma dificuldade de inserir tópicos da Física Moderna e Contemporânea (FMC), uma vez que contém ideias abstratas, frequentemente exigindo um formalismo matemático que pode dificultar o processo de ensino e aprendizagem.

Apesar dos obstáculos citados, a inserção de tópicos relacionados à FMC na educação básica se mostra importante, uma vez que a sociedade atual se beneficia das tecnologias decorrentes do conhecimento adquirido nessa área. Dessa maneira, há uma motivação para trabalhos voltados a essa área, visando a uma maior difusão e validação das diferentes formas na abordagem da física moderna e contemporânea na educação básica.

O debate relacionado à inserção da FMC no meio escolar já data de algumas décadas (Calheiro, 2014; Moreira, 2000; Osterman; Siqueira, 2006; Terrazan, 1992). Embora exista diversas pesquisas que apontam para a importância da inserção dessa área do conhecimento na educação básica, existem poucos materiais didático-pedagógicos que sejam contextualizados com a tecnologia atual e disponível para os professores (Tironi *et al.*, 2013).

Sendo de grande aplicabilidade no cotidiano, o GPS, tem suas bases fundadas na FMC, visto que a relatividade geral estabelece que a presença de um campo gravitacional faz com que o tempo passe mais devagar, pois

como os satélites estão mais distantes da Terra, a força gravitacional neles é menor, dessa maneira o tempo na órbita passa mais rápido, tendo um acréscimo, segundo o cálculo da equação da Teoria da Relatividade Geral (Silva, 2023, p. 22).

Em conjunto, esses dois efeitos resultam em diferenças no fluxo temporal entre os relógios a bordo dos satélites de GPS e os receptores de GPS na Terra.

Com vistas a promover o avanço nas práticas pedagógicas e na inovação tecnológica no contexto da educação básica, adotamos o Arduino e a impressão 3D para a fabricação de relógios que foram usados como recurso pedagógico educacional.

Para o planejamento e as ações das atividades desenvolvidas, empregamos a aprendizagem baseada em projetos (ABP) como metodologia e a teoria dos campos conceituais (TCC) como referencial teórico para a análise dos dados obtidos, com



vistas a responder seguinte questão de pesquisa: Quais invariantes operatórios relacionados à teoria da relatividade restrita podem ser mobilizados por meio de uma atividade investigativa tendo como recurso a plataforma Arduino e a impressão 3D?

### **O Arduino e impressão 3D no contexto da sala de aula**

O Arduino é uma placa controladora de código aberto, permitindo que pessoas o acessem com facilidade e criem seus projetos de eletrônica e automação autênticos e interativos (Arduino.cc, 2018)<sup>4</sup>. Aliada ao Arduino é possível encontrar na literatura as chamadas máquinas de fabricação digital, como, por exemplo, a impressora 3D, que permite a construção de objetos físicos e o desenvolvimento de protótipos e aparatos experimentais (Farias Neto; Loubet; Albuquerque, 2019).

Por serem consideradas versáteis e de simples utilização, essas tecnologias têm se revelado recursos motivadores para os processos de ensino e aprendizagem, proporcionando aos professores um recurso didático que os auxilia nas atividades experimentais nas aulas de física (Moreira *et al.*, 2018).

De acordo com Martinazzo *et al.* (2014), os estudantes não mais se satisfazem com aulas tradicionais, enquanto os professores vivem uma angústia diante da mudança comportamental da nova geração, ressaltando que um meio interessante de trabalhar os conceitos de física seria por meio da modelagem computacional, a qual, quando bem conduzida, tem a capacidade de tornar as aulas mais dinâmicas e potencialmente significativas.

De modo a trabalhar os aspectos positivos mencionados, esta pesquisa propôs utilizar o Arduino aliado à impressão 3D como um recurso pedagógico em aulas de física, buscando promover um ambiente potencialmente estimulante para a aprendizagem dos estudantes e servindo como referência para professores e pesquisadores que visam desenvolver atividades similares em suas práticas pedagógicas ou acadêmicas.

### **Aprendizagem baseada em projetos**

A metodologia da ABP busca proporcionar aulas mais interativas, colocando o estudante como um agente ativo durante os processos de ensino e aprendizagem a fim de romper com as metodologias tradicionais, que apenas dão respostas curtas e

---

<sup>4</sup> <https://www.arduino.cc/en/about>

sem criticidade em sala de aula. Nesse sentido, a ABP vem ao encontro da criação de um espaço pedagógico que permita ao estudante analisar de forma crítica as situações cotidianas, por meio de

projetos autênticos e realistas, baseados em uma questão, tarefa ou problema altamente motivador e envolvente, com o objetivo de ensinar conteúdos acadêmicos aos estudantes no contexto do trabalho cooperativo para a resolução de problemas (Bender, 2014, p. 15).

São vários os modelos de implementação da metodologia de projetos, variando desde projetos de curta duração (uma ou duas semanas) – restritos ao âmbito da sala de aula e baseados em um assunto específico – até projetos de soluções mais complexas, que envolvem temas transversais e demandam a colaboração interdisciplinar, com uma duração mais longa (semestral ou anual) (Bacich; Moran, 2018).

