



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

LARISSA DE SOUSA OLIVEIRA

JORNADA NA COOPERAÇÃO: uma proposta didática para ensinar
Relatividade Restrita no Ensino Médio

FORTALEZA

2018

LARISSA DE SOUSA OLIVEIRA

JORNADA NA COOPERAÇÃO: uma proposta didática para ensinar Relatividade
Restrita no Ensino Médio

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Física do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O48j Oliveira, Larissa de Sousa.

Jornada na cooperação : uma proposta didática para ensinar Relatividade Restrita no Ensino Médio / Larissa de Sousa Oliveira. – 2018.
105 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Física, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Larissa de Sousa Oliveira.

1. Aprendizagem cooperativa. 2. Teoria da Relatividade Restrita. 3. Proposta pedagógica. 4. Ensino de Física. I. Título.

CDD 530

LARISSA DE SOUSA OLIVEIRA

JORNADA NA COOPERAÇÃO: uma proposta didática para ensinar Relatividade
Restrita no Ensino Médio

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Física do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Física.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Afrânio de Araújo Coelho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Ramos Gonçalves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais amados, Jaziel e Luzia.

Ao meu querido irmão, Jazierison.

À minha querida avó, Maria Lopes.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de realizar esse trabalho.

Aos professores da graduação, pela contribuição a minha formação.

Ao Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis, pela excelente orientação e compreensão.

Aos Prof. Dr. José Ramos Gonçalves e Afrânio de Araújo Coelho, por aceitarem fazer parte da banca e contribuírem para a melhoria desse trabalho.

Ao Programa de Estímulo à Cooperação na Escola, pelo suporte oferecido e pela mudança que originou no meu fazer docente.

Às professoras Wadlia, Josenira e Maria do Carmo, pelo apoio ofertado.

À EEM Professor José Maria Campos de Oliveira e aos alunos da escola, que aceitaram fazer parte dessa pesquisa.

Ao meu namorado Breno Rabelo, pela compreensão e suporte oferecido.

Às minhas amigas Ana Hélia e Ana Carmélia, pelo apoio e estímulo incondicionais em todos os momentos.

À Adriana Madja dos Santos Feitosa, pelas contribuições oferecidas com tanto carinho.

A minha família, meus pais Jaziel e Luzia, meu irmão Jazierison e minha avó Maria Lopes, pelo amor e esforço sem medidas para que eu pudesse concluir esta etapa da minha educação formal.

“Como espero mostrar, a física é muito mais do que a mera resolução de equações e interpretação de dados. Até arrisco dizer que existe poesia na física, que a física é uma expressão profundamente humana da nossa reverência à beleza da Natureza.” (GLEISER, 1997, p. 13).

RESUMO

Os conceitos de Mecânica Quântica e Teoria da Relatividade Restrita têm se feito cada vez mais presentes na sociedade, seja por meio das tecnologias, da mídia ou das divulgações científicas, fazendo que seu ensino nas escolas seja necessário para que os objetivos apresentados nos Parâmetros Curriculares Nacionais possam ser alcançados. Por outro lado, em geral, o ensino de Física no Ensino Médio tem ocorrido de forma excessivamente conteudista e priorizado a abordagem da Física Clássica, que domina o currículo, cabendo à Física Moderna uma pequena participação. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo a elaboração e a apresentação de uma proposta didática utilizando Aprendizagem Cooperativa para ensinar Teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio, além da aplicação dessa proposta em uma escola de Ensino Médio da rede pública de ensino de Fortaleza, Ceará. A estratégia metodológica utilizada baseou-se nas pesquisas bibliográfica e documental e na análise quali-quantitativa dos produtos obtidos pela implementação, em sete aulas, da proposta pedagógica. Os resultados obtidos indicaram que a proposta pode constituir-se em um bom método para apresentar o tema da Relatividade Restrita para os estudantes, pois os espaços de discussão proporcionados pela Aprendizagem Cooperativa foram bastante importantes para a construção argumentativa dos estudantes e para melhor compreensão dos mesmos em relação aos conceitos de tempo e espaço na ótica relativística.

Palavras-chave: Aprendizagem Cooperativa. Teoria da Relatividade Restrita. Proposta Pedagógica. Ensino de Física.

ABSTRACT

The concepts of Quantum Mechanics and Restricted Relativity Theory have become increasingly present in society, whether through technology, the media or scientific dissemination, making their teaching in schools necessary for the objectives presented in the National Curricular Parameters can be achieved. On the other hand, in general, the teaching of Physics in High School has occurred in an excessively content and prioritized the approach of Classical Physics, which dominates the curriculum, and Modern Physics has a small participation. In this context, the present work had as its objective the elaboration and presentation of a didactic proposal using Cooperative Learning to teach Theory of Restricted Relativity in High School, besides the application of this proposal in a public high school in Fortaleza, Ceará. The methodological strategy used was based on bibliographical and documentary research and on the qualitative-quantitative analysis of the products obtained through the implementation of the pedagogical proposal in seven classes. The results indicated that the proposal can be a good method to present the subject of Restricted Relativity for students, since the spaces of discussion provided by Cooperative Learning were very important for the argumentative construction of the students and for a better understanding of them in relation to the concepts of time and space in relativistic optics.

Keywords: Cooperative Learning. Theory of Restricted Relativity. Pedagogical Proposal. Teaching Physics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dois sistemas de coordenadas em movimento relativo uniforme ao longo do eixo x ..	46
Figura 2 – Experimento de Michelson e Morley ..	49
Figura 3 – Percursos com relação a l_2	50
Figura 4 – Exemplo de deslocamento nas franjas de interferência	51
Figura 5 – Um relógio de luz em repouso	55
Figura 6 – Trajetória da luz para quem ficou na Terra	56
Figura 7 – Esquema representativo da Fila Cooperativa	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição espectral da radiação térmica	45
Gráfico 2 – Porcentagem de estudantes em cada nível de cooperação	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – IDACI ⁴ _{mod} do aluno fictício José	41
Tabela 2 – Níveis de desempenho cooperativos de acordo com o IDACI ⁴ _{mod}	42
Tabela 3 – Relação entre os temas do curso e a as habilidade s dos PCNs	95
Tabela 4 – Tipos de respostas às tarefas individuais	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC	Antes da Era Comum
CASA – C	Células Autônomas e Solidárias de Aprendizagem Cooperativa
COFAC	Coordenadoria de Formação em Aprendizagem Cooperativa
DCNEM	Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
EEEP	Escola Estadual de Educação Profissional
EIDEIA	Escola Integrada de Desenvolvimento e Inovação Acadêmica
ETH	Escola Politécnica de Zurique
ETMFA	Exposição inicial, Tarefa Individual, Meta coletiva, Fechamento e Avaliação individual
GPS	Global Position System
IDACI ⁴ _{mod}	Índice de Desempenho Cooperativo Individual
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
PACCE	Programa de Aprendizagem em Células Cooperativas Estudantis
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Orientações Educacionais Complementares para os Parâmetros Curriculares Nacionais
PRECE ₁	Projeto Educacional Coração de Estudante
PRECE ₂	Programa de Educação em Células Cooperativas
PRECE ₃	Programa de Estímulo à Cooperação na Escola
SEDUC	Secretaria da Educação do Estado do Ceará
SMEs	Secretaria de Educação dos Municípios do Estado do Ceará
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	APRENDIZAGEM COOPERATIVA.....	16
2.1	Contexto histórico e aspectos gerais.....	16
2.2	Os Cinco pilares da Aprendizagem Cooperativa.....	21
2.2.1	<i>Interdependência positiva</i>	21
2.2.2	<i>Responsabilização individual</i>	23
2.2.3	<i>Interação promotora</i>	25
2.2.4	<i>Habilidades Sociais</i>	26
2.2.5	<i>Processamento de Grupo</i>	27
2.3	A Aprendizagem Cooperativa no Ceará.....	28
2.4	A Aprendizagem Cooperativa na sala de aula.....	34
2.4.1	<i>Os papéis do Professor e do Aluno na Aprendizagem Cooperativa</i>	34
2.4.2	<i>A técnica ETMFA</i>	36
2.4.3	<i>O IDACI⁴_{mod}</i>	40
3	FÍSICA MODERNA	42
3.1	Da Física Clássica à Física Moderna	42
3.1.1	<i>A Radiação do Corpo Negro</i>	44
3.1.2	<i>As Equações de Maxwell e o Princípio da Relatividade de Galileu</i>	46
3.2	A Teoria da Relatividade Restrita de Einstein.....	53
3.2.1	<i>A Dilatação do Tempo e a Contração do Espaço</i>	54
3.2.2	<i>A Questão do Múon e o Paradoxo dos Gêmeos</i>	58
4	POR QUE USAR APRENDIZAGEM COOPERATIVA PARA ENSINAR RELATIVIDADE RESTRITA	59
4.1	Disposições Legais do Ensino Médio no Brasil	60
4.2	Disposições específicas acerca do Ensino de Física.....	62
4.3	Relatividade Restrita no Ensino Médio: importância e desafios.....	62

4.4	Por que Utilizar Aprendizagem Cooperativa?	68
5	METODOLOGIA.....	70
5.1	Características da pesquisa, coleta de dados e instrumentos de análise	70
5.2	O curso de Física Moderna: Desenvolvimento e Proposta Metodológica	72
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100
	REFERÊNCIAS	102

1 INTRODUÇÃO

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (2000), o ensino de Física na escola deve contribuir para que os estudantes possam interpretar fatos e fenômenos naturais, desenvolvam melhor compreensão acerca do mundo em que vivem e tenham conhecimentos que lhes permitam expressar pensamentos críticos acerca da realidade que os cerca. Visto que a Física Moderna tem penetrado cada vez mais na sociedade, seja por meio de tecnologias ou da mídia, seu ensino nas escolas torna-se indispensável para que os objetivos do ensino de Física sejam alcançados (RODRIGUES, 2001).

O que se observa, contudo, é que as instituições de ensino têm priorizado a abordagem da chamada Física Clássica, cujos conteúdos dominam os currículos, delegando à Física Moderna uma participação mínima, especialmente no que se refere à Teoria da Relatividade Restrita (KESSLER, 2008). Além disso, há também a forma como o ensino de Física tem ocorrido nas escolas. Frequentemente, essa ciência é apresentada aos estudantes do Ensino Médio mediante exibição de fórmulas esvaziadas de significado e de conceitos distanciados da realidade dos alunos, não fornecendo espaços para que esses indivíduos desenvolvam de forma gradual e partindo de exemplos práticos a abstração importante para que o ensino de Física alcance os objetivos esperados (PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS, 2000).

Visto que o estudo de Teoria da Relatividade restrita pode contribuir para que o estudante desenvolva habilidades como sofisticação do raciocínio, atuando também como ponto de partida para o estudo de outros tópicos da Física Moderna, e acreditando que uma metodologia mais participativa para os estudantes ajudará os alunos a compreenderem os conceitos envolvidos no estudo desse ramo da Física, o presente trabalho objetiva elaborar e apresentar uma proposta didática para o Ensino de Teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio, utilizando uma abordagem diferente da tradicional. Para que esse objetivo pudesse ser alcançado, foram definidos três objetivos específicos:

- a) identificar conteúdos de Relatividade Restrita a serem abordados no contexto do Ensino Médio, baseando-se nas habilidades que se espera desenvolver em um estudante de Física de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs);

- b) estudar técnicas de Aprendizagem Cooperativa para posterior utilização;
- c) mostrar os resultados obtidos com a aplicação dessa proposta em uma turma heterogênea composta por alunos do Primeiro, do Segundo e do Terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pertencente à Rede Estadual Pública da cidade de Fortaleza, Ceará.

A estratégia de ensino e aprendizagem adotada para nortear a aplicação da proposta didática foi a técnica Exposição Inicial, Tarefa Individual, Meta Coletiva, Fechamento e Avaliação Individual (ETMFA), que está apoiada na Aprendizagem Cooperativa, definida por Lopes e Silva (2003, p. 4) como “(...) uma metodologia com a qual os alunos se ajudam no processo de aprendizagem, atuando como parceiros entre si e com o professor, visando adquirir conhecimentos sobre um dado objeto”. A escolha foi feita por pelo fato de essa estratégia metodológica incentivar uma participação mais ativa do estudante em seu processo de aprendizagem, além de possibilitar espaços para que o aluno interaja com seus colegas de classe e participe de discussões que impulsionem seu raciocínio lógico por meio de conflitos cognitivos. Esse conflito, segundo Johnson, Johnson e Smith (1998, p. 93), “cria um desequilíbrio cognitivo que, por sua vez, estimula a habilidade para se posicionar em perspectiva bem como estimula o desenvolvimento cognitivo”, permitindo ao aluno processar um novo conceito, habilidade necessária para que o estudante compreenda as mudanças no tempo e no espaço sob a ótica relativística.

Nesse sentido, o trabalho está organizado em seis partes:

- a) introdução, que situa o leitor acerca do conteúdo abordado nesse trabalho, além de enumerar os capítulos que o constituem;
- b) referencial teórico, abordando tanto as questões históricas e conceituais sobre a Aprendizagem Cooperativa quanto as sobre Relatividade Restrita, bem como trazendo uma pequena análise sobre o ensino dessa disciplina na última etapa da educação básica;
- c) metodologia, que traz os caminhos metodológicos adotados no desenvolvimento da pesquisa, assim como uma descrição detalhada da proposta metodológica sugerida;
- d) resultados e Discussões sobre a aplicação da proposta pedagógica;
- e) considerações finais acerca da realização desse trabalho.

2 APRENDIZAGEM COOPERATIVA

2.1 Contexto histórico e aspectos gerais

A aprendizagem cooperativa pode ser entendida como uma metodologia em que os alunos, com o objetivo de obter conhecimentos sobre um determinado assunto, desenvolvem parcerias entre si e com o professor, ajudando-se no processo de aprendizagem (LOPES; SILVA, 2003). Essa relação de parceria é explicitada por meio da formação de pequenos grupos de estudantes que trabalham juntos, em cooperação, maximizando seus próprios conhecimentos e também o de seus colegas (JOHNSON; JOHNSON, 1999). Ela começou a ser organizada como metodologia no final dos anos 70, nos Estados Unidos, surgindo como resultado de um questionamento acerca do modelo educacional competitivo e individualista vigente, no qual as instituições educacionais, influenciadas pela lógica do darwinismo social, fortaleciam a adoção de uma pedagogia que tornava o estudante forte e capaz individualmente, devendo vencer seus colegas, vistos como oponentes (JOHNSON et al., 1988, 1999) (COOPERATIVE LEARNING INSTITUTE, 2018).

A cooperação tem permeado a história da humanidade. Para Johnson e Johnson (apud LOPES; SANTOS, 2009), a capacidade de trabalhar de forma cooperativa foi um dos fatores mais relevantes para a sobrevivência da espécie humana. Com o fim da última era glacial, as condições climáticas no mundo passaram por diversas variações, por exemplo, diminuição das temperaturas em grande parte do continente europeu, transformação do norte da África em região extremamente árida e desertificação das terras na região do Saara. O ser humano, que até então garantia sua sobrevivência por meio da coleta de alimentos ou da realização de pesca e caça, encontrou dificuldade em manter seu estilo de vida, tendo que se deslocar constantemente em busca de lugares que oferecessem melhores condições. Com a chegada do período Neolítico (cerca de 8000 AEC – 5000 AEC) e o início da produção de seu próprio alimento, com a agricultura, o homem não podia abandonar seus campos, portanto, começou a fixar residência e viver em comunidades, nas quais os trabalhos eram divididos: certos membros se dedicavam aos rebanhos e às caças, outros à agricultura e outros às tarefas domésticas. Desde então, praticamente todo empreendimento humano exitoso parte da organização e coordenação dos esforços de indivíduos que possuem uma meta em comum.

Também é possível encontrar referências à cooperação em escritos

antigos, como o Talmude, coletânea de livros sagrados dos judeus, que afirma “a fim de entender o Talmude, a pessoa deve ter um parceiro de aprendizagem”. Na Idade Antiga, Sócrates, famoso filósofo grego, já utilizava pequenos grupos para encorajar seus discípulos a dialogar e aprender a “arte do discurso”. Quintilino, orador e professor de retórica romano, assim como Johann Amos Comenius, educador, cientista e escritor checo, argumentavam que discípulos e alunos poderiam se beneficiar não apenas sendo ensinados por outros, mas também ensinando uns aos outros. Até mesmo na Idade Média, era possível ver a cooperação nas atividades de aprendizes de artesanato, onde um pequeno grupo de artesãos mais capacitados trabalhavam com o mestre e, em seguida, ensinavam as habilidades adquiridas aos menos experientes. Até mesmo na Boston colonial, a fim de conseguir uma educação, o jovem Benjamin Franklin (que vivia em pobreza) organizou grupos de aprendizagem (JOHNSON; JOHNSON, 1999).

No início do século XIX, não só a cooperação, mas a utilização da *aprendizagem cooperativa*, em seus conceitos mais elementares, começou a ser observada no ambiente da educação formal. Entre 1870 e 1900, Francis Parker, pioneiro do movimento escolar progressista nos Estados Unidos, então superintendente das escolas públicas de Quincy, em Massachussets, acreditava que educar não se limitava a colocar informações na mente dos alunos, mas se estendia a ensinar os alunos a pensarem por si mesmos. Assim, potencializou a aprendizagem cooperativa na escola, inspirando mais de 30.000 professores a iniciar um movimento cooperativo. Tendo como princípios a importância da liberdade e da democracia, Francis Parker comentava: “as crianças são colaboradoras naturais e sua maior diversão, depois da descoberta da verdade, é partilhá-la com os colegas” (apud LOPES, SANTOS, 2009, p.9).

Os trabalhos de Lancaster, Bell e Dewey trouxeram a aprendizagem cooperativa para o século XX. Joseph Lancaster, pedagogo inglês, começou a abordar essa metodologia em 1798, quando fundou uma escola para atender crianças carentes na periferia de Londres. Contudo, foi apenas no início do século XX que seus métodos se consolidaram, chegando aos Estados Unidos. A escola lancasteriana surgiu a partir da necessidade de instruir um grande número de alunos sem professores. Frente a isso, de acordo com Eby (1978), a solução encontrada por Lancaster e Andrew Bell, padre e educador escocês, foi agrupar estudantes de acordo com graus de conhecimento semelhantes e, ao mesmo

tempo, selecionar alunos que estavam em níveis mais avançados, colocando-os como monitores desses grupos. Pretendendo inovar a escola pública com a proposta de racionalizar tanto o tempo escolar quanto a disciplina do processo de ensino, além de promover uma redução dos gastos públicos, a escola de Lancaster atendeu cerca de 700 alunos, que eram organizados em turmas homogêneas e tinham o ensino vigiado pelos discípulos mais avançados (FEITOSA, 2008).

Nos Estados Unidos, a aprendizagem cooperativa teve fortes influências sobre o movimento da Escola Comum, baseado na ideia de “escola comum” elaborada pelo educador abolicionista Horace Mann (1796 – 1859), que lutava para que o ensino fosse público, gratuito e “tivesse a capacidade de fornecer uma educação diferente dos rígidos padrões da pedagogia tradicional” (SILVA; BRITO, 2009, p. 2). A partir dos trabalhos de Mann, o pensador educacional norte-americano, John Dewey edificou uma forte corrente filosófica visando a construir uma nova perspectiva de escola. Por rejeitar a visão da vida social e política como um aglomerado de interesses privados em conflito constante, Dewey propõe a formação de indivíduos que estão relacionados e integrados, pois, para ele, sociedade significa associação (EDMAN, 1965). Portanto, em sua obra *Democracy and Education*, de acordo com Lopes e Santos (2009), Dewey defende que o professor deve tanto ensinar quanto contribuir para uma vida mais justa, tendo a escola, nesse contexto, o papel de ser um espaço de vida e de trabalho onde alunos e professores aprendem e ensinam concomitantemente por meio de atividades partilhadas.

De acordo com Firmiano, 2011, entre as décadas de 1940 e 1960, diversos estudiosos, educadores e pesquisadores abordaram questões competentes à aprendizagem cooperativa, entre eles: Morton Deutsch, com suas teorias e pesquisas sobre cooperação e competição, confiança e situações individualistas; Stuart Cook, com pesquisas sobre cooperação; Spencer Kagan, investigando a cooperação e a competição em crianças, e os irmãos David e Roger Johnson, dois dos principais pesquisadores sobre aprendizagem cooperativa, que começaram a treinar professores em aprendizagem cooperativa na Universidade de Minnesota. A partir dos anos 1970, as pesquisas e produções se intensificaram, com representantes como Robert Hamblin, realizador de pesquisas comportamentais sobre cooperação e competição, Robert Slavin, desenvolvedor dos círculos cooperativos, Shlomo e Yael Sharan, pesquisadores de ensino em pequenos

grupos, e Elliot Aronson, inventor da técnica de ensino cooperativo *Jigsaw Classroom*¹. Nesse período também ocorreram o Primeiro Simpósio Anual de Aprendizagem Cooperativa, que contava com a presença de Roger e David Johnson, além de Elliot Aronson, entre os apresentadores, e a Primeira Conferência Internacional sobre Aprendizagem Cooperativa, em Tel Aviv, Israel. Iniciava-se, assim, uma maior estruturação sobre a utilização dessa metodologia, que foi impulsionada nos anos seguintes pelas abordagens estruturais para aprendizagem cooperativa, desenvolvidas por Spencer Kagan, e pelas obras “*Designing Groupwork: Strategies for the Heterogeneous Classroom*”, de Elizabeth Cohen (1986), e “*Cooperation and Competition: Theory and Research*” dos norte-americanos David e Roger Johnson (1989).

Influenciados pelo aprofundamento nos estudos da Teoria da Interdependência Social de Kurt Lewin, da Teoria Cognitivo-Evolutiva evidenciada nos trabalhos de Jean Piaget e Lev Vygotsky, da Teoria da Aprendizagem Comportamental, trazidas por Skinner, Bandura, Thibaut e Kelley, e pelo resgate teórico acerca dos processos cooperativos que permearam os diferentes períodos históricos da humanidade, os irmãos Johnson desenvolveram experimentos comparativos entre os modelos educacionais individualistas, competitivos e cooperativos. Em um desses estudos, visando a comparar os resultados obtidos por meio de instruções cooperativas e competitivo-individualistas, foi analisado o desempenho em uma tarefa de resolução de problemas que envolviam habilidades de navegação e leitura de mapas assistidas por um computador. A habilidade de leitura de mapas foi observada em um estudo relacionado (JOHNSON; JOHNSON, 1989). Os resultados indicaram que:

a cooperação, quando comparada com instruções competitivas e individualistas, resultou em maior quantidade e qualidade na realização das atividades diárias e melhor desempenho na solução dos problemas apresentados pelo computador, maior interação na tarefa e diminuição de interações que desfocavam o trabalho, aumento no status do grupo

¹ Técnica utilizada pela primeira vez em 1971, nos Estados Unidos, com o objetivo de diminuir os conflitos causados pelas desconfianças surgidas com a convivência entre alunos brancos, afro-americanos e hispânicos à época da luta pelos direitos civis. É composta por três fases: na primeira, os alunos são distribuídos em grupos heterogêneos, e os conteúdos são divididos pela quantidade de alunos de cada grupo, na segunda, são formados grupos de especialistas com alunos de outros grupos e que ficaram responsáveis pelo mesmo conteúdo, por fim, na terceira, cada estudante volta para seu grupo base e apresenta o que aprendeu aos seus colegas. Após isso, os alunos são avaliados individualmente acerca de todos os assuntos estudados (COCHITO, 2004).

feminino e maior retenção das informações aprendidas. (JOHNSON; JOHNSON, 1989, p. 9).