A seleção de uma metodologia é importante e deve estar de acordo com os objetivos buscados no trabalho. De acordo com Morán (2015):

As metodologias precisam acompanhar os objetivos pretendidos. Se queremos que os estudantes sejam proativos, precisamos adotar metodologias em **que os estudantes se envolvam em atividades cada vez mais complexas, em que tenham que tomar decisões e avaliar os resultados**, com apoio de materiais relevantes. Se queremos que sejam criativos, eles precisam experimentar inúmeras novas possibilidades de mostrar sua iniciativa (Morán, 2015, p. 17, grifo nosso).

A ABP vem justamente ao encontro das discussões acerca do protagonismo estudantil, apresentando-se com potencial para evitar problemas usuais no ensino de física, contribuindo para desenvolver capacidades voltadas à responsabilidade social, ao uso de ferramentas tecnológicas e à transposição de conhecimentos em diferentes contextos (Pasqualetto; Veit; Araujo, 2017).

O objeto de estudo no qual o projeto se desenvolverá busca promover um ambiente de maior engajamento por meio da característica delimitada por Bender (2014) como a “questão motriz”. Essa questão motriz é escolhida de forma a prender a atenção dos estudantes, uma vez que todos os seus esforços são direcionados a resolvê-la. A escolha dessa característica pode acontecer em dois momentos: antes do início das atividades, quando o professor delimitará previamente o conteúdo que será abordado, ou durante o processo, de forma a dar voz aos estudantes quanto ao tema que eles desejam estudar.

Nesse trabalho, a questão norteadora foi delimitada previamente pelos

pesquisadores, considerando o referencial escolar que deveria ser seguido. Portanto, os esforços dos estudantes se concentraram em torno da teoria da relatividade restrita, mais especificamente a dilatação temporal, um conceito essencial para compreender o funcionamento da tecnologia GPS.

### A Teoria dos Campos Conceituais

Desenvolvida pelo matemático, filósofo e psicólogo francês Gérard Vergnaud (1933-2021), a teoria dos campos conceituais se apresenta como uma teoria cognitiva dando aporte para a análise dos dados obtidos durante a pesquisa, possuindo fortes influências da teoria piagetiana, visto que Vergnaud foi um dos doutorandos do pensador (Moreira, 2002).

De acordo com Vergnaud (1983), o conhecimento está organizado em campos conceituais, tendo a conceitualização como tema central, de forma que o domínio desse campo só ocorrerá ao longo do tempo, após diversas experiências ao qual o estudante deverá ser exposto. Em sua obra, o autor destaca como pontos centrais da TCC: o campo conceitual que é um Conjunto de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, interligados uns aos outros e relacionados durante o processo de ensino; o conceito que é definido por um conjunto triplo,  $C = (S, I, R)$ , sendo: S – conjunto de situações que darão sentido ao conceito; I – conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito; R – conjunto de representações simbólicas (Vergnaud, 1983).

A pesquisa teve como foco investigar os invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes. Como apresentamos no Quadro 1, esses invariantes podem ser divididos em duas classes: os *teoremas-em-ação* e os *conceitos-em-ação*.

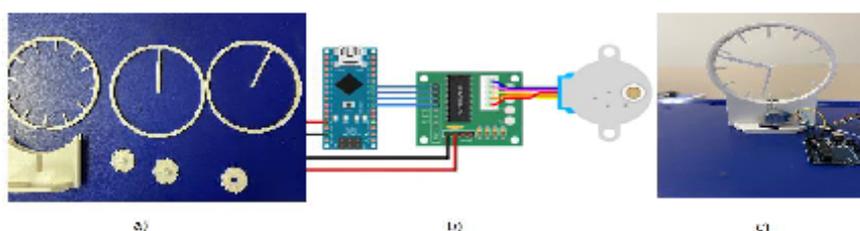
De acordo com Moreira (2002), o conceito-em-ação se apresenta como tudo aquilo que se mostra relevante perante uma situação, com potencial para se tornar um conhecimento científico, enquanto o teorema-em-ação pode ser algo verdadeiro ou não, estando implícito na estrutura cognitiva do aprendiz, sendo papel então do pesquisador/professor explicitá-lo. Portanto, a explicitação dos invariantes operatórios possibilitará verificar um possível domínio do campo conceitual da teoria da relatividade restrita, uma vez que o estudante terá sido exposto a uma série de situações-problema, de diferentes níveis de complexidade e natureza, promovendo o surgimento dos teoremas e conceitos em ação.

### Elaboração do Produto Tecnológico

Com o objetivo de explorar a dilatação temporal prevista pela teoria da relatividade, que interfere diretamente no funcionamento do GPS, foram construídos 10 pares de relógios em uma impressora 3D Creality modelo Ender 5, utilizando plástico PLA (o modelo para impressão foi obtido em um repositório<sup>5</sup>) de forma a tornar didática a simulação sobre a dilatação do tempo.