Assim, partindo dos próprios estudos e das pesquisas de outros investigadores, Roger e David Johnson obtiveram respaldo para afirmar que a informação técnica era aprendida de forma mais eficiente por meio de práticas cooperativas do que por ações individualistas de aprendizagem (JOHNSON; JOHNSON, 1989). Por acreditar ser a cooperação uma alternativa mais adequada aos processos de aprendizagem, segundo o *Cooperative Learning Institute* (apud NETO, 2016), os irmãos norte-americanos passaram a estudar, juntamente a Karl A. Smith, professor de Aprendizagem Cooperativa e Educação em Engenharia da Universidade de Minnesota, meios de implementar a aprendizagem cooperativa na sala de aula, identificando que dois fatores importantes para estudantes agirem de forma individualista, competitiva ou cooperativa eram as propostas pedagógicas dos professores e seus planos de aula. Esses estudos os levaram à publicação do artigo “*Active Learning: Cooperation in the College Classroom*” em 1998.

Johnson, Johnson e Smith (1998) afirmam ser a aprendizagem cooperativa o coração do aprendizado obtido por meio de problemas, defendendo a estimulação dos esforços mútuos entre os indivíduos como resultado da interdependência positiva (cooperação) entre estes e do estímulo ofertado aos membros de um grupo para que eles participem desse esforço. Ela se aproxima da Teoria Cognitivo-Evolutiva, do ponto de vista da ciência do conhecimento, por envolver modelação e treinamento, incentivando os aprendizes a reestruturar as informações, a fim de retê-las na memória, incorporando-as nas estruturas cognitivas já existentes.

É importante destacar que nem todos os esforços de um grupo são cooperativos. Portanto, dividir alunos em grupos e pedir que eles realizem uma determinada atividade não garante a ocorrência da cooperação. Pelo contrário, caso feita de forma inadequada, essa ação pode aumentar ainda mais a competição, formando os chamados pseudo-grupos, ou mesmo proporcionar esforços individualistas, nos quais cada membro se preocupa em se dedicar apenas à parte que lhe foi designada, ou seja, grupos tradicionais.

De acordo com Carratero (1998 apud Firmiano, 2011), frequentemente se encontra nas escolas estudantes sentados em grupos, que não interagem entre si nem partilham ideias e materiais, ou seja, sentam em grupos, mas resolvem

individualmente as tarefas propostas. Nesse contexto, Yaniz (apud FIRMIANO, 2011) ratifica as colocações dos irmãos Johnson e de Karl Smith quando afirma haver uma importante diferença entre agrupar estudantes e fornecer atividades estruturadas para que eles cooperem entre si, pois cooperar não se trata de uma simples partilha de recursos, na qual os colegas que terminam suas atividades individuais primeiro ajudam quem ainda não terminou.

Assim sendo, pela condução das pesquisas sobre esforços cooperativos ao longo das décadas já abordadas, cinco elementos-chave surgem como essenciais para uma cooperação genuína, são eles: interdependência positiva, responsabilização individual, interação promotora, habilidades sociais e processamento de grupo (JOHNSON; JOHNSON; SMITH, 1998). Esses elementos são frequentemente denominados por “cinco pilares da aprendizagem cooperativa”.

2.2 Os Cinco pilares da Aprendizagem Cooperativa

Como indicado, apenas sob determinadas condições a cooperação ocorre de forma eficiente e eficaz no processo de aprendizagem: quando os cinco elementos fundamentais, ou cinco pilares, são observados nas atividades grupais. No que segue, cada um desses elementos será abordado de forma mais específica.

2.2.1 Interdependência positiva

Partindo da Teoria da Interdependência Social, três tipos de interação entre indivíduos podem ocorrer, dependendo da forma que essa interdependência social é estruturada: o individualismo, causado pela ausência de interdependência funcional, a competição, também chamada de interdependência negativa pelo fato de os estudantes oferecerem resistência aos esforços mútuos na busca pelo alcance de um objetivo, e a cooperação, também chamada de interdependência positiva.

Para Lopes e Silva (apud OLIVEIRA, 2015) a interdependência positiva é de fundamental importância para a aprendizagem cooperativa, visto que o sucesso do grupo só ocorre quando todos os seus membros são exitosos. Assim, nela, os indivíduos estimulam e facilitam os esforços mútuos para obter conhecimento, havendo a existência de um sentido de dependência mútua entre os membros da célula, possibilitando a criação de um compromisso com o sucesso de outras pessoas para além do seu próprio sucesso. Para que isso seja possível, faz-se necessário implementar estratégias específicas de trabalho, que podem incluir divisão de tarefas, diferenciação de papéis, atribuição de recompensas e estabelecimento de metas comuns a todos os membros do grupo (Marreiros, 2001,

apud RIBEIRO, 2006), (Johnson; Johnson; Smith, 1998).

Na célula de aprendizagem cooperativa é importante que **todos** possuam tarefas pelas quais são responsáveis e percebam que, em uma situação de aprendizagem cooperativa, todos nadam juntos ou todos afundarão (JOHNSON; JOHNSON; SMITH, 1998). Uma vez que desenvolvam essa consciência, os estudantes passam a se responsabilizar com o seu aprendizado mas também com o de todos os estudantes da célula.

Há cinco modalidades principais de interdependência positiva, segundo Pujolás (apud FIRMIANO, 2011), devendo o professor planejar suas atividades de modo que pelo menos uma dessas modalidades, não obrigatoriamente todas, estejam presentes. São elas:

- a) Interdependência positiva de finalidades ou metas: Ocorre quando todos os membros trabalham para um fim comum. Deve-se organizar as atividades de modo que os estudantes percebam que só alcançarão a meta se **todos** os membros da célula participarem. É importante que os estudantes trabalhem juntos não apenas com a finalidade de socializar, mas também com o objetivo de alcançar uma meta de natureza escolar.
- b) Interdependência positiva de recompensa/celebração: Ocorre quando a célula atinge seus objetivos e cada membro se sente recompensado por esse fato, celebrando em conjunto com os demais. Ela é uma forma de incentivar os estudantes, aumentando seu entusiasmo e autoconfiança, assim como contribui para que os alunos se mantenham motivados. Além disso, é uma estratégia inicial muito importante, especialmente no início, quando os alunos ainda não possuem motivação interna suficiente, podendo ser estimulados externamente por meio de recompensas, contudo, a recompensa só é garantida se todos os membros atingirem a meta **juntos**, não há recompensa individual.
- c) Interdependência de tarefas: Ocorre quando os membros de um grupo recebem uma tarefa em comum na qual cada membro fica responsável por realizar parte dessa tarefa. O produto final não deve ser apenas uma combinação das partes individuais, portanto, as atividades devem ser organizadas de modo que os estudantes possam compartilhar com os outros integrantes do grupo o resultado de seu empenho na realização

das tarefas, assim como deve ser possível cada membro comentar e dar contribuições sobre as partes pela qual não ficou responsável. As tarefas devem ser claras e objetivas, além de interdependerem entre si.

d) Interdependência de recursos: Nesta, cada membro da equipe possui apenas parte dos recursos, informação ou materiais necessários para que uma tarefa seja realizada, assim, para o alcance da meta, os estudantes tem de partilhar entre si o material que possuem. Apesar de estar de certa forma relacionada com a interdependência de tarefas, não deve ser confundida com esta, pois estudantes podem ter o mesmo recurso, como um texto sobre determinado assunto, mas tarefas diferentes, em que um estudante pode ser responsável pelo resumo do texto, um compõe uma poesia sobre o material e um terceiro elabora três perguntas relativas ao texto; assim como podem ter materiais diferentes e tarefas distintas, por exemplo, a meta ser a produção de um mural e cada aluno possuir apenas um material, como cola, cartolina, lápis de cor e revistas, e uma tarefa diferente, que pode ser recortar figuras da revista, colar as figuras na cartolina e colocar o mural.

e) Interdependência de papéis ou funções: Ocorre quando são designadas a cada membro funções interligadas e complementares. Para o alcance da meta, cada estudante deve desempenhar seu papel com responsabilidade e eficiência. Nas equipes cooperativas, as funções podem ser divididas em “ligadas à tarefa”, que vão auxiliar na execução da tarefa, por exemplo, coordenador, relator, controlador do tempo, monitor dos materiais e controlador do barulho; e “ligadas às habilidades sociais”, responsáveis por cuidar da interação do grupo, como celebrador, ouvinte ativo, estimulador, entre outras.

Outras formas de interdependência positiva também podem ser utilizadas, pois, quanto mais tipos forem implementados na sala de aula, maior será a qualidade dos resultados alcançados (JOHNSON & JOHNSON, apud FIRMIANO, 2011).

2.2.2 Responsabilização individual

Em um trabalho em grupo, é comum situações em que um ou dois estudantes ou queiram realizar todas as atividades sozinhos ou não queiram participar do trabalho, quase não contribuindo ao longo do processo. Nesse

contexto, surge o segundo pilar da aprendizagem cooperativa, a responsabilização individual. É muito importante ter consciência de que no trabalho cooperativo as pessoas não fazem tudo juntas, pelo contrário, há um tempo em que trabalham sozinhas para, posteriormente, construírem algo maior coletivamente. Sendo assim, Johnson, Johnson e Smith (1998, p. 95) afirmam que o professor deve:

[...] estruturar uma responsabilização individual de tal modo que o desempenho de cada aluno seja avaliado: a) dando-se um teste individual a cada aluno; b) pedindo para cada estudante explicar ao colega o que tem aprendido; ou c) observando cada grupo e documentando a contribuição de cada membro.

Assim, cada célula deve se responsabilizar pelas aprendizagens definidas para aquele grupo, e isso só é possível se cada membro sente-se responsável pela tarefa que lhe foi atribuída. Como forma de incentivar os membros a serem mais responsáveis individualmente, a avaliação, ou prestação de contas, deve ser feita de duas formas: uma grupal, na qual é atribuída uma nota ao grupo, e outra individual, em que cada membro vê seu trabalho avaliado individualmente (JOHNSON; JOHNSON, 1999, apud OLIVEIRA, 2015). Se o aluno sabe que será avaliado em relação ao seu trabalho e que seu sucesso é importante para a avaliação do grupo como todo, contribuindo para a nota final da equipe, ele fica mais motivado a trabalhar com persistência e dedicação. Dessa forma, o estudante consegue alcançar a finalidade das células em Aprendizagem Cooperativa, aprender em conjunto para depois ser capaz de executar sozinho tarefas parecidas com as realizadas em célula. A contribuição para que cada membro da célula se torne alguém coerente nos seus direitos e deveres é uma dos principais objetivos da Aprendizagem Cooperativa. Portanto, ter compromisso individual na aprendizagem é a chave para assegurar que todos os membros da célula saiam fortalecidos (Johnson ;Johnson ,1999; Pujolás, 2001, apud FIRMIANO, 2011).

É importante destacar que atribuir responsabilidades a cada membro não significa que todos irão contribuir da mesma forma para a execução das atividades. Em um mesmo grupo podem existir alunos de níveis de aprendizado diferentes. Assim, as tarefas ou funções atribuídas aos membros devem ser claras, precisas e condizentes com suas capacidades, com o objetivo de que as pessoas sintam que são importante para o grupo, apesar de possuírem dificuldades específicas. Portanto, apesar de cada integrante do grupo ser responsável por cumprir a sua parte do trabalho, o grupo deve também realizar uma autoavaliação para perceber quem precisa de maior apoio no cumprimento das suas tarefas (LOPES; SILVA,

2013).

2.2.3 Interação promotora

Usualmente, nos grupos tradicionais, não há interesse, por parte dos estudantes, em promover o sucesso dos colegas. Em contrapartida, em um grupo cooperativo, os membros são estimulados a buscar promover não apenas o seu sucesso, mas também o dos demais integrantes. Essa importante habilidade é chamada de interação promotora e se caracteriza, segundo Marreiros (2001) (apud RIBEIRO, 2006), por dispor fisicamente no espaço os estudantes de modo que cada um esteja frente a frente com o outro, por exemplo, sentados formando círculos, a fim de que possam interagir encorajando e facilitando mutuamente os esforços do grupo.

Contudo, apenas interagir com os colegas não é o suficiente, para ser caracterizada como interação promotora, esta deve promover o sucesso dos outros membros do grupo no alcance de seus objetivos pessoais e das metas coletivas da célula. Para Johnson, Johnson e Smith (1998), deve ser assegurado que os alunos promovam face-a-face o sucesso um do outro, por meio de atitudes, por exemplo, oferecendo ajuda ao ensinar uma informação ou conteúdo para um colega que esteja com dificuldade em sua compreensão; dando assistência, ao mostrar uma segunda forma de chegar à resposta do problema; e valorizando os esforços uns dos outros, ao discutir em grupo as informações e os resultados que estão sendo obtidos nas tarefas individuais. Essas atividades são eficazes por propiciar a realização de processos cognitivos que promovem a aprendizagem, por exemplo, ao explicar verbalmente diferentes formas de resolver problemas, são desenvolvidas as habilidades de oratória e de enxergar uma situação sob perspectivas diferentes. Conectar o que está sendo aprendido com o que se aprendeu no passado ajuda os estudantes a enxergarem conexão e sentido nas atividades que estão realizando, assim como pedir que outros membros façam paráfrases das suas falas, lançar perguntas sobre o conteúdo estudado e oferecer feedback verbal e não verbal sobre o desempenho dos estudantes implicam processos interpessoais, como desafiar cada um a raciocinar, extrair conclusões e elaborar modelos que tornem seu aprendizado mais eficaz. “Os estudantes também passam a se conhecer a um nível tanto pessoal quanto profissional. Para se conseguir uma interação face-a-face significativa, o tamanho do grupo precisa ser pequeno (de dois a quatro membros)” (JOHNSON; JOHNSON; SMITH, 1998, p. 95).

2.2.4 Habilidades Sociais

O quarto pilar da aprendizagem cooperativa é chamado de Habilidades Sociais. Segundo Johnson, Johnson e Smith (1998), o sucesso de uma atividade cooperativa requer a utilização de habilidades interpessoais, assim, pedir para indivíduos não habilitados socialmente para cooperar tende a se transformar em algo fútil. É importante destacar que os estudantes não nascem com essas habilidades, muito menos elas surgem de forma espontânea. As competências sociais devem ser ensinadas com tanta precisão e senso de propósito quanto os conteúdos acadêmicos, sendo trabalhadas de forma correta e sistemática de modo a possibilitar sua utilização pelos estudantes. Quanto mais elevado o nível das competências sociais de cada membro do grupo, maior será seu rendimento cooperativo (Pujolás, 2001, apud RIBEIRO, 2006; Johnson; Johnson; Smith, 1998).

Segundo Johnson e Johnson (2008), o uso das habilidades sociais não deve ser considerado um luxo, sendo aprendido apenas quando o tempo permite, tendo em vista que representam uma necessidade a todos os aspectos da vida, sendo responsáveis por representar a conexão entre os membros do grupo. Pujolás (2001) (apud RIBEIRO, 2006) complementa afirmando que elas também são importantes para o incentivo à responsabilidade individual, visto que para cada educando sentir-se responsável pela tarefa recebida, as competências sociais devem se desenvolver de modo que todos os estudantes da célula confiem uns nos outros e se conheçam bem; os estudantes se sentem confortáveis com a existência um diálogo aberto e direto dentro do grupo. Em sua totalidade, os membros do grupo respeitam as diferenças individuais e oferecem apoios mútuos, de modo que os conflitos surgidos na célula sejam vivenciados de forma construtiva.

Diversas habilidades sociais afetam o sucesso do grupo, entretanto, Johnson e Johnson (2008) destacam quatro grandes grupos de competências que possuem elevada relevância: as de formação, de funcionamento, de formulação e de fermentação.

As habilidades de **formação** estão relacionadas à organização do grupo, estabelecendo normas mínimas para o comportamento adequado de cada membro. Dentro dessa categoria, as mais importantes são o monitoramento do barulho, da participação e do revezamento de tarefas.

As de **funcionamento** são responsáveis por gerir as atividades da célula e manter relações de trabalho eficazes entre os estudantes. Aqui, podem ser

destacados o compartilhamento de ideias e opiniões, buscando compreendê-las e discuti-las, encorajar a participação de todos, pedir e oferecer ajuda, utilizar a paráfrase e descrever sentimentos.

As de **formulação** são necessárias para potencializar a retenção do material estudado, ajudando a compreender mais profundamente os assuntos abordados. Nesse grupo merecem destaque sintetizar em voz alta o que foi lido ou discutido, buscar precisão nas informações, adicionar informes que não haviam sido incluídos, pontuar de forma assertiva ideias incorretas e ajudar o grupo a lembrar fatos e ideias importantes por meio de auxiliares de memória.

Por fim, as habilidades de **fermentação** estimulam o conflito cognitivo e a busca por mais informações a partir da extração de novos conceitos baseados no material de estudo. Neste último agrupamento destacam-se criticar ideias, e não pessoas, ou seja, fazer críticas a um ponto de vista sem desrespeitar seu autor, entrar em consenso, sintetizando e integrando ideias e raciocínios conflitantes em uma posição com a qual todos concordam, e gerar mais respostas, ou seja, não ficar satisfeito com apenas uma resposta para determinado problema.

Aprender habilidades sociais inclui entender a necessidades dessas competências, promovendo sua prática nos grupos, e realizando contínua avaliação da efetividade de sua prática. Se isso acontecer, não apenas o desempenho do aluno irá crescer, mas também a qualidade de seus relacionamentos e sua saúde psicológica (JOHNSON; JOHNSON, 2008).

2.2.5 Processamento de Grupo

Entre os cinco elementos importantes para que a cooperação funcione, é o processamento de grupo que possibilita o aperfeiçoamento constante da habilidade de cooperação, pois é nele que a equipe reflete sobre seu desempenho, visualizando que ações foram úteis e quais não foram, no sentido de assegurar eficientes relações de trabalho em busca das metas de aprendizagem; e sobre as potencialidades e limitações de seus membros, estudando formas de superar dificuldades surgidas para que sejam capazes de enfrentar tarefas mais difíceis e desafiadoras (JOHNSON; JOHNSON, 2008).

Para que isso seja possível, Pojulás (2001) (apud RIBEIRO, 2006) defende que esta avaliação deve ocorrer de maneira periódica e sistemática, assegurando a cada membro receber feedback sobre sua atuação e seu desempenho de modo que todos possam refletir sobre a manutenção de

determinados comportamentos e a modificação de outros. Tendo em vista que cooperar requer uma aprendizagem, caso o processamento de grupo não ocorra, os membros da equipe não terão espaço para aperfeiçoar o trabalho, de modo que o trabalho da célula poderá se tornar improdutivo (FRAILE, 1998, apud RIBEIRO, 2006). Por outro lado, ao avaliar seu processo de atuação, uma célula que inicialmente se mostrou improdutiva pode ter sucesso, pois seus membros irão ter possibilidade de resolver os problemas de forma criativa. (PUTTNAM, 1993, apud RIBEIRO, 2006). As habilidades sociais também são importantes nesse momento, pois os feedbacks devem ser expostos de forma assertiva, sem desrespeitar os membros do grupo. Assim, devido à importância do processamento de grupo para o sucesso da equipe, quanto mais habilidosos socialmente são seus membros, maior será o rendimento da célula.

Pelo fato de o processamento de grupo ser realizado, de forma geral, ao final do trabalho, algumas pessoas não o realizam corretamente, desvalorizando sua importância. Visto isso, o professor e o articulador de célula devem ter uma habilidade de liderança elevada, a fim de convencer os demais membros da importância desse momento, convencendo-os a reservar o momento final do encontro para essa reflexão sobre o trabalho e a fazer as perguntas certas sobre as atividades. Durante os primeiros processamentos de célula, o professor pode elaborar perguntas para guiar os estudantes, por exemplo, “O grupo alcançou a meta coletiva?”, “Alguém sentiu que não contribuiu de forma adequada para o trabalho?”, “Há algum conflito surgido ao longo das atividades que devam ser vivenciados agora?”. Os resultados do processamento de grupo podem incluir simplificação do processo de aprendizagem, eliminação de ações não adequadas, melhoria constante das habilidades de trabalho em equipe e oportunidade dos integrantes da célula celebrarem seus sucessos, motivando-se para trabalhos futuros.

2.3 A Aprendizagem Cooperativa no Ceará

Uma das primeiras experiências com cooperação na aprendizagem no Estado do Ceará foi a instalação de uma escola de ensino mútuo, cujo estabelecimento esteve vigente na legislação do país desde 1827 (FEITOSA, 2008). Essa escola tinha como base de funcionamento a metodologia Lancasteriana. Contudo, apesar de, entre 1900 e 1970, a aprendizagem cooperativa ter sido experimentada em diversos países da Europa, como Alemanha, Portugal e França, e

de ter tido grande espaço nos Estados Unidos nos anos 1970, com os trabalhos dos irmãos Johnson e de Elliot Aronson, no Brasil, de forma geral, essa metodologia não tem grande ocorrência, havendo alguns estudos isolados e com pouca divulgação (FIRMIANO, 2011). Apesar disso, especificamente no Ceará, o PRECE, que atualmente significa Programa de Estímulo à Cooperação na Escola, utiliza o sistema de estudo em células cooperativas desde a década de 1990, primeiramente como uma experiência puramente empírica e, mais recentemente, como um programa que tem fundamentação teórica na metodologia sistematizada pelos irmãos Johnson.

Com surgimento em 1994, em Cipó, pequena comunidade rural do município de Pentecoste, a 18 km da sede do município e composta por apenas dez famílias, à época sem água potável, telefone ou energia elétrica, o PRECE originou-se como uma resposta ao contexto difícil para o jovem que necessitava concluir a educação básica. De acordo com Gomes (2010), devido ao um processo histórico de exclusão social e pobreza, causado tanto pelas características climáticas da região, quanto, de forma mais acentuada, pelo descaso dos governantes e das autoridades do poder público em relação àquela localidade, o contexto educacional em Cipó era composto por altos índices de analfabetismo, repetência e evasão escolar, além de várias pessoas fora da faixa etária escolar adequada. Segundo Gomes (2010), como havia Ensino Médio apenas na sede do município e em Fortaleza, muitos estudantes de Cipó concluíam no máximo o Ensino Fundamental, ficando com poucas perspectivas de futuro e mobilidade social. Alguns moradores mudavam-se para capital em busca de empregos, contudo, por não possuírem qualificação profissional, acabavam exercendo ofícios que mantinham baixas suas possibilidades de ascensão profissional.