Os ponteiros dos relógios impressos são movidos por um motor de passo controlado pelo Arduino e um sistema de engrenagens. Desse modo, alterando os parâmetros no código fonte<sup>6</sup> usado no Arduino, podemos alterar a velocidade dos ponteiros. A Figura 1 apresenta imagens das peças do relógio impressas, um esquema do circuito eletrônico e uma foto do relógio completamente montado.

Figura 1 – a) Peças do relógio impressas ainda antes da montagem, b) circuito mostrando as conexões do motor de passo com o controlador e a placa Arduino Nano e c) imagem do relógio montado.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A atividade desenvolvida buscou trabalhar o populamente conhecido “Paradoxo dos Gêmeos”, o qual trata de uma situação em que dois irmãos gêmeos se separam, de forma que um irmão viaja em uma nave próximo à velocidade da luz, enquanto o seu par permanece na superfície terrestre. Segundo a teoria da relatividade, o tempo passa mais lentamente para o viajante numa velocidade próxima à velocidade da luz, assim, do ponto de vista do irmão na Terra, ele reencontra seu irmão viajante mais novo. O paradoxo se estabelece ao avaliarmos a simetria das equações envolvidas, pois no referencial do irmão viajante, ele ficou parado e foi a Terra que se movimentou numa velocidade alta, de modo que, do ponto de vista do

<sup>5</sup> Repositório impressão 3D: <https://www.thingiverse.com/thing:4761858>

<sup>6</sup> Link de acesso para os códigos de programação: <https://www.tinkercad.com/things/7Yh2gLRDadR-copy-of-relogio-flutuante-manual-do-mundo/editel?tenant=circuits>

Eduotec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico, Manaus (AM), v. 10, e231624, 2024. ISSN: 2446-774X

DOI: <https://doi.org/10.31417/educotec.v10.2316>

irmão viajante, deveria o irmão da Terra estar mais novo. De fato, a segunda alternativa não acontece, e quem envelhece mais rapidamente é o irmão na Terra (Falciano, 2007).

### Metodologia

A metodologia aqui apresentada é de caráter qualitativo e foi desenvolvida em uma escola pública estadual na cidade de Campo Grande – Mato Grosso do Sul, em uma turma de 3º ano do ensino médio com um total de 20 estudantes, com faixa etária entre 16 anos e 18 anos, matriculados no turno integral durante as aulas regulares de física.

A atividade foi desenvolvida e aplicada em um total de 5 aulas, sendo que o tempo dedicado ao planejamento e à elaboração do material didático equivalem a três aulas e duas aulas para a aplicação da atividade, sendo cada aula com uma duração de 50 minutos.

A turma foi dividida em duplas, de forma que cada dupla recebeu um par de relógios programados para mostrar o tempo com velocidades diferentes (o tempo do irmão na Terra e o tempo do viajante). Após cada dupla estar devidamente posicionada com seus relógios, foi entregue uma atividade composta por três situações-problema (Quadro 2) sobre o tema da dilatação temporal.

Quadro 1 – Situações-problemas trabalhadas para abordar a dilatação temporal

Situações-problema	Resultado esperado
<p><b>Situação 1.</b> Imagine que você e o seu parceiro são astronautas e irmãos(ãs) gêmeos(as). Um de vocês deverá embarcar em uma viagem intergaláctica em busca de vida em outra galáxia, enquanto o outro permanecerá na Terra. A nave em questão é capaz de se mover em uma velocidade próxima à da luz. Com o objetivo de medir os tempos da viagem, você e seu amigo sincronizam seus relógios antes da partida. Quando você e o seu parceiro de expedição estavam lado a lado, na mesma sala, vocês notaram alguma diferença em relação ao tempo do seu relógio e do dele? Explique.</p>	<p>Identificar que dois corpos que se movem com a mesma velocidade sob um mesmo referencial não possuem diferença no que diz respeito à passagem do tempo.</p>
<p><b>Situação 2.</b> Após o seu parceiro realizar a sua viagem intergaláctica, ele retorna para a Terra. Imagine agora que o seu parceiro era o seu irmão(ã) gêmeo(a). Após o seu retorno, vocês resolvem comparar os seus relógios. O que é possível observar em relação aos dois relógios? O que é possível constatar em relação à idade dos gêmeos(as)? Explique.</p>	<p>Identificar que um corpo que se move com uma velocidade diferente de um segundo corpo terá uma diferença na passagem do tempo de acordo com o referencial estabelecido.</p>

<p><b>Situação 3.</b> Os seus pais encontram você e seu irmão(ã) gêmeo(a) e se deparam com a situação. De que forma você explicaria para eles o efeito sofrido por vocês?</p>	<p>Explicar que quando um corpo se move com velocidade diferente do corpo em um referencial com velocidade nula, os corpos sofrerão uma dilatação temporal devido a essa diferença de velocidade.</p>
---	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Durante a situação-problema 1, cada dupla deveria escolher qual dos integrantes permaneceria na Terra (sala de aula) e qual realizaria a viagem espacial (indo para outra sala), de forma que cada estudante ficaria com um relógio observando o seu tempo próprio.