Foi então que surgiu a figura de Manoel Andrade, ex-morador da região e filho de agricultores que havia se mudado para Fortaleza quando criança, a fim de completar seus estudos, graduando-se em Licenciatura em Química e se tornando, posteriormente, professor da Universidade Federal do Ceará (UFC). Sentindo-se inconformado com a situação educacional dos jovens de sua terra de origem, o Professor Andrade concebeu uma ação educacional que pudesse, de alguma forma, contribuir para diminuição das taxas de evasão e do descaso enfrentados pelos jovens. De acordo com Neto (2016), apesar de hoje saber que os princípios do projeto concordam com concepções ideológicas de importantes educadores, essa ação não foi criada em um ambiente acadêmico, muitos menos baseou-se em

teorias pedagógicas. A gestão da ideia ocorreu de forma totalmente empírica, nascida da necessidade e do potencial da própria comunidade. Tendo identificado que muitos jovens da região não haviam continuado seus estudos por falta de estímulo, de oportunidades e por não perceberem a importância da educação, Andrade arquitetou um projeto que atendesse e oferecesse apoio para que estudantes retomassem sua educação formal. Muitos moradores foram convidados a participar, e utilizando como argumento o fato de a educação ter sido muito importante para seu desenvolvimento pessoal e financeiro, o Prof. Andrade conseguiu convencer sete jovens a participarem da empreitada: Toinho (22 anos), Noberto (20), Francisco (18), Beto (16), Orismar (17), Raquel (17) e Eudimar (22). Dentre eles, apenas Toinho havia concluído o ensino básico, os demais ainda estavam cursando ou haviam concluído o ensino fundamental, exceto Noberto, que havia abandonado a escola. Assim, a intenção inicial do professor era contribuir para que todos os alunos concluíssem o ensino básico e pudessem ingressar no ensino superior.

Os estudantes foram orientados a se matricular no supletivo, um sistema de ensino à distância no qual os alunos recebiam módulos de estudos e, posteriormente, realizavam avaliações sobre o conteúdo desse material. Ao ser aprovado nas avaliações de todos os módulos, o aluno recebia o diploma de conclusão do Ensino Fundamental ou médio, dependendo do programa no qual havia se inscrito. Para evitar que os alunos desistissem por falta de estímulo e orientação, e baseando-se em uma experiência exitosa de estudo em grupo que havia participado quando jovem, o Professor Andrade fez a seguinte sugestão aos alunos: ajudarem-se mutuamente, estudando em conjunto. Os estudos ocorriam em uma casa de farinha desativada, hoje memorial físico do PRECE, ou mesmo à sombra de um juazeiro, quando a casa estava muito escura (não havia energia elétrica), e acontecia da seguinte forma:

Aqueles que tinham melhor compreensão do conteúdo de uma determinada disciplina, tornavam-se responsáveis para cooperar com os demais naquele assunto. Assim, através da mútua cooperação nos estudos em grupo durante a semana, além do auxílio e estímulo que recebiam de minha parte durante os finais de semana [...], os estudantes foram compreendendo os conteúdos dos módulos de ensino e sendo aprovados nas avaliações. Nesse período, foram recebidas muitas doações de livros, os quais colaboraram muito para todo o processo, pois permitiam a execução de atividades de pesquisa em grupo e estimulavam os estudantes a se apropriarem do conhecimento elaborado. (NETO, 2016, p. 7).

Nesse contexto, segundo Avendaño (2008) (apud GOMES, 2010), a

experiência inicial de estudo desses estudantes, junto à falta de professores formados que pudessem ser reponsáveis pelo ensino formal dos alunos, levou ao surgimento do conceito de célula educacional cooperativa, que pode ser entendida como um pequeno grupo de estudo no qual as pessoas se ajudam mutuamente. Apesar de formada, a primeira célula de aprendizagem cooperativa da comunidade do Cipó não possuía nome, assim, inspirados na música de Milton Nascimento, “Coração de Estudante”, o grupo autointitulou-se PRECE - Projeto Educacional Coração de Estudante.

Apesar das dificuldades enfrentadas, entre elas a falta de apoio da própria família que, devido ao fato de não acreditarem na importância da educação, queriam que os estudantes se dedicassem inteiramente ao trabalho na lavoura ou fossem à cidade procurar emprego; e da comunidade, que não via sentido se reunir em uma casa abandonada de fazer farinha sem a presença de um professor, o esforço, a ousadia e a persistência dos sete primeiros trouxe resultados: em 1996, Toinho prestou vestibular e foi aprovado em primeiro lugar no curso de Pedagogia da Universidade Federal do Ceará. Esse fato foi um marco na história do município, além de ter configurado um divisor de águas do projeto. Toinho virou motivo de orgulho para a comunidade, ajudando a mudar a visão negativa que muitos moradores possuíam sobre o projeto. Incentivados pela presença de Toinho na Universidade, que retornava aos finais de semana para a comunidade e partilhava as experiências de morar na residência universitária, alimentar-se no restaurante universitário, ter contato com diversos professores e viver as emoções de viver dentro de um campus universitário, os demais participantes do projeto setiram-se mais motivados (NETO, 2016). Após a aprovação de Toinho, veio a de Francisco, a de Noberto, a de Beto e de outros estudantes, até que, no início de 2001, dez alunos já haviam ingressado no ensino superior por intermédio das ações do PRECE e retornavam aos finais de semana para ajudar os demais participantes, tornando-se multiplicadores da metodologia e mantendo um ciclo de solidariedade.

Pelo fato de a iniciativa dos sete estudantes pioneiros ter se tornado conhecida em várias localidades do município de Pentecoste e até mesmo em cidades adjacentes, muitos estudantes de outras comunidades começaram a ir à Cipó, visando a fazer parte de células cooperativas. Contudo, a pequena comunidade rural não possuía estrutura física para acolher essas pessoas. Assim sendo, alguns estudantes foram desafiados a implementar a metodologia das

células estudantis em suas próprias comunidades, levando ao surgimento das Escolas Populares Cooperativas (EPC's). Segundo Avendaño (2008) (apud GOMES, 2010), as EPCs constituem uma espécie de rede paralela de educação, controle social e desenvolvimento econômico, sendo administradas tanto pelos estudantes pré-universitários como pelos universitários e graduados que ingressaram no ensino superior por meio do PRECE. Ao longo da história do PRECE, já chegara a existir treze EPCs em sete municípios do Ceará: Apuiarés, Fortaleza, General Sampaio, Maracanaú, Paramoti, Pentecoste e Umirim. Até 2010, por intermédio do programa, mais de trezentos estudantes haviam ingressado no ensino superior, quarenta já estavam graduados, entre eles três mestres, cinco mestrandos, três doutorandos e três especialistas (GOMES, 2010).

No ano de 2004, dez após o seu surgimento, o Projeto Educacional Coração de Estudante ouviu falar pela primeira vez dos trabalhos realizados pelos irmãos norte-americanos David e Roger Johnson sobre a aprendizagem cooperativa como estratégia de aprendizagem. Assim, o PRECE enxergou duas vertentes de existência das atividades em aprendizagem Cooperativa: de um lado, estava o programa, iniciativa puramente empírica e vivenciada por estudantes populares e fora da escola formal, sem a presença de professores, além de Manuel Andrade; do outro, encontrava-se a aprendizagem cooperativa, uma metodologia sistematizada, consolidada por pesquisas com resultados práticos e bastante utilizada em escolas do exterior. Esse encontro de diferentes perspectivas foi muito importante na história do PRECE, pois possibilitou o aperfeiçoamento da experiência e a promoção da eficácia das ações do projeto, que, a partir de 2007, passou a pesquisar e incorporar formalmente os conceitos da aprendizagem cooperativa aos seus trabalhos (NETO, 2016).

O ingresso expressivo de estudantes que tinham origem popular na UFC, assim como a criação das EPCs trouxeram visibilidade às ações do PRECE, despertando o interesse da Universidade em utilizar a metodologia dentro do ambiente acadêmico (NETO, 2016). Dessa forma, em 2009, foi criada a Coordenadoria de Formação em Aprendizagem Cooperativa (COFAC), por meio da Pró-Reitoria de Graduação, visando a promover a organização de células estudantis de aprendizagem cooperativa no ambiente acadêmico da UFC. A partir disso, surgiu o PACCE, Programa de Aprendizagem em Células Cooperativas Estudantis, com o principal objetivo de colaborar para o crescimento da taxa de conclusão dos cursos

da UFC e diminuir a evasão, por meio do estímulo à construção de relacionamentos saudáveis, ao protagonismo estudantil e à autonomia dos estudantes. Atualmente, o PACCE é um programa de bolsas de monitoria sob a organização da Escola Integrada de Desenvolvimento e Inovação Acadêmica da UFC (EIDEIA) e conta com bolsistas advindos dos mais diversos cursos de graduação da UFC, divididos nas seguintes comissões: formação, apoio à célula, roda viva, interação, articuladores de projetos e acessibilidade (PACCE, 2018).

Segundo Neto (2016), a partir de 2016, o PRECE passou a ser abrigado também pela EIDEIA, configurando-se, então, como um programa cujo objetivo principal passou a ser levar os princípios da cooperação e da solidariedade para dentro das escolas públicas, de modo a promover a excelência acadêmica com equidade e contribuindo para a manutenção de uma sociedade menos desigual, mais justa e democrática. O programa defende que as seguintes premissas devam fazer parte da essência da escola: parceria professor estudante, responsabilidade individual e autonomia intelectual dos estudantes, educação sócio emocional na comunidade escolar, aprendizagem cooperativa em sala de aula e solidariedade.

Para se adequar ao novo modelo, a sigla passou a significar Programa de Estímulo à Cooperação na Escola, e as ações do PRECE foram multiplicadas por diversas regiões do Ceará, por meio das ações de 106 bolsistas de diversos cursos de graduação da UFC atuando nas escolas públicas. O PRECE foi reestruturado visando, também, à realização de uma articulação interinstitucional entre a UFC, a Secretaria da Educação do Estado do Ceará (SEDUC), as Secretarias de Educação dos Municípios do Estado do Ceará (SMEs) e o Instituto Coração de Estudante, uma das instituições organizadas pelos integrantes do programa. Para estimular os estudantes a planejar e desenvolver projetos que apoiam a escola pública, professores efetivos e contratados temporariamente atuam como coordenadores e facilitadores dos projetos desenvolvidos, que são atualmente: 1) Células Autônomas e Solidárias de Aprendizagem Cooperativa (CASA-C); 2) Iniciação à Docência em Aprendizagem Cooperativa; 3) Letras Solidárias; 4) Escolas Populares Cooperativas – EPC; 5) Memorial do PRECE; 6) Gestão pedagógica da EEEP Alan Pinho Tabosa; 7) Formação de Professores e 8) Eu Curto a Universidade (NETO, 2016).

Em 2011, houve a firmação de um convênio entre o PRECE e a SEDUC, em conjunto com a UFC. Esse convênio possibilitou a implantação da aprendizagem cooperativa em uma escola estadual de educação profissional, uma experiência

inovadora por ser pioneira no Brasil na participação de uma universidade como co-gestora de uma unidade escolar de Educação Básica, por ser a primeira escola do estado do Ceará a adotar a metodologia das Células Estudantis de Aprendizagem Cooperativa em seu Projeto Político-Pedagógico e por contar, em seu corpo docente e núcleo gestor, com a participação de profissionais que passaram por experiências proporcionadas pelo PRECE. Visto que é uma escola de educação profissional, a Alan Pinho Tabosa funciona fazendo uma integração entre o Ensino Médio e cursos profissionalizantes, sendo eles Química, Aquicultura, Informática e Acadêmico, este último destinado aos estudantes que não desejam realizar cursos profissionalizantes. Assim, os alunos que optam pela Turma Acadêmica têm uma carga horária específica para se organizarem em grupos de estudos, estimulando sua autonomia intelectual.

O convênio com a UFC possibilita que muitos universitários, especialmente dos cursos de licenciatura, pratiquem atividades que envolvem a utilização da aprendizagem cooperativa, por meio de estágios e atividades voluntárias. Assim, a escola funciona como um laboratório, no qual o PRECE desenvolve e aperfeiçoa experiências, técnicas e estratégias. Devido à relevância para esse trabalho, serão apresentadas a seguir a técnica ETMFA e a estratégia de avaliação IDACI⁴_{mod}, ambas desenvolvidas na EEEP Alan Pinho Tabosa.

2.4 A Aprendizagem Cooperativa na sala de aula

Apesar de a aprendizagem cooperativa poder ser usada de muitas formas em sala de aula, devido ao fato de, ao longo dos anos, diversos pesquisadores terem desenvolvido métodos para utilizar a cooperação no ambiente da sala de aula, aqui serão abordadas especificamente as técnicas e estratégias desenvolvidas na EEEP Alan Pinho Tabosa, devido a sua relevância para a realização deste trabalho.

Como explicitado por Sá & Moura (2008) e Zani & Nogueira (2006), o processo ensino-aprendizagem em ambiente formal exige, no mínimo, a existência de dois sujeitos que se relacionam entre si, o professor e o aluno. Assim, para que seja possível compreender como a aprendizagem cooperativa pode ocorrer na sala de aula, é necessário abordar, primeiramente, o papel desses sujeitos na perspectiva da metodologia citada.

2.4.1 Os papéis do Professor e do Aluno na Aprendizagem Cooperativa

Na aprendizagem cooperativa, a função do professor não se restringe à transmissão de conteúdos. Também é de sua responsabilidade estimular o

surgimento de comportamentos e atitudes diferentes, atuando como facilitador da aprendizagem. De acordo com Roldão (2000), o fazer pedagógico do professor está centrado na busca por conquistar a atenção dos estudantes, despertando nestes o gosto pelo aprender e proporcionando situações para que os alunos consigam desenvolver novas formas de comunicação e compreensão. Para cumprir seu papel com excelência, o docente deve conhecer muito bem os métodos que está aplicando, a ponto de ser capaz de fazer ajustes e alterações sempre que for necessário, mas sem desviar dos princípios que regem a ocorrência da cooperação (MONEREO; GISBERT, 2005).

Frente a essa realidade, para realizar aulas em aprendizagem cooperativa, o professor deve se preocupar em dividir suas atividades em três momentos, pré-implementação, implementação e pós-implementação (LOPES; SILVA, 2003). Na pré-implementação, que ocorre durante o planejamento da aula, é importante: especificar os objetivos de ensino, determinar os tamanhos das células e que estratégias serão utilizadas para dividir os alunos em grupos, atribuir papéis a cada estudante, pensar na organização estrutural da sala de aula, elaborar materiais de ensino que promovam a interdependência positiva e a responsabilidade individual, distribuir tarefas entre os estudantes, estabelecer comportamentos adequados e determinar os critérios de sucesso do grupo. A implementação é a etapa de execução da aula, na qual o docente deve: observar como as células estão trabalhando e se estão conseguindo utilizar os tempos determinados para cada atividade, intervir caso seja necessário e incentivar elogiando células que estejam trabalhando adequadamente e cumprindo suas responsabilidades. Por fim, na pós-implementação, ainda na execução da aula, cabe ao professor: promover um encerramento, sintetizando e destacando pontos importantes da aula, avaliar a aprendizagem, fornecendo *feedbacks* sobre os desempenhos dos discentes e incentivar os estudantes a refletirem sobre o trabalho realizado (LOPES; SILVA, 2003).

Em relação à atuação do estudante, espera-se que ele possa desenvolver habilidades de liderança e autonomia intelectual, responsabilizando-se, também, pelo seu aprendizado (FIRMIANO, 2011). Além disso, devido ao fato de a atividade cooperativa estar diretamente relacionada com a interação social entre os alunos, estes devem realizar trabalhos em pequenos grupos (entre três e cinco estudantes) ao longo das aulas, pois “o sucesso de um esforço cooperativo exige as habilidades

interpessoais e o potencial de grupos pequenos” (JOHNSON; JOHNSON; SMITH, 1998, p. 95). Assim, na aprendizagem cooperativa, as responsabilidades são divididas de modo que cada membro do grupo tenha a oportunidade de experimentar diferentes papéis, o que acaba por incentivar a percepção da interdependência positiva de funções (FIRMIANO, 2011). O professor fica livre para escolher quais papéis serão importantes para a realização da atividade planejada e distribuí-los entre os estudantes, desde que três aspectos sejam respeitados: 1 - cada membro do grupo deve possuir uma função única, ou seja, dois membros de uma mesma célula não podem desempenhar funções iguais; 2 - todas as funções devem ser importantes para o alcance da meta coletiva, pois o estudante precisa se sentir valorizado durante a aula; 3 - ao longo do ano, os papéis desempenhados pelos estudantes devem ser rotativos, a fim de que eles tenham a oportunidade de desenvolver diferentes habilidades.

2.4.2 A técnica ETMFA

Segundo Firmiano (2011), a construção da sala de aula cooperativa depende, em grande parte, da capacidade do professor em utilizar técnicas dessa metodologia e estimular seus estudantes a aceitá-las. Esta não é uma tarefa fácil, pois construir uma sala de aula baseada na cooperação implica realizar uma mudança nas normas tradicionais (COHEN, 1994, apud FIRMIANO, 2011). O aluno, que antes agia individualmente e de forma passiva, agora terá de ajudar os colegas, sendo responsáveis pelo seu comportamento e pelo de sua célula. Além de ouvir o professor atentamente, os estudantes devem também ouvir com atenção seus colegas, aprendendo a dar oportunidade para que todos falem.

Essa mudança de paradigma pode causar uma rejeição inicial à utilização da metodologia, pois tanto os professores quanto os estudantes sentem dificuldade de, no início, adequarem-se a ela. Nesse contexto, quando a EEEP Alan Pinho Tabosa foi inaugurada, por ser a primeira escola a utilizar a metodologia da aprendizagem cooperativa no Ceará, tanto professores quanto estudantes, que haviam assistido a aulas no modelo tradicional durante todo o Ensino Fundamental, eram inexperientes em se tratando de aprendizagem cooperativa na sala de aula. Assim, visando a diminuir possíveis resistências dos estudantes à nova metodologia, bem como a possibilitar aos professores tempo para se especializarem na utilização da metodologia em sala de aula, foi desenvolvida, na Alan Pinho, uma técnica de transição metodológica entre a abordagem tradicional expositiva e a abordagem da

aprendizagem cooperativa, chamada de Estratégia Cooperativa ETMFA, que se baseia nos cinco pilares necessários para que haja cooperação, mas ainda mantém alguns aspectos da abordagem tradicional. Ela é composta por cinco momentos: **Exposição** introdutória, realização de uma **Tarefa** individual, trabalho em equipe para alcançar uma **Meta** coletiva, **Fechamento** da aula e **Avaliação** individual de conhecimentos.

Os aspectos da metodologia tradicional expositiva são observados no momento da **exposição inicial**. Nessa etapa, o professor apresenta os objetivos da aula, faz uma exposição sobre o conteúdo abordado e fornece detalhes sobre as atividades individuais e a meta coletiva. É importante que essa exposição seja bem elaborada e estimule os estudantes a aprender o assunto em questão, por meio da utilização, sempre que possível, de recursos didáticos variados e que despertem o interesse do aluno. Como o trabalho em aprendizagem cooperativa é centrado na atuação em grupos, a exposição inicial não deve exceder 30% do tempo total da aula, sendo aconselhado que, nesse momento, a participação dos estudantes, apesar de permitida, não seja estimulada, pois haverá um momento adequado para essa participação. À medida que os discentes forem desenvolvendo a habilidade de trabalhar em grupos, essa etapa pode ser diminuída ou até extinguida, a fim de que as atividades individuais e em grupo possam ser melhores trabalhadas, contudo, para isso, o professor deve ter absoluta certeza de que os estudantes são autônomos e possuem nível de autoeficácia suficiente para trabalhar em células sem receber orientações prévias. Dependendo do tempo de aula que dispõe, o docente pode optar por realizar a exposição inicial em uma aula e conduzir os trabalhos em grupo na outra, sem, entretanto, esquecer que quanto maior seu tempo de fala, menos oportunidade de participar ativamente os alunos terão (PRECE, 2016).

Após a exposição, têm-se início os trabalhos em equipe. Além de adotar a divisão em pequenos grupos, com três integrantes, a EEEP Alan Pinho Tabosa também optou por utilizar a estratégia de células heterogêneas, aqui definidas como formadas por indivíduos com diferentes pensamentos, capacidades cognitivas, gêneros, etnias, entre outras características, pois equipes com esse perfil tendem a ser mais criativas, além de sentirem necessidade de maior elaboração cognitiva, por estarem constantemente tendo que lidar com opiniões diferentes, fato que aumenta o rendimento acadêmico. Sobre equipes heterogêneas, Greenberg e Baron (1995) destacam que, em se tratando de atividades complexas, envolvendo a tomada de

muitas decisões, a heterogeneidade é positiva, visto que as contribuições de indivíduos com diferentes pontos de vista e experiência contribuem para uma tomada de decisão mais coerente. Apesar de trazer muito benefícios, a atuação em grupos heterogêneos também pode levar a um maior surgimento de conflitos, portanto, é importante elaborar estratégias para que as diferenças entre os membros possam potencializar o trabalho em uma equipe, e não o inverso. Nesse contexto, a divisão de grupos na Alan Pinho é organizada de modo que, ao longo do ano, todos os alunos tenham interagido entre si pelo menos uma vez. Ademais, a tática do Contrato de Cooperação e Aprendizagem também é adotada. Assim, antes de iniciarem as atividades, os alunos firmam um acordo de como o trabalho irá ocorrer, citando as habilidades sociais necessárias para o bom desempenho do grupo, prevendo obstáculos e estratégias para superá-los e realizando a divisão de funções. As funções mais utilizadas na escola profissional de Pentecoste são:

- a) Coordenador de célula: Responsável por certificar-se de que todos os membros da célula conhecem os objetivos do grupo e as estratégias de trabalho, além de estimular o alcance das metas e cuidar para que a célula funcione de forma eficaz, mantendo o foco nas atividades e vivenciando os conflitos de forma construtiva.
- b) Guardiã do tempo: Cronometra o tempo de execução de cada atividade e da fala de cada um, comunicando de forma assertiva aos colegas quando o tempo que resta para a conclusão das atividades estiver perto de acabar, a fim de todos possam participar ativamente.
- c) Relator: Mantém-se atento aos pontos principais relatados pelos colegas, fazendo síntese oral ou escrita das respostas dos membros da célula. É o responsável pelo preenchimento do instrumental da meta coletiva.
- d) Guardiã do contrato de Cooperação: Cuida para que os termos do contrato de cooperação sejam cumpridos. Ao longo do encontro, deve anotar observações acerca de pontos do contrato que não foram cumpridos para apresentar no processamento de grupo.
- e) Estimulador: Fica atento à participação dos membros, estimulando os que não estão participando e destacando a importância da contribuição de todos para o alcance da meta.

Estando esses detalhes acertados, a terceira etapa da ETMFA pode ser iniciada. Dentro do grupo, cada estudante possui uma **tarefa individual** e diferente, que deve ser executada e é imprescindível para o alcance da meta coletiva, incentivando a interdependência de tarefas e a responsabilidade individual. As tarefas elaboradas pelo professor precisam ser específicas e coerentes com os objetivos da aprendizagem e a meta coletiva, além de ser compatível com o nível cognitivo do estudante. Além de tarefas distintas, também podem ser oferecidos aos alunos, sempre que possível e dependendo da estrutura econômica da escola, materiais diferentes, incentivando a interdependência positiva de recursos. É importante elaborar as atividades de modo que a meta coletiva só possa ser alcançada caso todos os integrantes da célula de fato se dediquem em sua tarefa individual. Essa **meta coletiva** é realizada em grupo, contando com a participação de todos os integrantes da equipe. É importante que haja tempo para que os alunos comentem os resultados de suas tarefas individuais e discutam os produtos obtidos pelos seus companheiros de equipe, compartilhando o que aprenderam e verificando se seus colegas de célula estão compreendendo, por meio da utilização de estratégias de interação promotora. Quando cada membro compartilhar, deve ser elaborado, em conjunto, um produto, que pode ser um resumo, o preenchimento de uma tabela, a resolução de uma lista de exercícios, entre outros. Incentiva-se que o professor receba esse produto ao final da aula, valorizando as equipes que lograram êxito em sua execução, podendo, inclusive, estimular a interdependência de recompensa por meio da atribuição de bonificações individuais para todos os membros cujas células tiveram trabalho cooperativo satisfatório (PRECE, 2016).

As duas etapas finais da técnica são o fechamento e a avaliação individual de aprendizagem. Durante o **fechamento**, a participação dos estudantes é livre e incentivada. Nele, os alunos podem perguntar dúvidas que ainda existam mesmo após o trabalho em grupo, porém o docente também pode organizar estratégias de participação, como pedir que o relator de cada célula apresente os resultados obtidos pelo sua equipe. Também é de responsabilidade do docente, nesse momento, resolver os exercícios que tenham sido propostos, realizar conclusões acerca das tarefas e preparar os estudantes para a **avaliação individual da aprendizagem**. Esta, como o nome sugere, deve ser individual e ocorrer ao final de cada aula, sendo uma das táticas utilizadas para avaliar se os objetivos da aula foram alcançados, além de ser muito importante para a atribuição de notas na

estratégia $IDACI^4_{mod}$. Devido ao fato de contar com questões que abordam os conteúdos de todas as tarefas individuais, ela também incentiva o sentimento de interdependência positiva e a responsabilidade individual dos estudantes, pois eles percebem que sua atuação é importante para o seu sucesso e o de seus colegas. Por meio da avaliação individual, o professor também pode reconhecer que estudantes ficaram com déficit na aprendizagem do conteúdo estudado e dar feedbacks constantes sobre o desempenho acadêmico e cooperativo dos alunos.

É extremamente importante que o docente reserve um tempo final da aula para que os estudantes possam realizar um processamento de grupo sobre o trabalho cooperativo naquela aula. Inicialmente, podem ser sugeridas perguntas norteadoras para os estudantes utilizarem nesse momento, contudo, o ideal é que eles consigam realizar essa etapa de forma autônoma, expondo sentimentos positivos e negativos, vivenciando possíveis conflitos de forma construtiva e reconhecendo erros e acertos da execução da tarefa, além de proporem soluções para os problemas e realizarem comemoração de resultados obtidos (PRECE, 2016).

2.4.3 O $IDACI^4_{mod}$

A estratégia de avaliação de desempenho cooperativo IDACI – Índice de Desempenho Cooperativo Individual – foi desenvolvida na EEEP Alan Pinho Tabosa pelos Professores Ubiratan Araújo Cunha e Francisco Milton de Sousa, orientados por Manuel Andrade, em suas dissertações de mestrado. Professores e gestores sentiam a necessidade de uma abordagem sistematizada de avaliação que considerasse o desempenho acadêmico dos estudantes e seu potencial cooperativo, o que levou ao desenvolvimento do $IDACI^4_{mod}$, tendo como base teórica a avaliação na aprendizagem cooperativa, que, de acordo com Cochito (2004), não tem enfoque na classificação, mas sim na obtenção do conhecimento e no aperfeiçoamento de determinadas competências, e nas hipóteses defendidas por Johnson et al (1984) (apud COCHITO, 2004) acerca dos resultados individuais, que podem ser obtidos por meio de testes individuais acrescentados de pontos caso o trabalho em grupo tenha sido particularmente bom, ou por intermédio da soma dos resultados individuais com os conquistados pelo grupo.

O modelo da avaliação individual utilizada na Alan Pinho foi padronizado como sendo composto por cinco questões, sendo a meta individual de cada estudante acertar no mínimo três. Com o objetivo de verificar se houve de fato o

compartilhamento eficiente das informações durante o trabalho em grupo, assim como possíveis dificuldades cognitivas dos estudantes, foi instituída também a meta cooperativa². Fundamentando-se nesses aspectos, o Professor Milton de Souza desenvolveu o IDACI⁴_{mod}, onde o índice “4” representa um ciclo de quatro aulas, enquanto o índice “mod” representa “modificado”, pois essa estratégia de avaliação de desempenho foi baseada no IDACI⁴, elaborado pelo Professor Ubiratan Cunha e que não será abordado nesse trabalho.

O IDACI⁴_{mod} é composto por três algarismo, onde a unidade e a dezena representam o desempenho acadêmico do estudante, enquanto a centena corresponde ao seu desempenho cooperativo e depende do alcance da meta cooperativa em sua célula. O desempenho acadêmico do estudante é obtido somando-se o número de questões acertadas por ele na avaliação individual, enquanto o cooperativo é obtido atribuindo uma bonificação de cem pontos sempre que o grupo alcança a meta cooperativa. Assim, no período de quatro aulas, o desempenho acadêmico pode assumir os valores inteiros contidos no intervalo [0, 20], e o cooperativo, os valores 0, 100, 200, 300 e 400, associados aos níveis de cooperação um, dois, três e quatro, respectivamente. A pontuação total de cada aluno é obtida somando-se seu desempenho individual à bonificação obtida em cada trabalho em célula, podendo assumir, ao final de quatro aulas da mesma disciplina, um valor entre zero e 420. A tabela abaixo, exemplifica a composição do IDACI⁴_{mod} para o aluno fictício José.

Tabela 1 – IDACI⁴_{mod} do aluno fictício José

Nome do estudante	Nº de itens acertados				Total de acertos
	Célula 1	Célula 2	Célula 3	Célula 4	
	Avaliação 1	Avaliação 2	Avaliação 3	Avaliação 4	
José	4	5	4	5	18
Colega 1	3	5	4	3	-
Colega 2	2	4	5	2	-
Bônus	0	100	100	0	200
IDACI ⁴ _{mod} absoluto					218

Fonte: Elaborada pela autora.

Os valores do IDACI⁴_{mod} podem ser normalizados no parâmetro de 0 a 10, geralmente utilizados nas escolas. Apesar de a classificação quantitativa não ser o foco da avaliação, pode ser um reflexo direto da aprendizagem, além de possuir

² Diferente da meta coletiva, a meta cooperativa é alcançada quando todos os componentes da célula obtém sucesso no alcance de suas metas individuais. Por exemplo, em uma célula cooperativa composta por três estudantes, dois entre eles acertaram quatro questões na avaliação individual, contudo, o terceiro acertou apenas duas questões, assim, nesse caso, a meta cooperativa não foi alcançada.

relevância, especialmente à medida que se vai avançando no ano de escolaridade e as médias acabam se tornando condicionadoras de futuro (COCHITO, 2014). Nesse contexto, além de ser uma estratégia de atribuição de notas, o $IDACI^4_{mod}$ também se constitui em uma ferramenta para que o aluno conheça seu rendimento acadêmico e os assuntos em que precisa de reforço teórico, além de conhecer em que nível de cooperação se encontra, tendo a possibilidade de receber orientações sobre que ações adotar para estar em constante melhoria nesse aspecto. Em relação ao $IDACI^4_{mod}$, o aluno pode ter os seguintes níveis de desempenho cooperativo ao final de quatro aulas:

Tabela 2 – Níveis de desempenho cooperativos de acordo com o $IDACI^4_{mod}$

Nível de Desempenho Cooperativo (NDC)	Possibilidades de $IDACI^4_{mod}$ obtidos em um ciclo de 4 aulas.
Muito cooperativo	412 – 420
Cooperativo	309 – 320
Mediano cooperativo	206 – 220
Pouco cooperativo	103 – 120
Cooperativo insuficiente	0 – 20

Fonte: CUNHA, 2014.

3 FÍSICA MODERNA

A montagem da proposta didática para o Ensino de Relatividade Restrita baseou-se em dois eixos principais a serem abordados em sala de aula com os estudantes: contexto histórico do surgimento da Física Moderna e Teoria da Relatividade Restrita (postulados, consequências e aplicações). Nesse contexto, será feita a seguir uma introdução teórica acerca desses eixos, assim como uma breve análise do panorama de Ensino de Física Moderna no Brasil.

3.1 Da Física Clássica à Física Moderna

De acordo com Segrè (1980), a física clássica ao final do século XIX possuía uma estrutura que podia ser considerada, até certo ponto, completa e harmoniosa. O amadurecimento da mecânica, com as contribuições de Isaac Newton, o conceituado físico inglês, o formalismo desenvolvido por William Hamilton e Gustav Jacobi, bem como sua sistematização, realizada pelo matemático italiano Joseph-Louis Lagrange, fizeram que ela parecesse constituir um modelo universal. Por outro lado, os trabalhos do físico e matemático escocês James Clerk Maxwell descreviam de forma até então satisfatória o eletromagnetismo. Assim, com a

publicação feita por Maxwell, entre 1861 e 1862, do artigo “*On Physical Lines of Force*”, parecia que todo o universo se estruturava em dois pilares:

a) o eletromagnetismo, por meio das relações hoje conhecidas como Equações de Maxwell,

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho.$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0.$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}.$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{4\pi\mathbf{j}}{c}.$$

nas quais \mathbf{E} e \mathbf{B} são os campos elétrico e magnético, respectivamente, ρ é a densidade de cargas, c é a velocidade da luz e t é o tempo. Essas equações incluíam os fenômenos da luz, conforme comprovado pelo físico alemão Heinrich Hertz, em 1887, mediante experimentos realizados com esferas de bronze polidas e eletrodos;

b) a mecânica, que podia descrever o movimento dos corpos celestes por meio de

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} = k \frac{m \cdot m'}{r^2}. \quad (1)$$

onde \mathbf{a} é a aceleração do corpo de massa m , k é a constante gravitacional, m e m' são as massas dos corpos e r é a distância entre eles.

Bem, se a física clássica estava tão bem estabelecida nesse período, por que foi necessário o surgimento da física moderna?

Primeiramente, pensar que a física já estava determinada pode ser considerada uma radicalização, visto que, apesar de inúmeras comprovações experimentais autenticando a validade das duas áreas, conciliar a mecânica de Newton com o eletromagnetismo maxwelliano era uma tarefa bastante difícil, além disso, havia também a ciência da termodinâmica a ser considerada. Esta, diferente da mecânica e do eletromagnetismo, podia ser aplicada a todos os modelos, apesar de não sugerir nenhum em específico, sendo os raciocínios nessa área bastante sutis, mas absolutamente sólidos e conclusivos, levando-a a constituir um terceiro pilar da física, provavelmente o mais firme (SEGRÈ, 1980).

Há dois tipos de fenômenos a serem analisados quando se fala de termodinâmica, os reversíveis, que podem realizar tanto a trajetória direta quanto a inversa em um processo, e os irreversíveis, que apenas podem ser executados em um sentido. A nível macroscópico, são observados muitos fenômenos irreversíveis, por exemplo, a quebra da casca de um ovo ao cair no chão; naturalmente, o ovo não se reconstitui e volta para a mão de quem o derrubou. Contudo, em sua totalidade, os fenômenos eletromagnéticos e mecânicos são todos reversíveis no ponto de vista dessas duas ciências, o que constituía certa contradição.

Mesmo que algumas ideias em desacordo, como a citada acima, tenham sido explicadas com o surgimento da mecânica estatística, que introduz os conceitos da teoria de probabilidade na racionalização de fenômenos macroscópicos, ainda havia determinadas questões inexplicáveis do ponto de vista da mecânica clássica. Entre elas, a não comprovação experimental, em alguns casos, de um resultado que já havia sido rigorosamente provado com base na mecânica newtoniana, o de que, conforme afirma Segrè (1980, p. 67), “qualquer grau de liberdade de um sistema em equilíbrio térmico tem energia cinética média de $\frac{1}{2}kT$ ”, onde k é a constante de Boltzmann e T é a temperatura. Contudo, dois problemas merecem especial destaque: o da radiação do corpo negro, cujo estudo levou ao surgimento de um ramo da física totalmente diferente daquela conhecida até então, a física quântica, e o da aparente não obediência das equações de Maxwell ao princípio da relatividade de Galileu.

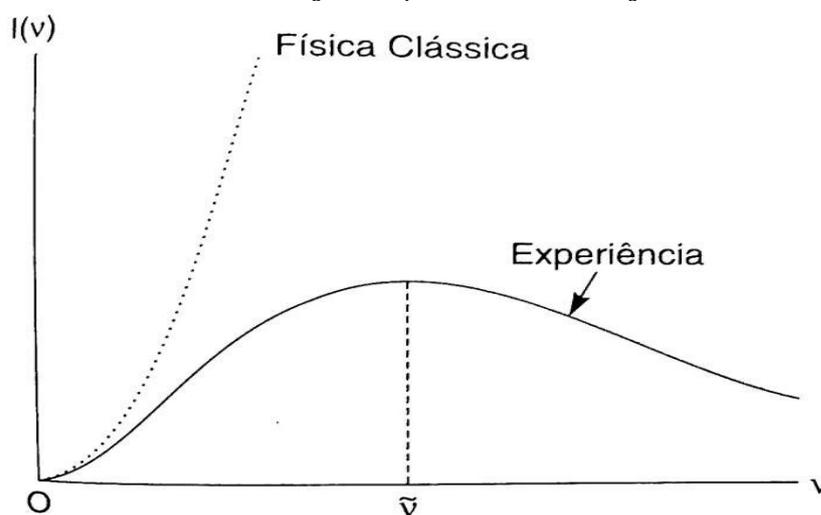
3.1.1 A Radiação do Corpo Negro

Apesar de a teoria quântica não fazer parte dos objetivos de estudo desse trabalho, a questão da catástrofe do ultravioleta na radiação de um corpo negro será abordada aqui brevemente, devido a sua importância para a física moderna. Como explica Segrè (1980), para que um corpo seja considerado negro ele tem de absorver completamente as radiações eletromagnéticas que caem sobre ele. Diretamente dessa definição, pode-se concluir que o poder de absorção de um corpo negro, ou seja, a fração de energia incidente que é absorvida, é igual a um. Por outro lado, esse corpo também emite radiação em forma de ondas eletromagnéticas, de certa frequência, estando todas as frequências nela representadas, cada qual com sua própria intensidade, e essa emissão está relacionada com a emissividade do corpo, que é a potência eletromagnética emitida

por unidade de superfície. Na prática, o orifício de uma cavidade, assim como uma porta de forno, podem ser considerados corpos negros.

A partir de resultados experimentais, sabe-se que, à medida que a temperatura aumenta, a radiação visível adquire uma cor vermelho vivo, ficando posteriormente mais branca, com tendências ao azulado. Assim, ainda que o espectro seja contínuo, a coloração que domina é deslocada para frequências cada vez maiores quanto maior a temperatura (NUSSENZVEIG, 2010). O gráfico 1 indica o aspecto da distribuição espectral observada para a frequência da intensidade de radiação, onde $\tilde{\nu}$ é a frequência de pico, que cresce com a temperatura, e a curva pontilhada indica a predição da física clássica.

Gráfico 1 – Distribuição espectral da radiação térmica



Fonte: NUSSENZVEIG, 2010.

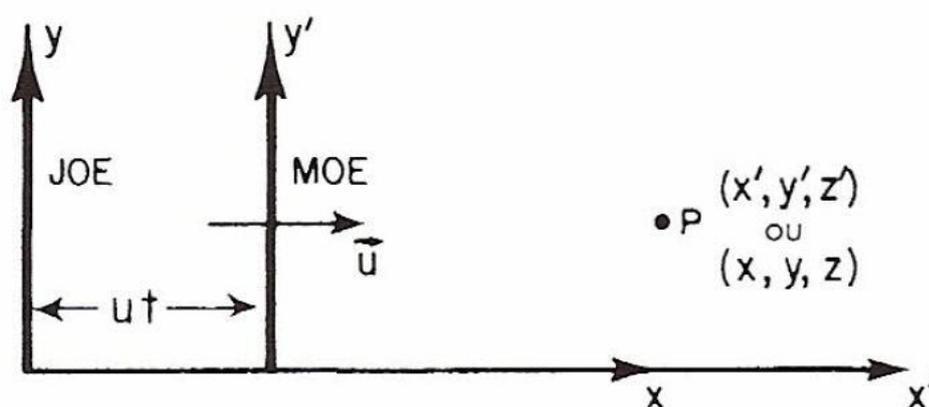
A partir do gráfico 1, é possível observar que os resultados previstos pela física clássica e os obtidos experimentalmente concordam bem para frequências menores que $\tilde{\nu}$, contudo, após esse ponto, o desvio entre as duas curvas é cada vez maior. Além disso, a física clássica prevê que a energia total da radiação emitida pelo corpo negro seria infinita. Apesar de diversos físicos terem tentado encontrar uma equação para a emissividade que concordasse perfeitamente com os resultados observados, entre eles, o alemão Wilhelm Wien e o inglês William Strutt, terceiro barão de Rayleigh, apenas em 1900, com a apresentação do físico alemão Max Planck em uma reunião da Sociedade Alemã de Física, foi possível obter uma teoria em concordância com a prática. Para conseguir isso, Planck teve de abandonar uma das ideias mais inquestionáveis da física, postulando que a troca de energia entre a radiação e as paredes não ocorria de forma contínua, mas sim de

forma quantizada, ou seja, ao contrário do que se acreditava, um oscilador com frequência ν apenas poderia absorver ou emitir energia em múltiplos inteiros de um pequeno pacote de energia, que ele chamou de *quantum*. Quando questionado pelo físico norte-americano R. W. Wood, em 1931, como ele havia pensado em algo tão extraordinário, Planck respondeu, conforme cita Hermann (1971, p. 23, apud SERGRÈ, 1980, p. 78), “foi um ato de desespero. Durante seis anos fiquei lutando com a teoria dos corpos negros. Era preciso que eu descobrisse uma explicação teórica a qualquer preço que não fosse a inviolabilidade das duas leis da termodinâmica”.

3.1.2 As Equações de Maxwell e o Princípio da Relatividade de Galileu

Segundo Nussenzveig (2010), o princípio de relatividade da mecânica, devido a Galileu, diz ser impossível detectar um movimento retilíneo e uniforme entre dois referenciais inerciais por qualquer efeito sobre as leis da dinâmica. Foi em um dos seus corolários das leis do movimento que Newton enunciou pela primeira esse princípio, afirmando que “os movimentos de corpos em um dado espaço são os mesmos entre si, caso esse espaço esteja em repouso ou se movendo uniformemente em linha reta” (FEYNMAN, 2009, p. 15-1). Para mostrar que as leis de Newton do movimento obedecem a esse princípio, Feynman propõe a situação esquematizada na figura 1.

Figura 1 – Dois sistemas de coordenadas em movimento relativo uniforme ao longo do eixo x



Fonte: FEYNMAN, 2009.

Nela, Moe se move na direção x com velocidade uniforme u e mede a posição de certo ponto, chamando a distância x' do ponto de x' em seu sistema de coordenadas, enquanto Joe, que está em repouso, mede a posição do mesmo ponto e chama a coordenada x desse ponto de x . Supondo que as origens dos dois

sistemas inicialmente coincidem, após um período de tempo t , Moe terá se deslocado, no eixo x , uma distância igual a $u \cdot t$, porém nos eixos y e z não há movimento relativo. Desse modo, as coordenadas dos dois sistemas se relacionam da seguinte forma:

$$\begin{cases} x' = x - u \cdot t. \\ y' = y. \\ z' = z. \end{cases} \quad (2)$$

Além disso, $t' = t$, pois na mecânica clássica o tempo é uma grandeza absoluta. Derivando com relação ao tempo os dois lados de (2), obtêm-se as relações entre as componentes das velocidades:

$$\begin{cases} \frac{dx'}{dt} = \frac{dx}{dt} - u \frac{dt}{dt} \Rightarrow v'_x = v_x - u. \\ \frac{dy'}{dt} = \frac{dy}{dt} \Rightarrow v'_y = v_y. \\ \frac{dz'}{dt} = \frac{dz}{dt} \Rightarrow v'_z = v_z. \end{cases} \quad (3)$$

Por fim, derivando em relação ao tempo os dois lados de (3), obtêm-se as relações entre as componentes da aceleração:

$$\begin{cases} \frac{dv'_x}{dt} = \frac{dv_x}{dt} - \frac{du}{dt} \Rightarrow a'_x = a_x. \\ \frac{dv'_y}{dt} = \frac{dv_y}{dt} \Rightarrow a'_y = a_y. \\ \frac{dv'_z}{dt} = \frac{dv_z}{dt} \Rightarrow a'_z = a_z. \end{cases} \quad (4)$$

Visto que $a' = a$ e que a transformação de Galileu não afeta as distâncias entre partículas, muito menos suas massas, fica mostrado que (1) parece igual no sistema em movimento e no sistema em repouso:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{F}' = m\mathbf{a}'.$$

De (3), é possível concluir que, se uma pessoa viaja em um carro com velocidade constante u , e a luz vinda de trás passa pelo carro com velocidade igual a c , a velocidade da luz medida no carro seria igual a $c' = c - u$. Contudo, conforme afirma Feynman:

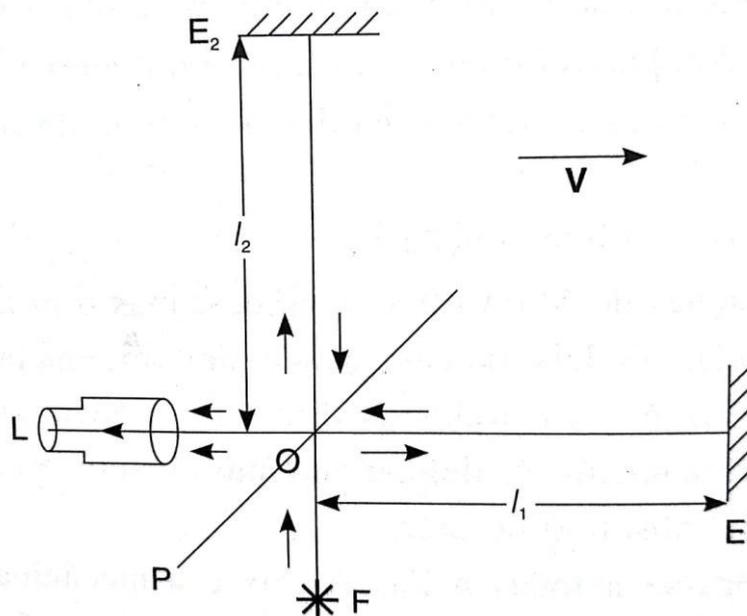
Uma das conseqüências das equações de Maxwell é que, se ocorre uma perturbação no campo, de modo que seja gerada luz, essas ondas eletromagnéticas movem-se em todas as direções igualmente e **à mesma velocidade c** , ou 3×10^8 m/s. Outra conseqüência das equações é que, se a fonte da perturbação está se movendo, a luz emitida percorre o espaço **à mesma velocidade c** (FEYNMAN, 2010, p. 15-2, grifo nosso).