No decorrer da Situação-Problema 2, as duplas se separaram, com um membro indo para outra sala (movendo-se próximo à velocidade da luz) e o outro permanecendo na sala (na superfície terrestre). Após cerca de 10 minutos, eles se reuniram novamente na sala de aula. Em seguida, discutiram a Situação-Problema 3, analisando as conclusões sobre os tempos passados para relógios em velocidades diferentes, encerrando assim a atividade sobre o paradoxo dos gêmeos.

De forma a organizar os resultados obtidos por meio das situações-problema às quais os estudantes foram expostos, os dados apresentados foram trabalhados em duas etapas, possibilitando agrupar as respostas em categorias de *conceito-em-ação* e *teorema-em-ação*. Com o objetivo de preservar a privacidade dos estudantes que participaram da pesquisa, suas identidades foram alteradas para A1, A2, A3, e assim por diante. Importante ressaltar que esta pesquisa foi submetida e aprovada pela Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos CAAE: 60894722.4.0000.0021.

### Resultados e Discussão

Durante a primeira etapa da análise dos dados buscamos encontrar nas respostas dos participantes uma regra de ação do tipo “se... então”, visando localizar uma situação de causa e efeito. Por exemplo, para a situação-problema 1, o estudante A20 respondeu que “*Não, porque a velocidade é a mesma, se todo mundo está na mesma velocidade não existe diferença (de tempo)*” (A20).

Podemos observar então a seguinte relação de causa e efeito no discurso do estudante A20: (*se*) todo mundo está na mesma velocidade, (*então*) não existe diferença de tempo. Portanto, é possível obter o seguinte teorema-em-ação: Se a

*velocidade dos dois corpos é a mesma, então não existe diferença em relação ao tempo.*

Uma vez definida a regra que orientou a explicitação dos teoremas-em-ação, deu-se início à segunda etapa, cujo objetivo foi determinar os conceitos-em-ação que estariam implícitos ou explícitos em cada teorema. Para o exemplo apresentado, é possível observar que o único conceito-em-ação mobilizado foi o da *velocidade*, visto que a sua relação de causa e efeito estava relacionada somente a uma diferença ou não de velocidade entre os dois corpos. Por sua vez, o estudante A2 apresentou o seguinte discurso para a mesma situação-problema: *“Não, por conta da mesma Gravidade da sala em que estão, e a velocidade que os relógios se encontram são as mesmas” (A2).*

Neste caso, é possível observar que o estudante mobilizou dois conceitos-em-ação: a *gravidade* e a *velocidade*. Ao analisar a sua situação de causa, nota-se que o participante atribui a não mudança no tempo dos relógios não somente à velocidade, mas também ao fato de os dois corpos se encontrarem sob a mesma aceleração gravitacional. Porém, nem todas as respostas foram passíveis de serem aplicadas à causa e efeito descritos, como é o caso do estudante A6, que, para a situação-problema 2, apresentou a seguinte resposta: *“quem estava na Terra o tempo passou mais rápido do que quem estava no espaço” (A6).*

Neste caso, o estudante apenas afirmou que existiu uma diferença de tempo entre os relógios dos gêmeos, porém não indicou, nem de forma implícita, qual foi a causa dessa mudança. As respostas desse gênero foram classificadas como *inadequada*, visto a ausência da relação “se... então” definida previamente. A pesquisa contou com um total de 20 estudantes participantes em cada situação-problema, conforme o Quadro 2. No Quadro 3, apresentamos os invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes para a situação-problema 1.

Quadro 2 – Invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes para a situação-problema 1.

Grupo	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Exemplos das respostas	Total de estudantes
1.1	Velocidade	Se a velocidade dos dois corpos é a mesma, então não existe diferença em relação ao tempo.	“Não, porque a velocidade é a mesma, se todos mundo está na mesma velocidade não	A1, A14, A15, A20

			existe diferença (de tempo)" (A20)	
1.2	Velocidade e gravidade	Se a velocidade e a aceleração gravitacional são as mesmas, então não ocorre mudança no tempo.	"Não, por conta da mesma Gravidade da sala em que estão, e a velocidade que os relógios se encontram são as mesmas" (A2).	A2, A3, A5, A8, A19
1.3	Velocidade e gravidade	Se a aceleração gravitacional é a mesma, então a velocidade não muda, logo, o tempo será o mesmo para os dois.	"Não terá diferença no tempo, a velocidade é a mesma por que a gravidade é igual" (A9).	A9, A10, A11
1.4	Espaço-tempo	Se dois corpos dividem o mesmo espaço-tempo, então não sofrem diferença no tempo entre eles.	"Não, porque estamos no mesmo espaço-tempo, juntos" (A17)	A4, A13, A16, A17
1.5	Gravidade	Se dois corpos estão sob a mesma aceleração gravitacional, então o tempo não passa diferentemente.	"Não teve por que a gravidade é a mesma do meu parceiro" (A8)	A6, A12, A18
1.6	Gravidade e espaço-tempo	Se dois corpos dividem o mesmo espaço-tempo e têm a mesma aceleração gravitacional, então o tempo não passará diferentemente.	"Não vai ter diferença por que está ao mesmo espaço-tempo e a gravidade é igual para todos" (A7)	A7