Nesse contexto, havia três possíveis situações para explicar a contradição para a velocidade relativa da luz: 1 – o princípio da relatividade é válido para todas as leis físicas, assim, partindo do pressuposto de que a mecânica newtoniana é correta, as equações de Maxwell deveriam ser modificadas; 2 – o princípio da relatividade não se aplica a todas as leis físicas e tanto a mecânica newtoniana quanto as equações de Maxwell são válidas, sendo que estas últimas não obedecem ao princípio da relatividade de Galileu, portanto, existe um referencial absoluto no qual a velocidade da luz é c em todas as direções, devendo ser possível detectar um movimento retilíneo e uniforme em relação a esse referencial utilizando-se experiências eletromagnéticas; 3 - o princípio da relatividade pode ser aplicado a todas as leis da física, assim, partindo do pressuposto que as equações de Maxwell estão corretas, a mecânica newtoniana e as transformações de Galileu não são corretas (NUSSENZEIG, 2010).

Devido ao fato de as equações de Maxwell serem relativamente novas à época, tendo cerca de apenas vinte anos, a primeira hipótese foi uma das mais consideradas, assim, houve tentativas de mudar essas equações para que, sob as transformações de Galileu, elas obedecessem ao princípio da relatividade. Contudo, essa tentativa logo foi abandonada, pois os termos que se fazia necessário acrescentar às equações previam novos fenômenos elétricos que não eram observados experimentalmente.

Uma das verificações mais famosas acerca da situação número dois foram os experimentos realizados pela primeira vez em 1881, por Abraham Michelson e Williams Morley. O referencial absoluto citado nessa hipótese era o éter, um meio hipotético que se supunha permear todo o espaço. Uma vez que as ondas eletromagnéticas se propagariam nesse meio, se uma fonte de luz ou um observador realizasse um movimento em relação ao éter, esse movimento deveria ser observado de alguma forma, como ocorre quando uma fonte se com velocidade igual à do som em relação ao ar parado. Partindo desse pressuposto, Michelson e Morley tentaram determinar a velocidade absoluta da Terra através do éter, utilizando um aparelho parecido com o da figura 2, composto por dois braços, de comprimentos l_1 e l_2 , uma fonte F de luz, uma placa semiespelhada divisora do feixe P , dois espelhos, E_1 e E_2 , e uma luneta de observação L .

Figura 2 – Experimento de Michelson e Morley



Fonte: NUSSENZEIG, 2010.

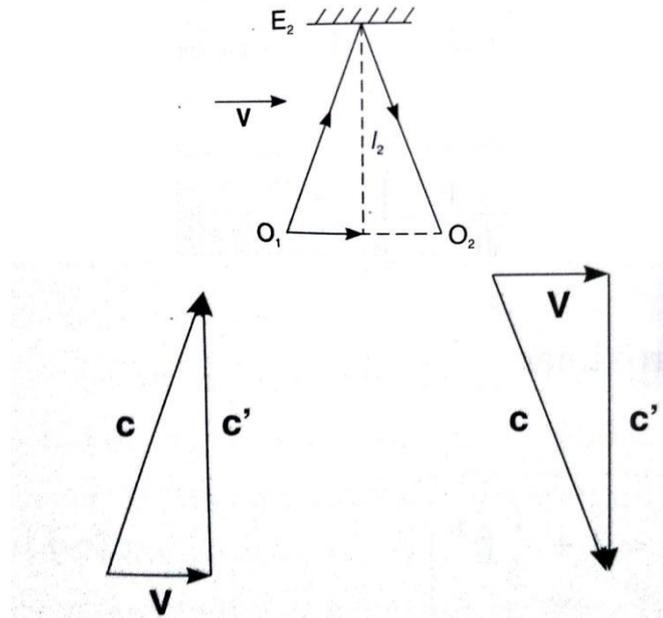
O feixe emitido pela fonte F passa por P e é dividido, com uma parte seguindo a direção de l_1 e outra a de l_2 . Considerando que a Terra se mova com velocidade V em relação ao éter na direção de OE_1 , a primeira relação de (3) fornece a velocidade relativa da luz com relação à Terra na ida até o espelho E_1 e na volta:

$$\begin{cases} c'_{ida} = c - V. \\ c'_{volta} = c + V. \end{cases} \quad (5)$$

O tempo total para a luz percorrer o caminho de ida e volta ao longo de l_1 é, portanto:

$$t_1 = \frac{l_1}{c-V} + \frac{l_1}{c+V} \Rightarrow t_1 = \frac{2l_1c}{c^2-V^2}. \quad (6)$$

Ao longo de l_2 , entretanto, o caminho percorrido visto do referencial do éter, é como o mostrado na figura 3, pois a placa P desloca-se da posição O_1 para a posição O_2 .

Figura 3 – Percursos com relação a l_2 

Fonte: NUSSENZVEIG, 2010.

Como a velocidade relativa da luz na ida e na volta serão iguais, com módulo $c' = \sqrt{c^2 - V^2}$, para esse caminho, o tempo total ao longo de l_2 será igual a:

$$t_2 = 2 \frac{l_2}{\sqrt{c^2 - V^2}}. \quad (7)$$

É possível colocar c em evidência nas equações, obtendo o termo adimensional $\beta = \frac{V}{c}$, desse modo, quando retornarem à placa P, os feixes irão sofrer interferência, pois terão percorrido caminhos diferentes, estando, portanto, fora de fase. A diferença de caminho óptico entre os dois percursos pode ser escrita como:

$$\Delta = c(t_2 - t_1) = \frac{2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \left(\frac{l_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - l_2 \right). \quad (8)$$

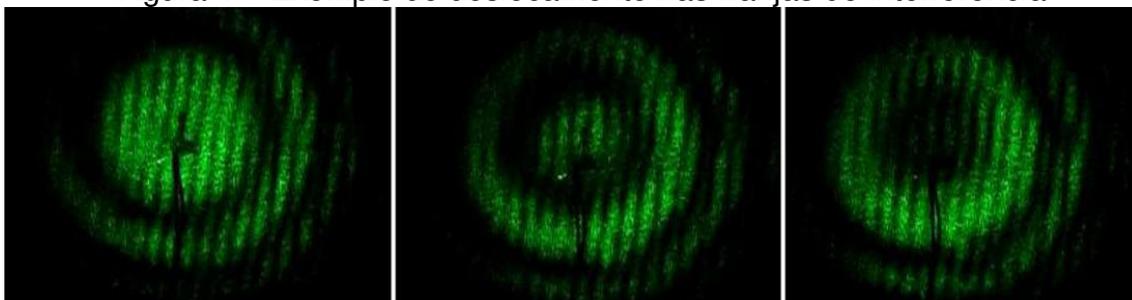
Visando a eliminar erros causados, por exemplo, pelo fato de os dois braços não estarem perfeitamente perpendiculares, Michelson e Morley giraram o dispositivo em 90° , assim, teriam de se preocupar apenas com os deslocamentos nas franjas de interferência. Com um giro de 90° , o braço de comprimento l_2 passa a ficar na horizontal, enquanto o de l_1 se posiciona na vertical. Analogamente à equação (8), é possível descrever a diferença de caminho óptico após o giro como:

$$\Delta' = c(t'_1 - t'_2) = \frac{2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \left(l_1 - \frac{l_2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right). \quad (9)$$

Assim, o deslocamento nas franjas de interferência, representado pictoricamente da figura 4, será dado por:

$$\Delta' - \Delta = \frac{2}{\sqrt{1-\beta^2}} (l_1 + l_2) \left(l_1 - \frac{l_2}{\sqrt{1-\beta^2}} \right). \quad (10)$$

Figura 4 – Exemplo de deslocamento nas franjas de interferência



Fonte: CORDOVA, 2016.

Para velocidades V muito menores que c , o que é plausível de ser admitido, o termo $(1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$ pode ser expandido em série de Taylor, obtendo-se $(1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{1}{2}\beta^2$, levando ao deslocamento medido em termo do número de franjas:

$$\delta_m \equiv \frac{\Delta' - \Delta}{\lambda} \cong -\frac{(l_1 + l_2)}{\lambda} \beta^2. \quad (11)$$

Na primeira experiência, Michelson e Morley usaram braços com comprimentos aproximadamente iguais entre si (cerca de 1,2 m) e utilizaram uma luz amarela ($\lambda = 6 \times 10^{-7}$). Sabendo que a velocidade da Terra em relação a um referencial no qual o Sol esteja em repouso é da ordem de 30 km/s, $\beta \sim 10^{-4}$. Assim, Michelson deveria ter observado um deslocamento de 0,04 de franja, contudo, ele não observou deslocamento. Apesar de a experiência ter sido refeita várias vezes, com diferentes ajustes e orientações de montagem, os resultados obtidos foram sempre negativos no sentido de identificar a velocidade absoluta da Terra através do éter, levando o próprio Michelson a afirmar “[...] não há deslocamento das franjas de interferência. Assim, demonstramos que a hipótese de um éter estacionário é incorreta” (NUSSENZEIG, 2010, p. 181). Apesar de não extinguir a teoria do éter luminífero, os resultados das experiências de Michelson e Morley a enfraqueceram, pois foram bastante intrigantes e perturbadores para muitos físicos da época.

Nesse caso, restava apenas a terceira hipótese, ou seja, as equações de Maxwell estão corretas, bem como o princípio da relatividade é aplicável a todas as leis da física, portanto, tanto a mecânica newtoniana quanto as transformações de Galileu precisam ser reformuladas. As modificações necessárias foram propostas,

em 1905, pelo famoso físico alemão, que posteriormente adotou cidadania suíça, Albert Einstein.

Albert Einstein é tido como a personificação da física por muitas pessoas, opinião que merece certo crédito, pois ele pode ser considerado o maior físico do século XX e um dos maiores que já existiu (SEGRÈ, 1980). Apesar de ter nascido na Alemanha, constantes discussões com professores, que ocorriam por Einstein não concordar com os métodos de ensino alemães, o levaram a desenvolver certa antipatia em relação à Alemanha imperial, adotando posteriormente a cidadania suíça, que manteve até o fim da vida. Ainda que revelasse indícios promissores em casa, Einstein era um aluno comum, chegando inclusive a ficar alguns anos sem estar matriculado na escola formal, fato que contribuiu para que não fosse aprovado em sua primeira tentativa de entrar para a Escola Politécnica de Zurique (ETH), mesmo tendo obtido notas muito boas em física e matemática. Na segunda tentativa, ele obteve êxito: ingressou na ETH, formou-se e trabalhou por um tempo como professor, até que conseguiu emprego em um pequeno escritório federal de patentes no Cantão de Berna.

Desde que ingressou na ETH, Einstein gostava de realizar meditações acerca dos grandes problemas da física de sua época, fazendo a união entre suas ideias originais e o que sabia por meio de seus estudos, assim, gostava bastante do emprego no escritório de patentes, visto que poderia examinar diversas invenções e ainda encontrava tempo para fazer suas reflexões sem ser incomodado (SEGRÈ, 1980). Nessa época, iniciou a escrita de artigos para os *Annalen der Physik*, que estava sob a direção de W. Wien, e apresentou cinco trabalhos, entre 1901 e 1904, acerca de estudos em termodinâmica e mecânica estatística. Contudo, foi apenas em 1905 que Einstein publicou três trabalhos excepcionais: *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (Um ponto de vista heurístico sobre a geração e a transformação da luz), *Über die Von der Molekularkinetischen Theorie der Wärme Geforderte Bewegung Von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen* (Sobre os movimentos de partículas suspensas em líquidos em repouso conforme a teoria cinética do calor) e *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento).

No primeiro deles, apresentou a descoberta dos *quanta* de luz, explicando o efeito fotoelétrico como aplicação, o que lhe rendeu o prêmio Nobel de física em

1921; no segundo, expôs a teoria do movimento browniano, mostrando a existência real dos átomos e uma nova maneira de calcular a constante de Boltzmann, nome dado por Planck à razão entre a constante universal dos gases e a constante de Avogadro; porém é sua terceira obra que apresenta a teoria da relatividade restrita, de onde vem a famosa fórmula $E = mc^2$ e que mostrou a obediência das equações de Maxwell ao princípio da relatividade.

3.2 A Teoria da Relatividade Restrita de Einstein

Apesar de essa teoria ter diversas consequências práticas, por exemplo, o equilíbrio da energia no Sol, o enfoque aqui será dado à revolução que o terceiro artigo publicado por Einstein causou nos conceitos de espaço e, principalmente, tempo, até então considerado absoluto pela mecânica clássica. Acredita-se que o raciocínio inicial de Einstein tenha sido que as equações de Maxwell deveriam ter **exatamente** a mesma forma em todos os referenciais com movimento retilíneo e uniforme entre si, por outro lado, ele estava convicto de que a velocidade da luz, c , deveria ser a mesma em todos os sistemas de referência inerciais. Assim, a postulação axiomática para a teoria da relatividade proposta por Einstein era composta por duas partes, conforme escreve Nussenzweig:

(A) PRINCÍPIO DE RELATIVIDADE RESTRITA: As leis físicas são as mesmas em todos os referenciais inerciais [...] (B) PRINCÍPIO DE CONSTÂNCIA DA VELOCIDADE DA LUZ: A velocidade da luz no vácuo, c , é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais, e é independente do movimento da fonte. (NUSSENZWEIG, 2010, p. 182, grifo do autor).

À época das verificações realizadas para saber se as equações de Maxwell estavam incorretas, o físico neerlandês Aton Lorentz observou que as equações de Maxwell permaneciam invariantes quando submetidas à seguinte transformação, que ficaram conhecidas como transformações de Lorentz:

$$\left\{ \begin{array}{l} x' = \frac{x-vt}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t-\left(\frac{v}{c}\right)^2 x}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} \end{array} \right. \quad (12)$$

Ele também observou que, para velocidades muito menores que c , essas transformações se reduziam às de Galileu, contudo, elas foram consideradas um recurso puramente matemático. Sabendo que as transformações de Galileu

precisavam de modificações, Einstein, seguindo uma sugestão originalmente feita por Poincaré, matemático francês, fez a proposição de que o seu primeiro postulado valeria sob as transformações de Lorentz, ou seja, “todas as leis físicas deveriam ser de tal forma que elas permanecessem inalteradas sob uma transformação de Lorentz” (FEYNMAN, 2010, p. 15-3), portanto, as equações de Newton para o movimento precisavam ser reescritas de modo a permanecerem invariantes sob as transformações de Lorentz. Esse pensamento, inicialmente, não foi muito bem visto por vários físicos, especialmente por estar em aparente desacordo com o mundo observável, entretanto, a lógica que Einstein apresentou para defendê-lo era irrefutável. Utilizando as notações $\beta \equiv \frac{v}{c}$ e $\gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$, é possível reescrever as equações de Lorentz como:

$$x' = \gamma(x - vt).$$

$$y' = y.$$

$$z' = z.$$

$$t' = \gamma \left(t - \frac{V}{c^2} x \right).$$

Para que γ seja real, β tem de tal que $\beta < 1$, o que sugere ser c não apenas a velocidade da luz, mas também uma velocidade limite, ou seja, não há observador inercial capaz de se mover com a velocidade da luz no vácuo.

3.2.1 A Dilatação do Tempo e a Contração do Espaço

Lorentz também idealizou a primeira ideia que obteve sucesso em encontrar uma explicação para os resultados negativos apresentados pelo experimento de Michelson e Morley, sugerindo que os corpos materiais se contraíam apenas na direção do movimento quando se movimentavam. Seja o comprimento do corpo L_0 quando em repouso, caso ele se mova com velocidade u paralela ao seu comprimento, o novo comprimento L' será dado por:

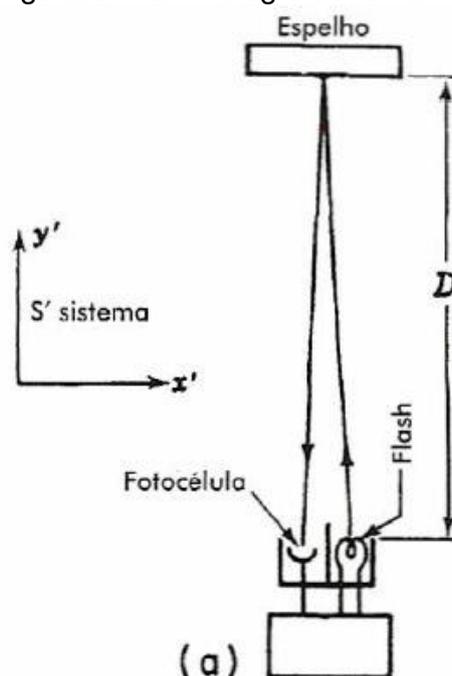
$$L' = L_0 \sqrt{1 - \beta^2}.$$

Caso a contração ocorresse dessa forma, os tempos t_1 e t_2 expressos em (6) e (7), respectivamente, teriam o mesmo valor e, portanto, seria impossível observar os efeitos desejados com o aparelho utilizado por Michelson e Morley. Mais uma vez, seus métodos foram considerados muito artificiais, e objetores afirmavam que haviam sido inventados apenas com o objetivo de explicar as dificuldades do experimento. Contudo, dificuldades semelhantes às encontradas por Michelson e

Morley surgiram em outros experimentos que tentavam descobrir o movimento no éter. Posteriormente, comprovou-se que não apenas Lorentz estava correto em sua suposição da contração do espaço, mas também o *tempo* sofria uma modificação.

Para entender de que forma o tempo se modifica, pode-se utilizar um mecanismo de relógio como o esquematizado na Figura 5, composto por uma barra, de comprimento D , com um espelho em cada extremidade.

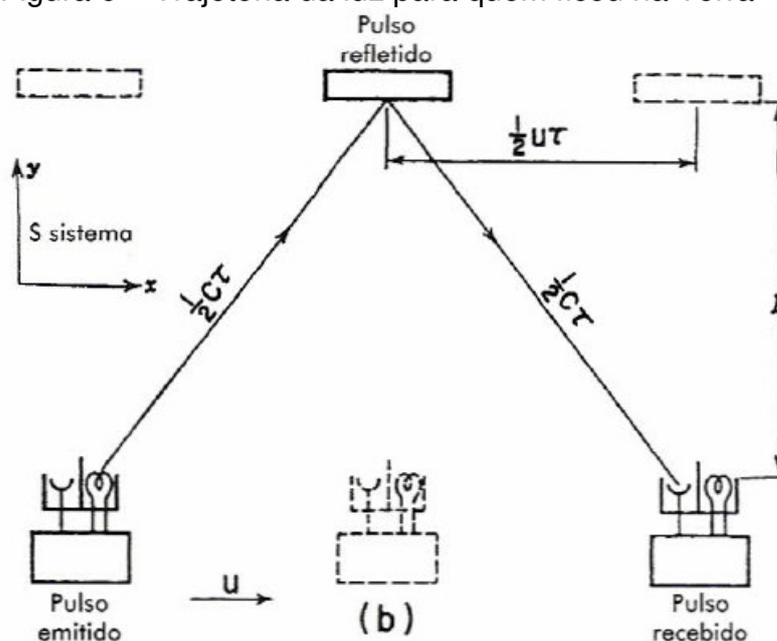
Figura 5 – Um relógio de luz em repouso



Fonte: FEYNMAN, 2009.

Quando um sinal luminoso é iniciado entre os dois espelhos, a luz ficará subindo e descendo, fazendo um clique cada vez que chega à base do relógio. Caso dois relógios, R_1 e R_2 , sejam construídos dessa forma, com o mesmo comprimento e sincronizados para iniciarem juntos, eles sempre estarão em acordo, visto que a luz irá percorrer o mesmo comprimento nos dois com velocidade constante c . O relógio R_2 é entregue a uma pessoa que irá viajar em uma nave espacial, movendo-se com velocidade constante V , e ela o monta de forma que a barra que contém os espelhos forme 90° com a direção do movimento da nave. Para a pessoa que ficou na Terra, ao observar a nave, a luz em R_2 irá fazer um movimento em ziguezague, conforme indicado na figura 6, pois a barra possui um deslocamento lateral (FEYNMAN, 2009). Para quem está na nave, entretanto, a luz faz uma trajetória retilínea e vertical.

Figura 6 – Trajetória da luz para quem ficou na Terra



Fonte: FEYNMAN, 2010.

Seja S' o referencial da pessoa que observa o relógio na Terra e mede o tempo de um evento utilizando o relógio R_1 , e S o referencial de quem viaja junto com a nave, medindo os eventos utilizando o relógio R_2 , é possível descrever, em cada referencial, o intervalo de tempo para que a luz suba e desça uma vez.

- Em S :

Para a subida: $D = c \cdot \Delta t_s$.

Para a descida: $D = c \cdot \Delta t_d$.

Tempo total: $\Delta t = \Delta t_s + \Delta t_d = \frac{2D}{c}$. (13)

- Em S' :

Para chegar até o espelho na extremidade superior da barra, a luz irá gastar um tempo $c \frac{\Delta t'}{2}$, onde $\Delta t' = \tau$ na figura 6. Utilizando o Teorema de Pitágoras em um dos dois triângulos retângulos da figura 6 tem-se:

$$D^2 + \frac{v^2 \cdot \Delta t'^2}{4} = \frac{c^2 \cdot \Delta t'^2}{4} \Rightarrow \Delta t' = \frac{2D}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

A comparação entre as equações (13) e (14), além da utilização das notações β e γ já citadas, fornece uma relação entre os dois intervalos de tempo:

$$\Delta t' = \gamma \cdot \Delta t. \quad (14)$$

Como $\gamma > 1$, $\Delta t'$ vai ser sempre maior que Δt , por isso, essa relação é conhecida como “dilatação dos intervalos de tempo”, e Δt é o *tempo próprio*, que é o tempo de um evento físico que está **parado** em relação ao relógio.

De forma análoga, também é possível a obtenção da relação entre os espaços medidos em diferentes referenciais. De acordo com Young e Freedman (2009), isso pode ser feito supondo a existência de uma régua que possui uma fonte de luz em uma extremidade e um espelho na outra. A régua encontra-se em repouso em relação a um sistema de referência S e seu comprimento é igual a L_R , assim, nesse referencial, o intervalo de tempo que a luz irá levar pra percorrer o caminho de ida e de volta será:

$$\Delta t = \frac{2L_R}{c}. \quad (15)$$

Um referencial S', que vê a régua de deslocar com velocidade constante V , da esquerda para a direita, também mede o tempo de ida e de volta da luz. Nesse referencial, a régua tem comprimento L'_R , o tempo de ida é $\Delta t'_1$ e o tempo de volta é $\Delta t'_2$. Como a régua se move, decorrido um intervalo de tempo $\Delta t'_1$, a régua terá percorrido uma distância igual a $V \cdot \Delta t'_1$, assim, o comprimento total a ser percorrido pela luz na ida será:

$$d = L'_R + V \cdot \Delta t'_1.$$

Por outro lado, a luz deve percorrer essa distância com velocidade constante c :

$$c \cdot \Delta t'_1 = L'_R + V \cdot \Delta t'_1 \Rightarrow \Delta t'_1 = \frac{L'_R}{c - V}.$$

No tempo da volta, a régua terá andado $V \cdot \Delta t'_2$ para a direita, assim, a distância que a luz terá de percorrer na volta será igual a $L'_R - V \cdot \Delta t'_2$. De forma análoga ao tempo de ida, o tempo de volta da luz será:

$$\Delta t'_2 = \frac{L'_R}{c + V}.$$

Desse modo, no referencial S', a luz volta para o seu ponto de partida no intervalo:

$$\Delta t' = \Delta t'_1 + \Delta t'_2 = \frac{L'_R}{c - V} + \frac{L'_R}{c + V} = \frac{2L'_R}{c(1 - \beta^2)}.$$

A equação (14) fornece a relação entre $\Delta t'$ e Δt , portanto:

$$\frac{2L'_R}{c(1-\beta^2)} = \gamma \frac{2L_R}{c} \Rightarrow L'_R = \frac{L_R}{\gamma}$$

Como $\gamma > 1$, L'_R vai ser sempre menor que L_R , portanto, essa relação é conhecida como “contração de comprimento”. Conforme destacam Young e Freedman (2009, p. 152), “o comprimento medido no sistema de referência no qual o corpo está em repouso é chamado de **comprimento próprio**” (grifo do autor), portanto L_R é o comprimento próprio medido em S' .

3.2.2 A Questão do Múon e o Paradoxo dos Gêmeos

Dois exemplos bastante interessantes da dilatação do tempo causada pelo movimento são a questão dos mésons μ (múons) e o paradoxo dos gêmeos.

Os múons, descobertos em 1937 por J. C. Street e E. C. Stevenson, e, de forma simultânea, por a Carl D. Anderson e Seth Neddermeyer, são partículas que podem viajar com a velocidade da luz e atingem a Terra em raios cósmicos. Eles são criados no alto da atmosfera, a cerca de 10 km de altura da superfície terrestre, assim, mesmo viajando na velocidade limite, seu curto tempo de vida média, apenas $2,2 \times 10^{-6}$ s, não permitiria que fossem encontrados múons na Terra, entretanto, eles já foram encontrados em laboratórios. A explicação para esse fato vem da dilatação do tempo, apesar de também poder ser verificada pela contração do espaço. Diferentes múons se movem em diferentes velocidades, sendo algumas delas bem próximas à da luz; em seu ponto de vista, ele dura apenas $2,2 \times 10^{-6}$, contudo em relação à Terra, esse tempo é grande o suficiente para que ele consiga alcançar a superfície terrestre, pois ele sofre a ação da dilatação dos intervalos de tempo. O caso do múon também exemplifica uma das utilidades do princípio da relatividade, o de fazer certas previsões acerca de fenômenos que ainda não possuem explicação: apesar de o motivo da desintegração do méson μ ser desconhecido, é possível prever que, quando ele se move com velocidade igual a 90% de c , o tempo aparente para que chegue à superfície da Terra será igual a

$$\frac{10}{\sqrt{1-0,9^2}}$$

Quando se fala em dilatação dos intervalos de tempo, Feynman afirma que, uma vez que todos os relógios em movimento, por exemplo, o relógio R_2 localizado dentro da nave, funcionam mais lentamente:

o próprio tempo parece dilatado na nave espacial. Todos os fenômenos na nave - a pulsação do homem, seus processos de pensamento, o tempo que ele leva para acender um charuto, quanto ele leva para crescer e

envelhecer - enfim, todas estas coisas devem ser mais lentas na mesma proporção, porque ele não consegue dizer que está se movendo. (FEYNMAN, 2010, p. 15-7, grifo do autor).

Nesse contexto, surge um dos paradoxos mais famosos na teoria da relatividade restrita: o paradoxo dos gêmeos. Para ilustrá-lo, Feynman (2010) supõe a existência de dois irmãos que nasceram na mesma hora, Pedro e Paulo. Em certo momento, Paulo viaja em direção ao espaço sideral em uma nave espacial, com velocidade bastante elevada, enquanto Pedro fica na Terra. Do ponto de vista de Pedro, os batimentos cardíacos de Paulo, seus pensamentos, tudo se passa de forma mais lenta, assim, apesar de Paulo não notar acontecimentos estranhos, ao reencontrar o irmão após voltar de viagem, irá perceber que está bem mais jovem que ele.

Mas por que essa situação recebe o nome de paradoxo? Algumas pessoas acreditam que a teoria da relatividade implica dizer que *todo movimento é relativo*, assim, para elas, no referencial de Paulo, é Pedro que se distancia dele com alta velocidade e, portanto, os dois deveriam ter a mesma idade ao se reencontrar. Contudo, esse pensamento não está correto, pois, para que os irmãos possam comparar as idades, em algum momento Paulo terá de dar a volta para reencontrar o irmão; nesse caso, seu referencial não será mais inercial, e vários eventos estranhos serão observados por Paulo na nave, enquanto Pedro nada sentirá. Devido a isso, no momento da curva, Paulo sabe que o tempo em seu referencial irá passar de forma bem mais lenta, levando ao fato de, no reencontro, ele estar mais jovem que o irmão que havia ficado na Terra.

Apesar de ter sido apresentado em uma situação hipotética, o paradoxo dos gêmeos já foi testado por meio de uma experiência realizada com partículas que se desintegram, na qual o resultado previsto pela relatividade restrita foi confirmado.

4 POR QUE USAR APRENDIZAGEM COOPERATIVA PARA ENSINAR RELATIVIDADE RESTRITA

A proposta de utilização da metodologia da Aprendizagem Cooperativa para o ensino de Teoria da Relatividade Restrita surge diante das dificuldades encontradas atualmente na abordagem desse conteúdo no Ensino Médio. Contudo, a fim de que seja possível compreender como a metodologia citada pode contribuir para a superação dessas dificuldades, é necessário conhecer as orientações legais acerca do ensino de Física na última etapa da educação básica, bem como a

relevância que a Teoria da Relatividade Restrita possui no Ensino Médio e que obstáculos são encontrados para sua implementação no currículo das escolas.

4.1 Disposições Legais do Ensino Médio no Brasil

De forma geral, o texto regulamentador da educação no Brasil é a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) N° 9.394/96, que está em acordo com a Constituição Federal de 1988. Tratando-se especificamente do Ensino Médio, existem as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) e os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN), ambos em consonância com a LDB/96 e que orientam o professor em sua prática docente. Segundo a LDB, seção IV, artigo 35, o Ensino Médio é a etapa final da educação básica, que deve possuir duração mínima de três anos e tem quatro importantes finalidades: a consolidação e o conseqüente aprofundamento dos conhecimentos adquiridos pelo estudante ao longo do Ensino Fundamental; o fornecimento da preparação básica por meio da qual o educando pode exercer trabalho e cidadania, continuando em constante processo de aprendizado; a contribuição para a formação ética do aluno, aperfeiçoando sua formação como pessoa humana, crítica e autônoma intelectualmente; e a promoção do entendimento dos fundamentos científicos e tecnológicos envolvidos nos processos de produção, a fim de que o estudante consiga relacionar a teoria com a prática em cada disciplina.

Em relação ao currículo, com o objetivo de formar pessoas integradas ao universo das ações políticas, do trabalho e da simbolização subjetiva, devem ser adotados conteúdos e estratégias de aprendizagem capazes de formar um ser humano habilidoso em três âmbitos da ação humana: a vida em sociedade, a atividade de produção e a experiência intrínseca de cada um (PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS DO ENSINO MÉDIO, 2000). Nesse contexto, quatro premissas apontadas pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) como eixos estruturadores da educação na sociedade contemporânea foram incorporadas às diretrizes gerais e orientadoras do currículo do Ensino Médio brasileiro. São elas, de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (2000):

- a) Aprender a conhecer: Ter oportunidade de desenvolver os próprios instrumentos do conhecimento, por meio do incentivo à curiosidade intelectual e da valorização do senso crítico, de modo que os estudantes

possuam as bases necessárias para a continuação do aprendizado ao longo da vida.

b) Aprender a fazer: Ter estimulado o surgimento de diversas aptidões, a fim estar apto para enfrentar novas situações que apareçam.

c) Aprender a viver: Ser capaz de viver em conjunto, sabendo empregar as relações de interdependência para o alcance de objetivos comuns e gerenciar de forma construtiva os conflitos.

d) Aprender a ser: Desenvolver-se de forma completa, tanto como indivíduo capaz de elaborar pensamentos autônomos e críticos, quanto como ser humano defensor da liberdade de pensamento, seus e dos outros.

Baseando-se nos princípios acima, devem ser escolhidos eixos que orientem a escolha de conteúdos significativos para as habilidades e competências que se espera desenvolver no Ensino Médio, ao redor dos quais deve ocorrer a articulação do currículo. Este também deve ser construído, conforme indica a LDB, de acordo com uma:

[...]base nacional comum, a ser complementada, em cada sistema de ensino e em cada estabelecimento escolar, por uma parte diversificada, exigida pelas características regionais e locais da sociedade, da cultura, da economia e dos educandos. (LDB, redação dada pela Lei nº 12.796, de 2013, art. 26).

Essa Base Nacional Comum tem como principal objetivo a formação geral do estudante, devendo assegurar que tanto os propósitos previstos na lei, quanto a obtenção do perfil esperado que o educando possua ao terminar o Ensino Médio estão sendo alcançados.

Buscando superar a organização dos conteúdos em disciplinas enxutas e que não se relacionam entre si, fica estabelecida a divisão do conhecimento escolar em áreas, que são, conforme dita o Art. 35 – A da LDB: I – linguagens e suas tecnologias; II – matemática e suas tecnologias; III – ciências da natureza e suas tecnologias; IV – ciências humanas e sociais aplicadas. A Física como disciplina está inserida na área “ciências da natureza e suas tecnologias”, que tem como finalidade o desenvolvimento de estratégias de trabalho com centro na resolução de problemas e o aprendizado de concepções científicas atualizadas acerca do funcionamento do mundo físico e natural.

4.2 Disposições específicas acerca do Ensino de Física

Segundo Moreira (2000), os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio trouxeram novas perspectivas para o ensino de Física no Brasil, apontando para a necessidade de promover uma atualização dos conteúdos e trazendo uma mudança de perspectiva radical ao colocar a Física como uma disciplina não-dogmática, cuja ênfase está em agregar os conhecimentos necessários para que o aluno possa desenvolver sua cidadania. Nesse contexto, a preocupação maior no ensino de Física deixou de ser “o que ensinar de Física” e passou a ser “para que ensinar Física”, deixando explícita a prioridade de atribuir significados a cada conhecimento teórico obtido pelo estudante (PCN+, 2000).

Por outro lado, a Física tem seus postulados, sua linguagem própria e seu formalismo. Frente a isso, até que ponto é possível desenvolver esse formalismo no Ensino Médio sem, contudo, reduzir a Física à aplicação de fórmulas e à resolução exaustiva de exercícios? “Seria possível abrir mão do tratamento matemático dado a tópicos como Cinemática?”; “Seria necessário introduzir a Física Moderna?”; “Como transformar pêndulos, molas e planos inclinados em instrumentos para desenvolver a cidadania dos estudantes?”; todos esses são questionamentos que podem surgir frente ao posicionamento acerca do ensino de Física apresentado nos PCNs.

Soluções diretas e finais a essas questões não existem, portanto, diversos educadores e pesquisadores têm se dedicado à busca de meios que concretizem os novos horizontes determinados. Um dos resultados desses esforços foi a identificação de competências essenciais para a compreensão em Física, tanto em seus aspectos teóricos, quanto em suas relações com o mundo e com outras áreas do conhecimento. São elas as referentes à investigação e compreensão dos fenômenos físicos; à utilização da linguagem física e de sua comunicação e à contextualização histórica e social (PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS, 2000). Nesse contexto, como está inserido o ensino de Teoria da Relatividade Restrita na etapa final da educação básica?

4.3 Relatividade Restrita no Ensino Médio: importância e desafios

Conforme indicam os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino de Física, no Ensino Médio, a Física precisa ser:

[...] voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. [...] deve apresentar-se [...] como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na

compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos (PCN+, 2000, p. 59).

De acordo com Rodrigues (2001), as implicações de teorias como a Relatividade e a Física Quântica têm ultrapassado as barreiras da produção científica, integrando-se à sociedade de forma crescente e manifestando-se nas novas tecnologias, por exemplo, músicas digitalizadas, iluminação pública, aparelhos de ressonância magnética e lasers, ou seja, “o nosso cotidiano se encontra amplamente modificado pela ciência e pela tecnologia” (RODRIGUES, 2001, pg. 5). Ao mesmo tempo, elas também ajudam a explicar a ocorrência de fenômenos absolutamente espontâneos e naturais, por exemplo, a luz emitida pelo Sol e pelas estrelas, além da fotossíntese feita pelas plantas. Ademais, o “marketing científico” é cada vez mais observado, seja por meio de cartazes publicitários onde Einstein aparece com a língua para fora, ou mesmo pela utilização de sua figura como um avatar de ajuda, conforme apresentado no programa Microsoft Word 2000 (RODRIGUES, 2011).

Desse modo, para que o estudante de Física consiga compreender diversos fenômenos naturais e tecnológicos, além de participar ativamente da sociedade em que vive, ele precisa possuir conhecimentos básicos em Física Moderna. Contudo, uma vez que vivem envoltos na realidade tecnológica e têm acesso relativamente fácil a informações extracurriculares fornecidas por mídias como revistas científicas, canais televisivos e serviços de *streaming* de vídeos, muitos alunos acabam adquirindo concepções espontâneas acerca da Física Moderna. Assim, o que justifica a necessidade de se inserir a Física Moderna nos currículos escolares?

Primeiramente, apenas observar que fenômenos ocorrem não garante o interesse em compreendê-los, inclusive o próprio ato de enxergar é algo que deve ser aprendido, pois se trata de interpretar informações que não possuem significado inicial. Para exemplificar esse fato, Rodrigues (2001) utiliza o filme “À Primeira Vista”, no qual o personagem principal, cego desde muito jovem, recupera a visão por meio de uma cirurgia, mas, apesar de receber informações visuais, não consegue “enxergar”: ele não conhecia o conceito de cor, portanto, sente dificuldade em identificar uma maçã por ser vermelha, além de não conseguir diferenciar uma maçã de verdade de uma foto, pois o seu cérebro ainda não aprendeu a transformar em imagens tridimensionais as informações bidimensionais recebidas pela retina.

Em segundo lugar, está o fato de que uma pessoa que não recebeu formação, apesar de ter acesso a diversas informações, não possui poder de crítica para diferenciar o que é relevante, seguro e correto do que não é. Um exemplo claro disso é o incidente que ocorreu em Goiânia, em 1988, com o Césio 137. As pessoas foram apresentadas a uma situação sobre a qual não possuíam o menor conhecimento, mas que despertou sua curiosidade a ponto de elas terem se exposto a grandes riscos. Alguém que não saiba das implicações que a radiografia pode ter em seu organismo nunca questionaria um profissional que lhe recomenda realizar várias chapas de alguma parte do seu corpo, assim como um jovem pode escolher comprar óculos escuros sem proteção UV pelo preço ser menor, uma vez que não tenha consciência dos efeitos que os raios ultravioletas podem causar na retina (RODRIGUES, 2001). Portanto, o estudo formal da Física deve contribuir para que os estudantes possam se tornar cidadãos que tenham discernimento frente ao mundo modificado, fazendo-se necessário desde a educação básica.

Partindo desse princípio, é fácil observar a necessidade de estudar Física Quântica, pois seus conceitos estão presentes no funcionamento de muitas tecnologias e processos que ocorrem no cotidiano dos estudantes. Por outro lado, a Teoria da Relatividade, apesar de ser um marco histórico tanto no ponto de vista do pensamento científico quanto para a sociedade em geral, segundo BACHELARD (1996) (apud. RODRIGUES, 2001), ao contrário da Física Quântica, não é muito observada nos avanços tecnológicos que cercam o aluno. Contudo, a importância de seu ensino se manifesta em outros aspectos.

Segundo Rodrigues (2001), estudar a Teoria da Relatividade proporciona uma sofisticação do pensamento do aluno, pois, para entender os conceitos de espaço, tempo e massa do ponto de vista relativístico, é necessária uma mudança no padrão do raciocínio. Sobre o conceito de tempo, por exemplo, é importante que o estudante o reconheça não apenas como um parâmetro físico, mas também como um conceito importante envolvido nos processos biológicos ou químicos (PCN+, 2000). A Teoria da Relatividade Restrita leva o estudante a fazer essas reflexões quando aborda questões como o paradoxo dos gêmeos e a existência de múons na superfície terrestre.

Além disso, é importante que o aprendizado de Física estimule os jovens a acompanharem as notícias científicas divulgadas, identificando os assuntos tratados nas publicações e tenham meios para interpretar seus significados

(PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS, 2000). Visto que a Teoria da Relatividade é um tema recorrente em meios de difusão de produção científica, estando presente em documentários sobre descobertas científicas e biografias, artigos de revistas, ou mesmo livros, por exemplo, “O Incrível Mundo da Física Moderna”, estudá-la contribui para maior aproximação dos estudantes com os conhecimentos elaborados no meio científico (RODRIGUES, 2001).

Ademais, a Teoria da Relatividade pode servir como início para o estudo de outros tópicos da Física Moderna, mediante abordagem histórica baseando-se no fato de, à época em que ela foi proposta, estarem havendo vários problemas entre teorias clássicas e resultados experimentais. As discussões advindas desses confrontos não só podem inserir novos tópicos, por exemplo, explicação do efeito fotoelétrico, como destacam o aspecto da Física enquanto atividade humana, o que geralmente não é muito abordado no ensino dessa ciência, pois muitos resultados são apresentados apenas em suas formas “finais”, como se tivessem brotado inesperadamente de algum lugar do Universo.

Também a abordagem histórica que pode ser feita ao se tratar da revolução que a Teoria da Relatividade Restrita provocou ao ser publicada, não apenas do ponto de vista de finalidades científicas, mas também na construção da história dessa ciência, tanto de seus processos internos, quanto na relação entre ela e os demais setores da sociedade, está diretamente ligada ao desenvolvimento da competência relacionada à Investigação e Compreensão da ciência e da tecnologia na história, conforme indicam os Parâmetros Nacionais Curriculares, que destacam a necessidade de “compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época” (PCN+, 2000, p. 67).

Os próprios professores de física reconhecem a relevância do ensino dessa teoria no Ensino Médio. Uma pesquisa, realizada por Ostermann (1998), que buscava investigar quais temas de Física contemporânea deveriam ser introduzidos no Ensino Médio brasileiro na opinião de professores de física, pesquisadores em ensino de física e pesquisadores físicos mostrou ser a Relatividade Restrita o tema considerado como o segundo mais importante, obtendo 50% das indicações, ficando atrás apenas de Mecânica Quântica, que obteve 63%.

Apesar disso, ainda são encontradas dificuldades em relação à inserção da Relatividade Restrita na última etapa da educação básica. Esse fato é ratificado

pela pesquisa de Pereira e Ostermann que, em 2009, realizaram um trabalho investigativo acerca do ensino de Física Moderna e Contemporânea, que envolvia todos os níveis de ensino. Os materiais consultados foram artigos brasileiros e internacionais publicados em revistas da área de ensino de ciências entre os anos de 2001 e 2006. Estes foram escolhidos utilizando como base o sistema de avaliação de periódicos da Capes. Assim, os idealizadores da pesquisa recolheram um total de 102 trabalhos, classificados como Quallis Nacional A, Nacional B ou Internacional A, conforme os critérios da época. Desse total de trabalhos, 52 foram classificados, de acordo com o tema que abordavam, como “2 - Bibliografia de consulta para professores”, enquanto os demais foram distribuídos nas categorias “1- Propostas didáticas em sala de aula”, “3 - Levantamento de concepções” e “4 - Análise curricular”. A análise dos conteúdos abordados mostrou que apenas onze trabalhos abordaram o tema Teoria da Relatividade Restrita e Teoria da Relatividade Geral.

Entre as diversas causas para essa situação, podem ser destacadas três mais relevantes. A primeira delas está relacionada com a forma como o currículo de Física é organizado no Ensino Médio. Ao longo da história da humanidade, foi acumulado um vasto conhecimento em Física, fato bastante benéfico para a sociedade. Entretanto, é impossível abordar todo esse conteúdo na escola média. Assim, os Parâmetros Curriculares Nacionais de Física (2000), visando a organizar as atividades escolares, propuseram seis temas chamados de “temas estruturadores”, em torno dos quais se espera ser possível estruturar e organizar o desenvolvimento das habilidades, competências, conhecimento, atitudes e valores que se espera alcançar com o ensino de Física. São eles:

a) **Movimentos: variações e conservações**, tema ligado à Mecânica, que aborda o movimento das águas de rios e do ar, por exemplo, além da análise de outros acontecimentos observáveis, como o funcionamento de motores.

b) **Calor, ambiente e usos de energia**, relacionado com a Termologia e a Termodinâmica. Visa o desenvolvimento de competências que permitam ao aluno lidar com fontes de energia, processos e propriedades térmicas de materiais diferentes, além de compreender fenômenos térmicos.

c) Som, imagem e informação, interligado com o estudo da Ótica e das Ondas mecânicas, importante para o entendimento das formas de transmissão de informação e podendo também ser relacionado com as artes, principalmente a música.

d) Equipamentos elétricos e telecomunicações, ligado ao Eletromagnetismo, possibilitando o desenvolvimento da compreensão de fenômenos eletromagnéticos que podem ser dirigidos para o entendimento dos equipamentos elétricos; junto ao tema anterior, trabalha a questão da transmissão de informações, aqui no tocante à telecomunicação.

e) Matéria e radiação, tema relacionado com a Física Moderna, indispensável para que os jovens adquiram compreensão mais ampla sobre como se constitui a matéria e para que tenham contato com materiais como cristais líquidos e lasers, muito presentes em utensílios tecnológicos.

f) Universo, Terra e vida, importante por promover a compreensão da natureza cosmológica e o conhecimento sobre formas de investigação, hipóteses e modelos acerca do Universo no qual o estudante vive.