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A partir do Quadro 3, é possível verificar que os estudantes do Grupo 1.1 atribuíram a não mudança de tempo à velocidade, ou seja, se os dois corpos estão com a mesma velocidade, *então* não existe mudança no tempo. Por sua vez, os estudantes do Grupo 1.2 atribuíram a não mudança de tempo à velocidade, porém mobilizando também o conceito da gravidade, estabelecendo a não mudança de tempo ao par dos conceitos: se a velocidade e a gravidade são as mesmas, *então* não ocorre mudança no tempo. Como é possível observar, os conceitos de velocidade e gravidade foram mobilizados duas vezes, porém de formas distintas. Os estudantes do Grupo 1.3 estabeleceram uma causa diferente para a mudança do tempo,

afirmando que: se a gravidade é a mesma, *então* a velocidade não muda, logo, o tempo será o mesmo.

Esse caso se difere do segundo grupo de invariantes, devido à mudança da velocidade ser uma causa da gravidade, ou seja, fica implícito no discurso do estudante que só ocorrerá uma mudança de velocidade caso ocorra uma mudança na aceleração gravitacional que ele sofre, podendo, dessa forma, alterar a forma como o tempo transcorre. Para esse caso, é possível notar que o invariante operatório estabelecido se afasta em alguns pontos do conceito científico, visto que a gravidade não é um fator obrigatório para a mudança de velocidade de um corpo. Porém, existem indícios de que esse grupo de teorema-em-ação e conceito-em-ação tem potencial para vir a se aproximar do conhecimento científico, visto que ainda existe uma relação da aceleração gravitacional e da velocidade com a dilatação temporal.

Um exemplo de invariante implícito na estrutura cognitiva do estudante é observado no Grupo 1.4, no qual o conceito-em-ação mobilizado se concentra em torno do conceito de *espaço-tempo*. Para esse caso, é possível notar que a relação de causa e efeito está atribuída à posição dos corpos no espaço-tempo, ou seja, se dois corpos dividem o mesmo espaço-tempo, *então* não existe uma diferença de tempo entre eles.

Um outro grupo de conceitos e teoremas-em-ação (Grupo 1.5) atribui a não mudança de tempo somente à gravidade, estabelecendo que se dois corpos estão sob uma mesma aceleração gravitacional, *então* não existe uma diferença no tempo. A aceleração gravitacional como um efeito relativístico aparece somente na teoria da relatividade geral, e apesar desse grupo não relacionar a velocidade como uma causa, ainda existe uma aproximação com o objetivo esperado, apresentando potencial para evoluir para um conhecimento científico, visto que a aceleração da gravidade também surge dentro da relatividade, porém sob outro contexto.

Por fim, o estudante A7 (Grupo 1.6) mobilizou um invariante operatório que relaciona não somente a relatividade restrita, mas também a geral. Em seu discurso, ele atribui a dilatação temporal ao fato de que se dois corpos dividem o mesmo espaço-tempo e estão sob uma mesma aceleração da gravidade, *então* não ocorrerá qualquer mudança no tempo. Nesse caso, observa-se que a causa da não mudança no tempo está relacionada tanto ao espaço-tempo (a velocidade é a mesma) quanto à aceleração da gravidade, a qual surge somente nas discussões da relatividade

geral. Para a situação-problema 1, é possível observar que todos os invariantes operatórios mobilizados tiveram algum grau de relação com a teoria da relatividade restrita, de forma que todos apresentaram potencial de se aproximar daquilo que se determinou como objetivo da atividade.

No Quadro 4, apresentamos os invariantes operatórios mobilizados para a situação-problema 2.

Quadro 3 – Invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes para a situação-problema 2.

Grupo	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Exemplos das respostas	Total de estudantes
2.1	Dilatação temporal, velocidade e espaço-tempo	Se um corpo tiver velocidade diferente do outro e estes não dividirem o mesmo espaço-tempo, então ocorrerá uma dilatação temporal entre eles.	"[...] estando os irmãos em velocidades diferentes, o tempo para eles também passou de forma diferente, visto que estavam em posições distintas do Espaço-Tempo. Logo, o relógio de um terá ficado para trás em relação ao outro, considerando que para um o tempo passou mais rápido e para o outro não, sendo assim um estará mais jovem em relação ao outro". (A19).	A19
2.2	Velocidade e dilatação temporal	Se a diferença de velocidade aumenta (entre os irmãos), então ocorrerá uma dilatação temporal maior.	"Quanto maior a velocidade, maior a distorção a diferença é que um estava parado e o outro se movendo. Assim o tempo se passou diferente". (A1).	A1
2.3	Gravidade	Se aceleração gravitacional é diferente, então ocorrerá uma mudança no tempo dos relógios.	"O horário dos relógios está diferente, porque a gravidade do irmão que foi pro espaço era menor com isso fazendo o relógio se atrasar em vista do irmão que ficou na Terra". (A2)	A2, A7, A12
2.4	Gravidade e velocidade	Se existe uma diferença de velocidade e aceleração gravitacional entre os corpos, então ocorrerá uma	"No Espaço a gravidade é menor e tem mais velocidade, mais na terra a gravidade é maior e a velocidade menor, por isso para quem tá na terra o tempo passou mais rápido e no espaço o	A3, A4, A5