A partir da sugestão desses temas, é possível perceber, conforme afirma Kessler (2008), que a Física Clássica, ou newtoniana, domina o currículo de Física do Ensino Médio, tendo a Moderna uma participação mínima: apenas um entre os seis temas estruturadores está diretamente ligado à Física Moderna, e dentro dele os temas abordados estão majoritariamente relacionados com a Física Quântica, fazendo que a Teoria da Relatividade Restrita fique em segundo plano.

A segunda dificuldade relaciona-se à falta de fenômenos observáveis relacionados à Relatividade Restrita, pois os fenômenos relativísticos apenas são observáveis no tratamento de fenômenos que ocorram a altas velocidades, próximas à da luz, o que dificulta a compreensão dos estudantes nos assuntos ligados a essa área da Física. De fato, o único aparelho que utiliza diretamente essa teoria é o GPS (Global Position System), pois como o sinal viaja à velocidade da luz e percorre um caminho que pode ser considerado longo, os efeitos causados pela contração do espaço e a dilatação do tempo são significativos e devem ser levados em conta caso seja essencial uma localização precisa (RODRIGUES, 2001).

Por fim, a Teoria da Relatividade Restrita está carregada de raciocínios sutis e concepções que rompem com muitas ideias da Física Clássica, portanto, é absurdo esperar que os estudantes aprendam efetivamente esse conteúdo sem que haja um diálogo entre o professor e o aluno, no sentido de o docente esclarecer dúvidas e lançar desafios, e entre o estudante e os demais colegas, levando em consideração que diferentes pessoas possuem formas distintas de entender um mesmo assunto. Assim, fornecer ao discente um espaço para discutir os conteúdos abordados com outros alunos, que utilizam a mesma linguagem que ele, incentiva o estudante a elaborar argumentos para defender seu ponto de vista e a identificar falhas que ele sozinho não conseguiria perceber. Em contrapartida, de acordo com Rodrigues (2001), em grande parte das instituições predomina um processo de ensino-aprendizagem no qual o professor assume a função de apenas transmitir aos alunos os conhecimentos que possui. Nessa metodologia, o aluno é um agente passivo da aprendizagem, que fica sobrecarregado de informações sobre as quais, muitas vezes, não consegue realizar reflexões, acabando por repetir mecanicamente conceitos e fórmulas decorados em sala de aula, fato que claramente constitui um desafio ao ensino de Teoria da Relatividade Restrita no ambiente escolar.

4.4 Por que Utilizar Aprendizagem Cooperativa?

Segundo destacam os Parâmetros Curriculares Nacionais:

É importante compreender que a Base Nacional Comum não pode constituir uma camisa-de-força que tolha a capacidade dos sistemas, dos estabelecimentos de ensino e do educando de usufruírem da flexibilidade que a lei não só permite, como estimula. Essa flexibilidade deve ser assegurada, tanto na organização dos conteúdos mencionados em lei, quanto na **metodologia a ser desenvolvida no processo de ensino-aprendizagem** e na avaliação. (PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS - ENSINO MÉDIO, 2000, p. 18, grifo nosso).

Assim, para ajudar no desenvolvimento dos raciocínios necessários à compreensão de muitos aspectos da Teoria da Relatividade Restrita, podem ser utilizadas metodologias que promovam uma participação mais ativa dos estudantes em seu processo de ensino-aprendizagem, como a Aprendizagem Cooperativa. Essa metodologia incentiva que os alunos se responsabilizem não só pelo próprio aprendizado, mas também pelo dos colegas, mediante a utilização de técnicas de interação promotora para o alcance de uma meta comum, o que está de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (2000, p. 16), para os quais “aprender a viver juntos desenvolvendo o conhecimento do outro e a percepção das interdependências, de modo a permitir a realização de projetos

comuns ou a gestão inteligente dos conflitos inevitáveis” constitui um dos quatro alicerces ao redor dos quais a educação deve ser estruturada.

Um dos objetivos da Aprendizagem Cooperativa é contribuir para que os estudantes possam desenvolver diversas habilidades sociais, entre elas, as de *formulação* e as de *fermentação*. Essas habilidades em específico podem ser muito relevantes para que o estudante do Ensino Médio consiga aprender Teoria da Relatividade Restrita de forma mais eficiente. De fato, as habilidades de formulação podem ser relacionadas com diversas competências de Representação e Comunicação, apresentadas como importantes para os estudantes de física segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (2000), por exemplo, saber fazer leitura e interpretação de informações, construir sentenças para a resolução de problemas e reconhecer que a mesma situação pode ser representada de diferentes formas. Por outro lado, a estimulação do conflito cognitivo realizada pelas habilidades de fermentação exercidas nos espaços de discussão proporcionados pela metodologia acaba se tornando um fator assaz importante para o entendimento dos novos conceitos trazidos pela Relatividade Restrita.

Nesse contexto, as potencialidades da metodologia podem ser exploradas pelo professor no sentido de, uma vez que realizar mudanças no programa de uma disciplina do Ensino Médio seja um processo bastante complexo, criar projetos envolvendo a Teoria da Relatividade Restrita, que ocorram no contraturno escolar e contem com a participação ativa dos alunos, por exemplo, cursos e oficinas. De fato, os programas que ocorrem no contraturno em ambiente escolar têm o objetivo de desenvolver as potencialidades de crianças e adolescentes, contribuindo para a melhoria de seu rendimento escolar (ARAÚJO; LOPES, 2013). Assim, o docente seria capaz de contornar a questão da falta de espaço no currículo para abordar a Teoria da Relatividade Restrita. As discussões proporcionadas pela utilização da Aprendizagem Cooperativa podem ter diversos pontos de partida, entre eles, a utilização de filmes de ficção científica.

Por ser um meio de informação contemporâneo aos estudantes, a ficção científica tende a ser bastante atrativa e interessante aos olhos do aluno, além de ajudar na visualização dos efeitos relativísticos. O filme *Interstellar* é um exemplo bastante ilustrativo da potencialidade que esse recurso pode ter: nele o personagem principal, Cooper, precisa fazer viagens espaciais em naves cuja velocidade é

suficiente para que sejam observados efeitos relativísticos na passagem do tempo; quando ele retorna para a Terra, sua filha, Murphy, que era uma criança quando ele viajou, estava idosa, enquanto ele ainda tinha praticamente a mesma idade. Assim, mediante cuidadosa e bem informada exploração de situações contidas nesses filmes, o professor pode organizar atividades nas quais os estudantes façam, em grupos, análise de fatos e princípios considerados possíveis ou impossíveis de acordo com a Teoria da Relatividade Restrita (PCN+, 2000) (SILVA et. al, 2016).

5 METODOLOGIA

5.1 Características da pesquisa, coleta de dados e instrumentos de análise

Para que os objetivos do trabalho pudessem ser alcançados, foi realizada uma pesquisa pautada na abordagem majoritariamente qualitativa acerca da utilização da metodologia da Aprendizagem Cooperativa para o Ensino de Teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio.

De acordo com Prodanov e Freitas (2013), ocorre pesquisa bibliográfica quando esta é elaborada a partir de materiais já publicados por fontes confiáveis, por exemplo, revistas, artigos científicos e livros, sobre o assunto que se deseja estudar. Nesse contexto, o trabalho iniciou-se com pesquisa bibliográfica acerca dos conceitos de Física, envolvendo a transição da Física Clássica para a Física Moderna, os temas relevantes a serem abordados em Relatividade Restrita e a importância dessa área da Física no contexto do ensino formal, identificando também as dificuldades para sua inclusão no currículo escolar, tendo como base livros de autores conceituados, por exemplo, Richard Feynman e Moysés Nussenzweig, além da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino de Física.

Em seguida, realizou-se investigação bibliográfica e documental acerca da Aprendizagem Cooperativa: contexto histórico e princípios importantes, manifestações no Brasil, e como essa metodologia poderia auxiliar na superação das dificuldades encontradas no ensino de Relatividade Restrita. Foi necessária a utilização da pesquisa documental, que difere da bibliográfica por não possuir fontes de caráter científico (PRODANOV; FREITAS, 2013), pelo fato de algumas técnicas específicas de Aprendizagem Cooperativa desenvolvidas no Ceará e o contexto histórico da metodologia nesse Estado estarem representados em produções não acadêmicas.

Essas duas etapas levaram à elaboração de uma proposta didática, na forma de curso, para o ensino de Relatividade Restrita utilizando a metodologia da Aprendizagem Cooperativa, que foi aplicada em uma turma composta por alunos do Primeiro, do Segundo e do Terceiro ano do Ensino Médio de uma escola da Rede Pública Estadual de Fortaleza-CE. Por meio dessa experiência, realizou-se a coleta de dados, cujos instrumentos principais foram os diários de campo realizados pela pesquisadora e os materiais produzidos pelos estudantes ao longo da execução da proposta didática.

A abordagem utilizada na análise dos dados obtidos foi majoritariamente qualitativa. De acordo com Prodanov e Freitas (2013),

A análise qualitativa depende de muitos fatores, como a natureza dos dados coletados, a extensão da amostra, os instrumentos de pesquisa e os pressupostos teóricos que nortearam a investigação. Podemos, entretanto, definir esse processo como uma sequência de atividades, que envolve a redução dos dados, a sua categorização, sua interpretação e a redação do relatório (p. 113).

Nesse contexto, foi escolhida a técnica “análise de conteúdo” para o tratamento dos dados da pesquisa qualitativa. Esta técnica baseia-se na proposta da professora da Universidade de Paris, Laurence Bardin e prevê cinco etapas: a preparação das informações, a unitarização, a categorização, a descrição e a interpretação (MORAES, 1999). Na **preparação das informações**, são separados apenas os materiais relevantes para os objetivos da pesquisa, os quais passam por um processo de codificação que possibilite a identificação rápida de cada elemento da amostra. Na **unitarização** são definidas as unidades de análise, por exemplo, palavras, frases, temas ou até mesmo os documentos em forma integral, cujos dados serão agrupados na **categorização** de acordo com partes em comum. A **descrição** e a **interpretação** fazem parte da comunicação dos resultados do trabalho, sendo que esta busca atingir uma compreensão mais profunda dos conteúdos por meio da interpretação, enquanto aquela produz textos síntese nos quais o conjunto de significados presentes em cada unidade de análise é expresso (MORAES, 1999).

A análise quantitativa, caracterizada pelo uso de ferramentas e técnicas estatísticas para a análise dos dados, foi utilizada apenas em dois momentos: no cálculo do $IDACI^4_{mod}$ dos alunos e no tratamento das respostas do questionário respondido pelos estudantes no último dia do curso.

5.2 O curso de Física Moderna: Desenvolvimento e Proposta Metodológica

A proposta metodológica para o ensino de Relatividade Restrita utilizando Aprendizagem Cooperativa no Ensino Médio organiza-se no formato de um curso composto por sete aulas, abordando os temas: 1. Da Física Clássica à Física Moderna; 2 – Teoria da Relatividade Restrita e seus Postulados; 3 – A Dilatação do Tempo e a Contração do Espaço; 4 – A Dobra Espacial, o Teletransporte e a Viagem no Tempo.

A técnica utilizada nas aulas é a ETMFA e o material didático utilizado no curso foi elaborado pela autora deste trabalho com base nos livros “Tópicos de Física 3” (BISCUOLA; BÔAS; DOCA, 2007) e “Lições de Física” (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008). Utilizou-se também a estratégia de investigação acerca de três fatos ocorridos no filme *Star Trek* (Jornada nas Estrelas), de 2009: a possibilidade de existência da velocidade de dobra espacial, a viagem no tempo e o teletransporte. A seguir, será mostrado o material utilizado em cada aula.

Aulas 1 e 2

O primeiro dia de aula é dedicado a promover maior interação entre os estudantes e proporcionar aos alunos um conhecimento prévio da metodologia que será utilizada, a fim de que os alunos possam ter contato inicial com a Aprendizagem Cooperativa.

No segundo encontro, aborda-se o tema 1 – Da Física Clássica à Física Moderna. Os objetivos da aula são relembrar a Física existente antes da Moderna e compreender o contexto histórico do surgimento desse novo ramo da Física.

A exposição inicial, com duração de vinte minutos, pode ser realizada por meio de uma apresentação em *slides*, organizando-se em torno dos seguintes tópicos: 1. A Física existente no final do século XIX; 2. O que levou ao surgimento da Física Moderna?; 3. Aplicações práticas da Física Moderna.

Após a exposição, os alunos são organizados em trios ou quartetos, dependendo do número de estudantes, de forma heterogênea, onde realizam o contrato de cooperação e a divisão de funções (coordenador, guardião do tempo, relator e, para o quarteto, guardião do contrato). Cada estudante do grupo recebe uma das seguintes tarefas individuais para ser realizada em, no máximo, quinze minutos.

ATIVIDADE INDIVIDUAL I – MECÂNICA CLÁSSICA

1- Leia o texto abaixo e, em seguida, responda às perguntas.

Prepare-se para compartilhar as respostas com seus colegas.

A mecânica clássica descreve o movimento de objetos chamados de macroscópicos. Esses objetos são grandes a ponto de poderem ser vistos a olho nu, por exemplo, projéteis (“coisas” que podem ser arremessadas, como pedras, balas de revólver...), partes de máquinas, além de corpos celestes, como espaçonaves, planetas, estrelas e galáxias. A mecânica clássica pode ser dividida em três partes: **Cinemática**, que estuda o movimento dos corpos sem se preocupar com as causas desses movimentos, **Estática**, que fala sobre sistemas sofrendo a ação de forças que se equilibram, e **Dinâmica**, que estuda o movimento considerando suas causas, ou seja, fala sobre sistemas sob ação de forças que não se equilibram.

Ela surgiu durante a revolução científica, juntamente com o estabelecimento da física como ciência moderna. Entre os maiores estudiosos dessa área se encontram **Galileu Galilei**, físico e astrônomo italiano considerado por muitos como aquele que deu o “pontapé” inicial na mecânica clássica, e **Isaac Newton**, físico inglês que consolidou definitivamente a mecânica clássica com a publicação da sua obra “Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, onde descreveu suas famosas leis que ficaram conhecidas como “Leis de Newton”. A mecânica clássica é considerada a divisão base da física, e seu objetivo é o estudo dos elementos fundamentais da física: espaço, tempo, matéria e energia.

1. O que estuda a mecânica clássica?
2. Como a mecânica clássica pode ser dividida?
3. Quais os representantes da mecânica clássica foram citados no texto?
4. Quais os elementos fundamentais da física?

ATIVIDADE INDIVIDUAL II – Ondulatória e Termodinâmica

1- Leia o texto abaixo e, em seguida, responda às perguntas do final.

Prepare-se para compartilhar as respostas com seus colegas.

- **Ondulatória**

A ondulatória, na física clássica, estuda as características e as propriedades das ondas e seus movimentos e relações. A onda vem de uma fonte e consiste de

perturbações, pulsos ou oscilações ocorridas em um determinado meio, que pode ser material (como o ar) ou não (como o vácuo encontrado no espaço sideral). Transporta energia cinética da fonte para o meio, sendo incapaz de transportar matéria, ou seja, substâncias, corpos, materiais, entre outros. Seu estudo teve início com **Galileu Galilei**, físico e astrônomo italiano, e **Isaac Newton**, físico inglês. A acústica é a parte da Ondulatória que estuda especificamente a propagação das ondas sonoras. A luz foi considerada um fenômeno ondulatório a partir da experiência da dupla fenda de **Thomas Young**, físico e médico inglês.

- **Termodinâmica**

A termodinâmica estuda as relações entre o calor trocado e o trabalho realizado. Antecedendo a termodinâmica, pode-se encontrar a Termologia, que é basicamente o estudo do calor, ou seja, o estudo da energia térmica em trânsito. Máquinas térmicas tinham sido inventadas e aperfeiçoadas ao longo dos séculos XVII (dezessete), XVIII (dezoito) e XIX (dezenove), no entanto, a atenção científica veio apenas em meados do século XIX (dezenove) com Sadi Carnot, físico francês. Posteriormente, os estudos de Carnot foram aprimorados James Prescott Joule e Lord Kelvin, físicos ingleses, e por Rudolf Clausius, físico alemão. Os princípios da termodinâmica ajudaram no estabelecimento da teoria cinética dos gases e no consequente desenvolvimento da física estatística. Seus principais conceitos são calor, temperatura, pressão, volume, energia térmica, entalpia, entropia, capacidade térmica, calor específico, entre outros.

1. O que estuda a ondulatória? Que cientistas foram importantes nessa área?
2. O que é acústica?
3. O que estuda a termodinâmica?

ATIVIDADE INDIVIDUAL III – Eletromagnetismo.

1- Leia o texto abaixo e, em seguida, responda às perguntas do final. Prepare-se para compartilhar as respostas com seus colegas.

O eletromagnetismo é basicamente a unificação da eletricidade, que é o estudo das cargas elétricas, estáticas (paradas) ou em movimento, com o magnetismo, que é basicamente o estudo dos ímãs. A luz é uma radiação eletromagnética, e seu campo de estudo, **a óptica**, também faz parte do eletromagnetismo. Seus principais conceitos são capacitância, carga elétrica, corrente elétrica, condutividade

elétrica, campo elétrico, permissividade elétrica, potencial elétrico, resistência elétrica, indução eletromagnética, radiação eletromagnética, campo magnético, fluxo magnético, monopolo magnético, permeabilidade magnética, entre outros.

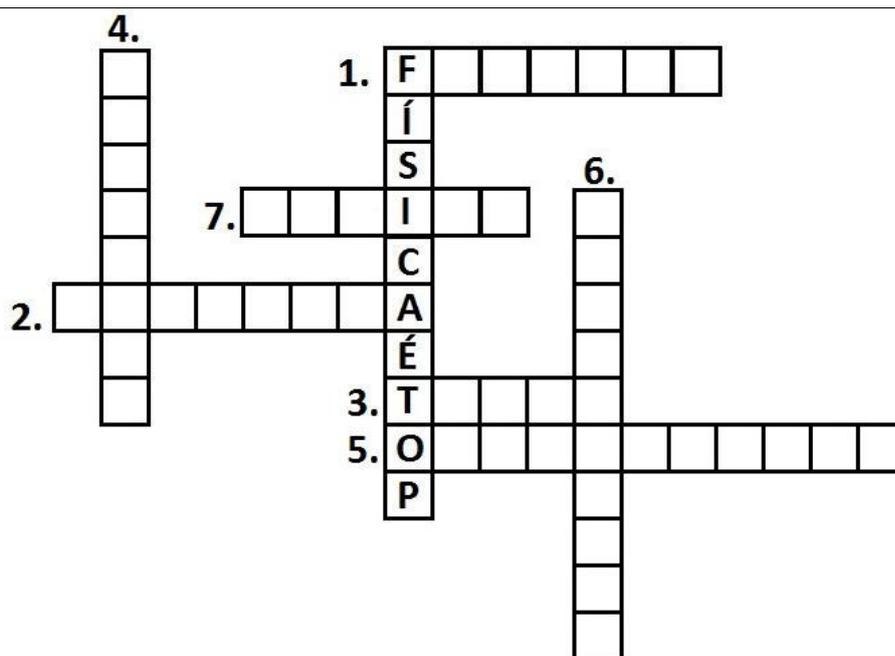
William Gilbert, físico e médico inglês, foi o pioneiro no estudo do magnetismo e da **eletrostática**, que é a parte da eletricidade que aborda o estudo das propriedades físicas das cargas elétricas paradas, ao contrário da **eletrodinâmica**, que estuda a relação da força eletromagnética entre cargas e correntes elétricas. **Otto von Guericke, Benjamin Franklin e Alessandro Volta** contribuíram para o desenvolvimento desta área, mas **Hans Christian Ørsted** foi o primeiro a perceber, em 1820, a ligação entre o magnetismo e eletricidade, até então áreas que eram consideradas independentes entre si. **Michael Faraday** descobriu a indução eletromagnética e **James Clerk Maxwell** unificou as descrições matemáticas da eletricidade e magnetismo em um grupo de quatro equações, conhecidas como Equações de Maxwell.

1. O que é o eletromagnetismo?
2. O que é óptica?
3. Defina eletrostática e eletrodinâmica.

Após ler e responder suas perguntas, cada estudante prepara-se para explicar, em cinco minutos, os pontos principais da atividade pela qual ficou responsável, devendo fazer utilização de uma técnica de interação promotora. Como técnicas de interação promotora podem ser sugeridas: fazer paráfrase, elaborar perguntas e responder perguntas. Quando todos compartilharem, devem preencher coletivamente, em quinze minutos, o instrumental da meta coletiva representado abaixo.

META COLETIVA

Equipe: _____ **Data:** _____



- 1 – Descobriu a indução eletromagnética.
- 2 - Parte da mecânica clássica que estuda o movimento considerando suas causas e fala sobre sistemas sob ação de forças que não se equilibram.
- 3 – Um dos elementos fundamentais da física estudado pela mecânica clássica.
- 4 - Fala sobre sistemas sofrendo a ação de forças que se equilibram.
- 5 - Estuda as características e as propriedades das ondas e seus movimentos e relações.
- 6 - Estudo do calor, ou seja, o estudo da energia térmica em trânsito.
- 7 – Campo de estudo da radiação eletromagnética.

Em seguida, realiza-se o fechamento, fazendo a correção das questões da meta coletiva, e a avaliação individual, composta por cinco perguntas de verdadeiro ou falso. A meta individual de cada estudante é acertar, no mínimo, três perguntas, e a meta cooperativa da equipe é que todos alcancem a meta individual.

AVALIAÇÃO INDIVIDUAL

Nome: _____ . Data: _____

Equipe: _____

1. Responda com V para as assertivas verdadeiras e F para as assertivas falsas.

() A mecânica clássica descreve o movimento de objetos chamados de macroscópicos, que são objetos grandes a ponto de poderem ser vistos a olho nu.

() A acústica é a parte da Ondulatória que estuda especificamente a propagação

das ondas sonoras.

() A termodinâmica estuda as características e as propriedades das ondas e seus movimentos e relações.

() O eletromagnetismo é basicamente a unificação da eletricidade, que é o estudo das cargas elétricas, estáticas (paradas) ou em movimento, com o magnetismo, que é basicamente o estudo dos ímãs.

() A óptica, campo de estudo da radiação eletromagnética **NÃO** faz parte do eletromagnetismo.

Ao final, cada equipe realiza o processamento de grupo. As seguintes perguntas podem ser sugeridas para a orientação desse momento:

- 1) Alguém sentiu que não contribuiu adequadamente para o trabalho?
- 2) Alguém não se sentiu integrado no grupo ou não sentiu que sua contribuição foi aceita pelo grupo?
- 3) Há algum conflito não vivenciado adequadamente durante o trabalho que deve ser abordado agora para evitar que aconteça no futuro?
- 4) Há algum sucesso que o grupo deseja celebrar? Alguém merece ser mencionado especificamente por sua contribuição ao grupo?
- 5) Quais os aspectos do trabalho que contribuiu negativamente para o desempenho do grupo?