Eduoltec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico, Manaus (AM), v. 10, e231624, 2024. ISSN: 2446-774X

DOI: <https://doi.org/10.31417/educitec.v10.2316>

		mudança no tempo dos relógios.	tempo passou mais devagar". (A5)	
2.5	Inadequado	Inadequado.	"Quem estava na Terra o tempo passou mais rápido do que quem estava no espaço". (A6)	A6, A8, A9, A10, A11, A13, A14, A15, A16, A17, A18, 20

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Quanto aos invariantes mobilizados na segunda situação-problema, um estudante (A19, grupo 2.1) mobilizou conceitos-em-ação que remetem à *dilatação temporal*, *velocidade* e *espaço-tempo*. Dessa maneira, assume-se uma relação de causa dupla, em que se um corpo tiver velocidade diferente do outro e estes não dividirem o mesmo espaço-tempo, então ocorrerá uma dilatação temporal entre eles. Já o A1 (grupo 2.2) aponta para uma relação de que se a diferença de velocidade for maior entre os corpos *então*, maior será a dilatação temporal ocorrida, mobilizando conceitos-em-ação relacionados à velocidade e à dilatação temporal.

Enquanto isso, os estudantes do grupo 2.3 apontaram uma causa relacionada ao conceito da gravidade, remetendo assim à relatividade geral, de forma que se a aceleração gravitacional for diferente para os dois corpos, *então* ocorrerá uma mudança no tempo. Nesse caso, o invariante explicitado não atingiu o objetivo, que era identificar que a diferença de velocidade causa a dilatação temporal; porém, existem subsídios que apontam para uma aproximação do conceito científico proposto, visto que foi sensibilizado um teorema-em-ação em potencial.

Ainda no campo da relatividade geral, os estudantes incluídos no grupo 2.4 apontaram que se existe uma diferença de velocidade e aceleração gravitacional entre os corpos, *então* ocorrerá uma mudança no tempo dos relógios, apontando conceitos-em-ação relacionados à velocidade e à gravidade. Por sua vez, esse grupo apresenta um problema ao apontar um efeito de causa dupla, afirmando que só ocorrerá uma alteração na passagem do tempo caso ocorra tanto a diferença entre as velocidades quanto a diferença na aceleração da gravidade.

Por fim, o último grupo (2.5) de invariantes mostra que 12 estudantes se enquadraram na categoria *inadequado*, pois em seus discursos não foram apresentadas situações de causa e efeito. É possível observar que houve uma compreensão de que o tempo passou diferentemente para os gêmeos, porém sem indicar de forma implícita ou explícita a causa dessa diferença.

No Quadro 5, apresentamos os invariantes operatórios referentes à situação-problema 3.

Quadro 4 – Invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes para a situação-problema 3.

Grupo	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Exemplos das respostas	Total de estudantes
3.1	Velocidade, dilatação temporal e espaço-tempo	Se dois corpos estão com diferentes velocidades e não dividem o mesmo local do espaço-tempo, então ocorrerá uma dilatação temporal entre eles.	"Foi por conta da relatividade temporal já que estávamos em locais diferentes e em velocidades diferentes". (A13)	A19, A13
3.2	Velocidade e gravidade	Se existe diferença de velocidade e aceleração gravitacional entre os corpos, então o tempo será diferente para os dois.	"Que a uma diferença de tempo no espaço, por causa do campo gravitacional que influencia no tempo, no espaço (a nave) a velocidade é maior que a das pessoas na Terra por isso que ocorre na diferença de idade". (A7)	A2,A5,A7,A8, A9,A10,A11
3.3	Gravidade	Se a aceleração gravitacional for diferente entre os corpos, então o tempo passará diferente.	"A gravidade interferiu no tempo que fez nos diferenciar na idade". (A8)	A1, A3, A4, A6
3.4	Velocidade	Se existe diferença na velocidade entre dois corpos, então o tempo passará diferentemente para eles.	"Um exemplo que posso te dar é do filme do Flash, que enquanto ele está super rápido o restante está super lento, por conta da super velocidade dele, e isso muda o tempo." (A20)	A15,A17,A20
3.5	Relatividade	Ocorreu diferença no tempo por conta da relatividade.	"eu falaria que foi a teoria da relatividade, e também foi por causa do tempo que o meu irmão passou no espaço". (A14)	A14, A12
3.6	Espaço-tempo e relatividade	Se dois corpos não dividem o mesmo espaço-tempo, então ocorrerão efeitos da relatividade entre eles.	"eu saí do mesmo espaço-tempo que ela, o que de acordo com a relatividade pode causar essa consequência de diferença de idade". (A16)	A16
3.7	Órbita	Se a órbita de dois corpos é diferente, então	"na Terra o tempo passa mais rápido já no espaço	A18

		o tempo passará diferentemente para eles.	e de certa forma lento pois a órbita e totalmente diferente". (A18)
--	--	---	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Ao analisar as respostas para a última situação-problema, o primeiro grupo (3.1) de teoremas e conceitos-em-ação se apresenta de forma implícita, visto que ao se referir à "relatividade temporal", o discurso estava remetendo ao conceito da dilatação temporal e, ao afirmar que os corpos estavam em locais diferentes, temos uma referência ao não-compartilhamento do mesmo espaço-tempo, resultando em uma situação de causa e efeito como descrita anteriormente.

No que diz respeito ao segundo grupo (3.2), o ocorrido foi atribuído não somente à velocidade, mas também à aceleração gravitacional, de forma que a dilatação temporal apenas ocorreria caso houvesse uma diferença tanto na velocidade quanto na aceleração da gravidade, incidindo em conceitos da relatividade geral.

Os três grupos seguintes mobilizaram somente um conceito-em-ação. Os estudantes do Grupo 3.3 trouxeram novamente uma situação que remete à relatividade geral, atribuindo que a causa da dilatação temporal estava na diferença da aceleração gravitacional entre os corpos e não na diferença da velocidade entre eles. Os estudantes do Grupo 3.4 mobilizaram justamente o campo da relatividade restrita ao dizerem que a causa da mudança no tempo remete à mudança de velocidade entre eles. Já os estudantes do Grupo 3.5 mobilizaram somente um invariante, deixando explícito que o efeito foi a relatividade, porém não apontando a causa. Por meio de outros grupos de situações-problema, seria possível que eles desenvolvessem conceitos e teoremas-em-ação mais elaborados em torno da questão.

Já o estudante do Grupo 3.6 estabelece como causa o fato de que se dois corpos estão em diferentes posições do espaço, *então* ocorrerão efeitos relativísticos entre eles. O discurso aqui se apresenta de modo raso, não deixando claro quais exatamente seriam esses efeitos, nem o motivo de estarem em espaço-tempo distintos e causarem tal efeito. Porém, existe uma possibilidade desse invariante operatório evoluir para um possível do campo conceitual em questão.

Por fim, o estudante do Grupo 3.7 apresentou uma resposta que nem atinge os objetivos da atividade nem se aproxima do conhecimento científico esperado, visto que a atribuição da dilatação temporal foi colocada como um efeito da órbita dos

planetas, o que é uma inverdade. Para esse caso, faz-se necessária uma nova série de situações-problema para que ele possa ter possíveis avanços dentro do campo conceitual abordado.

### Considerações finais

O produto tecnológico desenvolvido se revelou um recurso pedagógico significativo, proporcionando ao estudante explorar o campo conceitual da relatividade restrita, não apenas teoricamente, mas também observando na prática, por meio dos tempos medidos nos relógios, como os efeitos relativísticos impactam nosso cotidiano, pois sem essa descoberta, seria inviável a utilização dos GPS.

A tecnologia GPS possui diversos campos conceituais associados ao seu funcionamento, de forma que a pesquisa se ateve especificamente ao efeito da dilatação temporal, pois pertencente ao campo conceitual da teoria da relatividade. A análise revelou que nem todos os participantes atingiram o objetivo proposto pela atividade, apresentando em seus discursos invariantes operatórios com potencial para virem a se tornar um conhecimento próximo do científico.

Já a aprendizagem baseada em projetos se revelou uma metodologia promissora, promovendo não somente o trabalho cooperativo, como também incentivando o desenvolvimento de pensamento crítico, gerando um ambiente de trabalho estimulante para os participantes.

Observamos que a atividade desenvolvida possibilitou mobilizar diversos grupos de invariantes operatórios, alguns explícitos, outros implícitos, indo ao encontro de um dos desafios da TCC, que é identificar os invariantes que se apresentam de maneira implícita, cabendo ao mediador entre o problema abordado e o aprendiz a tarefa de explicitar esses conceitos e teoremas-em-ação. Segundo Moreira (2002), é raro que os estudantes consigam expressar em linguagem natural os seus próprios teoremas e conceitos-em-ação. Nesse contexto, a combinação do uso de tecnologias com a metodologia da ABP propiciou ao pesquisador/professor a oportunidade de tornar explícitos esses invariantes operatórios.

Em relação aos estudantes que apresentaram invariantes inadequados, é necessário elaborar um novo conjunto de situações, possibilitando, dessa forma, um possível domínio desse campo conceitual. Nesse caso, é necessário que se compreendam mais precisamente em que pontos tais dificuldades ocorrem. Se

identificadas durante o desenvolvimento das situações de aprendizagem, é possível explorar as causas subjacentes que levaram aos invariantes inadequados apresentados pelos 12 estudantes. Analisar essas dificuldades de maneira aprofundada é fundamental para criar estratégias eficazes de intervenção e promover uma compreensão mais sólida dos conceitos abordados, a partir de novas situações e diferentes estratégias.