Aulas 3 e 4

Após abordar o primeiro tema do curso, sugere-se aos alunos a investigação das três situações já citadas do filme *Star Trek*. Assim, essas duas aulas foram utilizadas para que os alunos pudessem assistir ao filme, que tem duração de aproximadamente duas horas e oito minutos.

Aula 5

No quinto encontro, é abordado o tema 2 – Teoria da Relatividade Restrita e seus Postulados. Os objetivos da aula são conhecer a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein e discutir seus postulados.

A exposição inicial, com duração de vinte minutos, pode ser realizada por meio de uma apresentação em *slides*, organizando-se em torno dos seguintes tópicos: 1. A natureza da luz; 2. Experimento de Michelson e Morley; 3. Einstein e os postulados da Relatividade Restrita.

Após a exposição, os alunos são organizados em números *pares* de trios ou quartetos, dependendo do número de estudantes, de forma heterogênea, onde realizam o contrato de cooperação e a divisão de funções (coordenador, guardião do tempo, relator e, para o quarteto, guardião do contrato). Os grupos recebem um número para identificá-los (1, 2, 3, 4, ...), assim, cada estudante do grupo ímpar recebe uma das seguintes tarefas individuais para ser realizada em, no máximo, sete minutos.

ATIVIDADE INDIVIDUAL 1 - O SURGIMENTO DA TEORIA DA RELATIVIDADE

Entre o final do século XIX (dezenove) e o princípio do século XX (vinte), vários fatos importantes não estavam explicados. Como veremos, alguns foram esclarecidos pela Física quântica. Entretanto, outras questões continuavam sem respostas. Estas só foram dadas por outra teoria: a Teoria da Relatividade de Einstein. Essa teoria, que introduziu profundas transformações em conceitos básicos, é composta de duas partes.

Uma delas é a **Teoria da Reatividade Restrita (ou especial)**, publicada por Einstein em 1905, quando ele tinha 26 anos de idade. Nessa parte, todos os fenômenos são analisados em relação a referenciais necessariamente inerciais, que são sistemas que ou estão parados (velocidade zero) ou estão em movimento retilíneo uniforme em relação a outros referenciais inerciais. A outra parte é a **Teoria da Relatividade Geral**, publicada em 1915, que aborda fenômenos do ponto de vista de referenciais não-inerciais. É importante destacar que a teoria da relatividade não destruiu a mecânica newtoniana, que continua válida para velocidades muito pequenas em comparação com a velocidade da luz no vácuo.

→ Quais são as duas partes compostas pela Teoria da Relatividade de Einstein? Qual a diferença entre elas?

ATIVIDADE INDIVIDUAL 3 – A Teoria da Relatividade Restrita

PRIMEIRO POSTULADO DA RELATIVIDADE RESTRITA

O primeiro postulado de Einstein é chamado de **princípio da relatividade** e afirma que “as leis da física são as mesmas em qualquer sistema de referência inercial”. Ou seja, as leis da Física são as mesmas, expressas por equações que têm a mesma forma, em qualquer referencial inercial. Caso houvesse alguma lei diferente, ela serviria para distinguir um sistema de referência inercial de outro ou faria um sistema ser mais “correto” que outro, assim, esse postulado

implica na afirmação: não existe um referencial inercial privilegiado. Como exemplo disso, podemos fazer o seguinte: imagine que você esteja no interior de um trem que se desloca com velocidade constante e veja uma criança jogar uma bola dentro do trem para outra criança dentro do trem. Observando apenas o movimento da bola, você não poderá saber a velocidade do trem, ou se ele se move. Isso resulta do fato de as leis da mecânica (leis de Newton) serem as mesmas em qualquer referencial inercial.

→ O que diz o primeiro postulando de Einstein e qual sua principal implicação?

ATIVIDADE INDIVIDUAL 5 – Segundo Postulado de Einstein

O segundo postulando de Einstein afirma que “a velocidade da luz no vácuo, chamada de c , é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial e vale 300 000 km/s”. Note que esse postulando contraria radicalmente a maneira newtoniana de compor velocidades. Para confirmar isso, considere uma nave em repouso (parada) em relação às estrelas e recebendo luz emitida por uma lanterna como mostra a figura abaixo.



A velocidade da luz da lanterna em relação à nave é de 300 000 km/s. Agora imagine que a nave entre em movimento retilíneo uniforme para a direita com velocidade igual a 100 000 km/s. Se a composição de velocidades da Mecânica clássica continuasse valendo, a velocidade da luz emitida pela lanterna seria, em relação à nave, de 400 000 km/s, pois, na mecânica clássica quando dois corpos estão se movimentando em sentidos opostos, a velocidade relativa entre eles é igual à soma de suas velocidades. Entretanto, por mais absurdo que pareça, mesmo quando a nave está em movimento, a velocidade da luz da lanterna continua sendo igual a 300 000 km/s! O segundo postulando de Einstein implica a seguinte conclusão: **um observador inercial não pode se deslocar com a velocidade da luz no vácuo**. Assim, na teoria da relatividade, nenhuma composição de velocidades poderá resultar em um valor superior a $c = 300\,000$ km/s, que é, pelos conhecimentos atuais, a maior velocidade possível no Universo.

→ O que diz o segundo postulando da relatividade restrita? Qual a principal implicação desse postulando?

Cada estudante de grupo par recebe uma das seguintes tarefas individuais para ser realizada em, no máximo, sete minutos.

ATIVIDADE INDIVIDUAL 2

Como visto no estudo da mecânica, a velocidade, por exemplo, é uma grandeza **relativa**, isso é, uma grandeza que depende do referencial em relação ao qual é medida. Consequentemente também são relativas outras grandezas que dependem da velocidade, como energia cinética e quantidade de movimento. As grandezas **comprimento, tempo e massa**, entretanto sempre foram tratadas como **absolutas**, isto é, independente do referencial em que são medidas.

Se alguém afirmar que o comprimento de uma ponte, o tempo de duração de uma aula e a massa de uma pessoa dependem do referencial, você certamente achará absurdas essas afirmações. Entretanto, comprimento, massa e tempo, grandezas consideradas absolutas na mecânica clássica, também são grandezas relativas! Apesar de serem relativas, a relatividade dessas grandezas, só fica evidenciada quando estudamos situações em que as velocidades são muito altas, isto é, não desprezíveis em comparação com a velocidade da luz no vácuo, que é de 300 000 km/s, aproximadamente. Por esse motivo, consideração dessas grandezas como absolutas em situações do dia-a-dia tem dado certo.

- Qual a diferença citada no texto entre as grandezas comprimento, tempo e massa na mecânica clássica e na Teoria da Relatividade? Essa é uma diferença real? Explique.

ATIVIDADE INDIVIDUAL 4 – A Teoria da Relatividade Restrita

A Teoria da Relatividade Restrita introduziu muitas mudanças significativas em nossa compreensão da natureza; entretanto, Einstein baseou essa teoria em apenas dois postulados bastante simples. Um dele afirma que as leis da Física devem ser as mesmas em qualquer sistema de referência inercial. Outro diz que a velocidade da luz no vácuo deve ser sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial. Essas proposições aparentemente simples apresentam consequências muito importantes. Três delas são: (1) dois eventos que ocorrem ao mesmo tempo para um observador podem não ocorrer ao mesmo tempo para outro observador, esse fenômeno é chamado de “relatividade da simultaneidade”; (2) quando há movimento relativo entre dois observadores e eles realizam medidas de

tempo e de distância os resultados obtidos por eles podem ser diferentes; (3) Para que a lei da conservação da energia e a lei da conservação do momento linear sejam válidas em qualquer referencial inercial, a segunda lei de Newton e as equações para energia cinética e o momento linear devem ser reformuladas. A relatividade tem consequências muito importantes em **todas** as áreas da física, inclusive a termodinâmica, o eletromagnetismo, a ótica, a física atômica, a física nuclear e a física das partículas de alta energia.

→ Quais são as três consequências importantes dos dois postulados de Einstein?

ATIVIDADE INDIVIDUAL 6 – Natureza da Luz

Na Antiguidade alguns filósofos gregos acreditavam que a luz era formada por pequenas partículas, as quais se propagavam em linha reta e com alta velocidade. Por volta do ano de 1500, Leonardo da Vinci percebeu a semelhança entre a reflexão da luz e o fenômeno do eco e levantou a hipótese de que a luz era um movimento ondulatório. Na busca pela definição sobre a natureza da luz surgiram, no século XVII, duas correntes de pensamento científico: a teoria corpuscular da luz, que era defendida por Newton; e o modelo ondulatório da luz, que era defendido por Christian Huyghens.

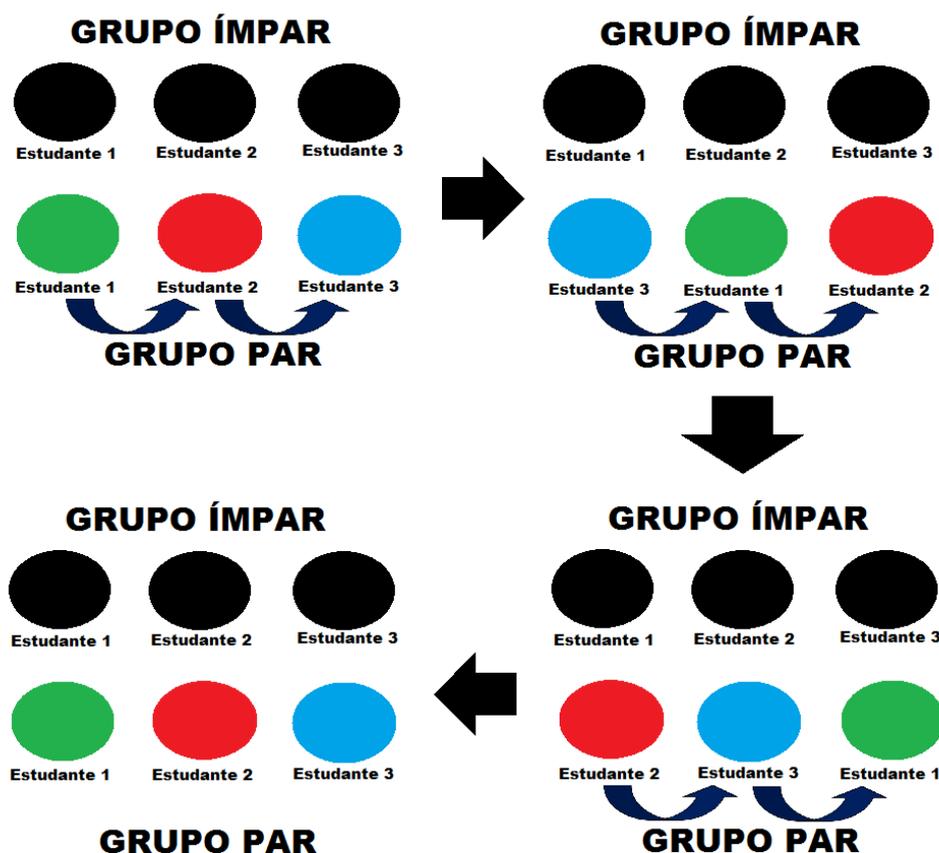
A teoria que predominou por muito tempo foi a de Huyghens, assim, durante o século XIX (dezenove), muitos físicos acreditavam que a luz se deslocasse através de um meio hipotético chamado éter, do mesmo modo que o som se propaga no ar. Se isso fosse verdade, a velocidade da luz em relação a observadores diferentes dependeria da velocidade relativa entre os observadores e, assim, teria diversos valores para direções diferentes. Em 1887, os físicos Michelson e Morley tentaram determinar a velocidade absoluta da Terra através do “éter” hipotético que se imaginava estar presente em todo o espaço, contudo eles não detectaram *nenhum* movimento da Terra em relação ao éter, o que acabou levando ao enfraquecimento do conceito do éter. Somente após 18 anos os resultados negativos do experimento foram explicados por Einstein.

→ Quais as consequências dos experimentos de Michelson e Morley?

Nessa aula, durante o momento da meta coletiva, é utilizada a estratégia da fila cooperativa, que visa a alternar os conteúdos estudados em fileiras nas quais os alunos possuem tópicos diferentes (MARQUES et al., 2015). Assim,

primeiramente os estudantes compartilham para seu grupo, em até três minutos, os pontos mais importantes do seu texto. Em seguida, os alunos sentam em fila de forma que os estudantes de um grupo par fiquem de frente para os estudantes de um grupo ímpar (grupo 1 com grupo 2; grupos 3 com grupo 4; e assim por diante). Na fila cooperativa, cada estudante terá dois minutos para compartilhar com o colega a sua frente o que respondeu na pergunta de sua atividade individual. Terminados os quatro minutos, os alunos dos grupos ímpares permanecem sentados na cadeira, enquanto os estudantes dos grupos pares levantam e andam uma cadeira para o lado, havendo nova rodada de compartilhamento. Esse procedimento se repete até que todos os membros do grupo par tenham interagido com todos os membros do grupo ímpar. O esquema das filas cooperativas está representado na Figura 7. Nesse momento, quem controla o tempo é o professor.

Figura 7 – Esquema representativo da Fila Cooperativa



Fonte: elaborada pela autora.

Finalizado o compartilhamento, os alunos retornam para seus grupos de origem, a fim de produzir a meta coletiva, tendo vinte minutos para isso. Cada equipe recebe o conjunto de frases abaixo, contudo, as recebe fora de ordem. A

meta coletiva da célula é identificar a ordem correta de cada frase e fazer uma síntese com todas as frases.

META COLETIVA			
1. Na teoria da relatividade restrita, as grandezas comprimento, tempo e massa são...	...relativas, diferente da teoria da mecânica clássica.	2. A Teoria da Relatividade Restrita trata de fenômenos analisados em relação a referenciais necessariamente...	...inerciais, que são sistemas que ou estão parados ou estão em movimento retilíneo uniforme em relação a outros referenciais inerciais.
3. O primeiro postulado de Einstein, também chamado de princípio da relatividade, afirma...	...que as leis da física são sempre as mesmas em qualquer sistema de referência inercial.	4. Uma das consequências dos dois postulados da relatividade restrita é que...	...quando há movimento relativo entre dois observadores e eles realizam medidas de tempo e de distância os resultados obtidos por eles podem ser diferentes.
5. O segundo postulado de Einstein diz que...	...a velocidade da luz no vácuo, chamada de c , é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial e vale 300.000 km/s.	6. Durante o século XIX (dezenove), muitos físicos acreditavam que a luz se deslocasse através de um meio hipotético chamado éter, contudo, os experimentos feitos por Michelson e Morley...	..., cujos resultados foram explicados por Einstein, acabaram levando ao abandono da teoria do éter.

Em seguida, realiza-se o fechamento, fazendo a leitura da ordem correta das frases contidas na meta coletiva, e a avaliação individual, composta por cinco perguntas de verdadeiro ou falso. A meta individual de cada estudante é acertar, no mínimo, três perguntas, e a meta cooperativa da equipe é que todos alcançassem a meta individual.

AVALIAÇÃO INDIVIDUAL	
Nome: _____	Data: _____
Equipe: _____	
1. Marque com V para verdadeiro e com F para falso.	
<input type="checkbox"/> Comprimento, massa e tempo, considerados absolutos na mecânica clássica,	

também são, na realidade, grandezas relativas.

() A **Teoria da Relatividade Geral**, publicada em 1915, aborda fenômenos do ponto de vista de referenciais não-inerciais.

() O segundo postulado de Einstein diz que a velocidade da luz no vácuo pode mudar quando se muda de referencial, desde que não ultrapasse o valor de 300.000 km/s.

() Uma consequência do primeiro postulado de Einstein, também conhecido como princípio da relatividade, é que não existe um referencial inercial privilegiado.

() O segundo postulado de Einstein afirma que “a velocidade da luz no vácuo, chamada de **c**, é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial e vale 300.000 km/s.

Ao final, cada equipe realiza o processamento de grupo. As seguintes perguntas podem ser sugeridas para a orientação desse momento:

- 1) Alguém sentiu que não contribuiu adequadamente para o trabalho?
- 2) Alguém não se sentiu integrado no grupo ou não sentiu que sua contribuição foi aceita pelo grupo?
- 3) Há algum conflito não vivenciado adequadamente durante o trabalho que deve ser abordado agora para evitar que aconteça no futuro?
- 4) Há algum sucesso que o grupo deseja celebrar? Alguém merece ser mencionado especificamente por sua contribuição ao grupo?
- 5) Quais os aspectos do trabalho que contribuiu negativamente para o desempenho do grupo?

Aula 6

Na sexta aula, é abordado o tema 3 – A Dilatação do Tempo e a Contração do Espaço. Os objetivos da aula são discutir os conceitos de tempo e espaço na Relatividade Restrita, refletir sobre o paradoxo dos gêmeos e a questão da existência de múons na superfície terrestre.

A exposição inicial, com duração de vinte minutos, pode ser realizada por meio de uma apresentação em *slides*, organizando-se em torno dos seguintes tópicos: 1. Tempo e espaço na Física Clássica; 2. Dilatação do tempo e contração do espaço; 3. Questão do múon e paradoxo dos gêmeos. Aconselha-se a utilização

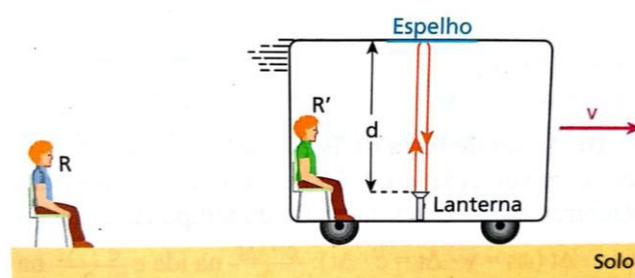
da animação interativa intitulada “O trem de Einstein”³, apresentada pela Nova Escola, para ajudar os alunos a entenderem a dilatação do tempo.

Após a exposição, os alunos são organizados em trios ou quartetos, dependendo do número de estudantes, de forma heterogênea, onde realizam o contrato de cooperação e a divisão de funções (coordenador, guardião do tempo, relator e, para o quarteto, guardião do contrato). Cada estudante do grupo recebe uma das seguintes tarefas individuais para ser realizada em, no máximo, quinze minutos.

TAREFA INDIVIDUAL 1 – DILATAÇÃO DO TEMPO⁴

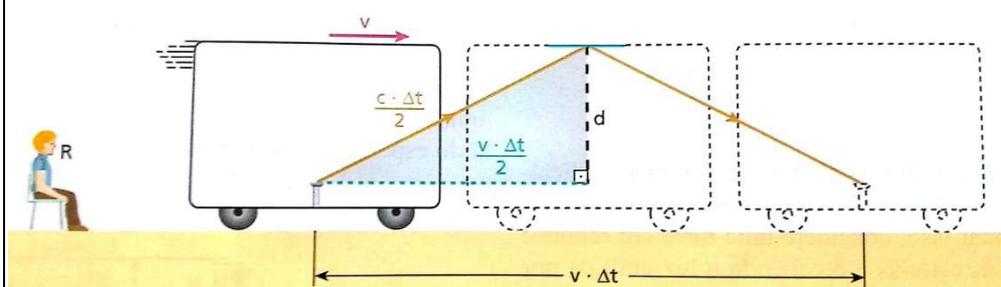
Leia o texto abaixo e responda à pergunta do final. Prepare-se para compartilhar com seus colegas.

Já vimos que o tempo não é uma grandeza absoluta: a medida do tempo depende do referencial em que essa medida foi feita. Como assim? Imagine que você está em um trem que se move com



velocidade v em relação ao solo, como mostra a figura ao lado. Suponha que há um espelho colado no teto do trem. Há uma lanterna que emite um pulso de luz que vai até o espelho e retorna até a lanterna. Para você, R' , que se move junto ao trem, a trajetória da luz é a indicada pelas setas.

Agora vamos imaginar que um amigo seu está no referencial R , parado em relação ao solo. A trajetória que ele verá a luz fazer será a seguinte:



É um caminho muito maior do que o observado por você,

mas a velocidade da luz, como sabemos, é constante em todos os referenciais inerciais. Como a luz consegue percorrer um caminho maior mantendo a mesma

³ Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/4759/o-trem-de-einstein>>

⁴ As ilustrações utilizadas nessa atividade foram retiradas do livro “Tópicos de Física 3”.

velocidade? A resposta para essa pergunta é: o tempo dilata. Usando relações geométricas, podemos chegar à seguinte equação para a dilatação do tempo:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

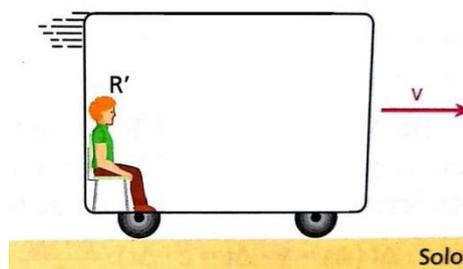
Onde Δt é o tempo para o referencial R e $\Delta t'$ é o tempo para o referencial R' ; v é a velocidade com a qual o referencial R' se move e c é a velocidade da luz.

1) **Para qual referencial o intervalo de tempo é maior, R ou R'?**

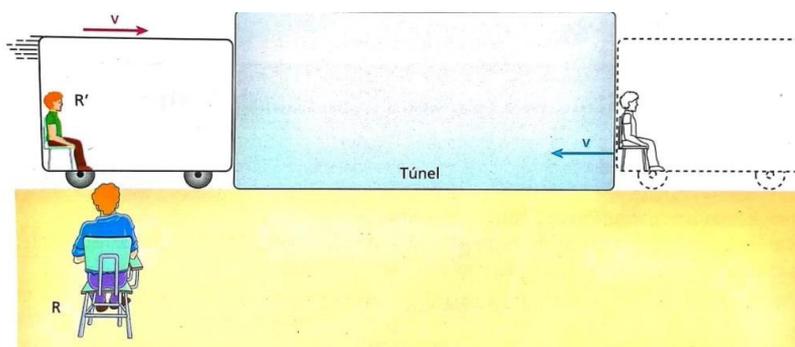
TAREFA INDIVIDUAL 2 – CONTRAÇÃO DO ESPAÇO⁵

Leia o texto abaixo e responda à pergunta do final. Prepare-se para compartilhar com seus colegas.

Já vimos que o espaço não é uma grandeza absoluta: a medida do espaço depende do referencial em que essa medida foi feita. Como assim? Imagine que você está em um trem



que se move com velocidade v em relação ao solo, como mostra a figura ao lado. Suponha que o trem irá passar por um túnel, que é muito maior que o comprimento do seu trem. A medida do comprimento do túnel será analisada em relação a dois referenciais: o referencial R' , você, que se move em relação ao túnel e o referencial R , seu amigo, que está parado em relação ao corpo que será medido, ou seja, o túnel. A situação descrita é observada na figura abaixo.



Para quem está no referencial R , o tempo que o trem irá levar para atravessar o túnel será Δt . Para quem está no referencial R' , o