Por fim, acreditamos que esta pesquisa venha favorecer a prática pedagógica do professor e o processo de aprendizagem dos estudantes, bem como que o produto tecnológico e a metodologia de ABP estimulem o desenvolvimento do senso crítico diante de questões científicas e tecnológicas, indo além dos limites da sala de aula.

### Agradecimentos

Este trabalho contou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

### Referências

- BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Porto Alegre: Penso Editora, 2017.
- BENDER, W. N. **Aprendizagem Baseada em Projetos: educação diferenciada para o Século XXI**. Porto Alegre: Editora Penso, 2014.
- CALHEIRO, L. B. **Inserção de tópicos de física partículas de forma integrada aos conteúdos tradicionalmente abordados no ensino médio**. 2014. 188 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/6680/CALHEIRO%2c%20LISIANE%20BARCELLOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- FALCIANO, F. T. Cinemática relativística: paradoxo dos gêmeos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 19-34, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/rbef/a/YmnQFc8zPf4TVKp5gkmcVvn/>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- FARIAS NETO, A.; LOUBET, S. S.; ALBUQUERQUE, L. M. O uso da impressora 3D no processo de ensino e aprendizagem. *Revista Eletrônica Sala de Aula em Foco*, Espírito Santo, v. 10, n. 2, 2019. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/saladeaula/article/view/1377>. Acesso em: 08 fev. 2024.

- MARTINAZZO, C. A. *et al.* Arduino: uma tecnologia no ensino de física. *Revista Perspectiva*, Rio Grande do Sul, v. 38, n. 143, 2014. Disponível em: [https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/143\\_430.pdf](https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/143_430.pdf). Acesso em: 08 fev. 2024.
- MORÁN, J. *Mudando a educação com metodologias ativas*. São Paulo, 2015.
- MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 7, n. 1, 2002. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/141212/000375268.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. *Revista do professor de física*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- MOREIRA, M. P. C. *et al.* Contribuições do Arduino no ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Santa Catarina, v. 35, n. 3, p. 721-745, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2018v35n3p721/38041>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio". *Investigações em Ensino de Ciências*, Rio Grande do Sul, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/600>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- PASQUALETTO, T. I.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Aprendizagem baseada em projetos no Ensino de Física: uma revisão da literatura. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Minas Gerais, v. 17, n. 2, p. 551-577, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4546>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- RENN, J. A física clássica de cabeça para baixo: como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial. *Revista brasileira de ensino de física*, [S. l.], v. 27, p. 27-36, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/rbef/a/KpdmhFh7HFfNFTqmnBR6WFD/>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- RUSSO, A.; ADORNO, D. P. An inquiry-based learning path to introduce modern physics in high-school. *Journal of Physics*, [S. l.], v. 1076, n. 1, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1076/1/012007>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- SILVA, C. D. E. *A teoria da relatividade restrita: como a dilatação do tempo afeta o GPS?*. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) –

Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2023. Disponível em:  
<https://ud10.arapiraca.ufal.br/repositorio/publicacoes/5045>. Acesso em: 08 fev. 2024.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º Grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Santa Catarina, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992. Disponível em:  
<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7392>. Acesso em: 08 fev. 2024.

TIRONI, C. R. *et al.* A aprendizagem significativa no ensino de física moderna e contemporânea. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. *Anais [...]. Águas de Lindóia*, 2013. p. 17. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Elcio-Schuhmacher/publication/303247188\\_A\\_Aprendizagem\\_Significativa\\_no\\_Ensino\\_de\\_Fisica\\_Moderna\\_e\\_Contemporanea/links/5739e42e08ae9f741b2c91b1/A-Aprendizagem-Significativa-no-Ensino-de-Fisica-Moderna-e-Contemporanea.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Elcio-Schuhmacher/publication/303247188_A_Aprendizagem_Significativa_no_Ensino_de_Fisica_Moderna_e_Contemporanea/links/5739e42e08ae9f741b2c91b1/A-Aprendizagem-Significativa-no-Ensino-de-Fisica-Moderna-e-Contemporanea.pdf) Acesso em: 04 de março de 2024.

VERGNAUD, G. Psychology and Didactics of Mathematics in France: an Overview. *International Reviews on Mathematical Education*, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 59-63, 1983. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ283177>. Acesso em: 08 fev. 2024.

Recebido: 14/11/2023  
 Aprovado: 06/03/2024  
 Publicado: 08/03/2024

Como citar: DELGADO, P. L. G.; CALHEIRO, L. B.; GONÇALVES, A. M. B. O Arduino como recurso tecnológico para explicitação de invariantes operatórios relacionados à Teoria da Relatividade. *Eductec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico*, Manaus, v. 10, e231624, 2024.

Contribuição de autoria:

Patrick Luiz Guevara Delgado: Conceituação, análise formal, investigação, metodologia, administração do projeto, visualização, escrita (rascunho original) e escrita (revisão e edição).

Lisiane Barcellos Calheiro: Conceituação, aquisição de financiamento, administração do projeto, recursos, supervisão, validação e escrita (revisão e edição).

Além-Mar Bernardes Gonçalves: Conceituação, software e escrita (revisão).

Editor responsável: Iandra Maria Weirich da Silva Coelho

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional

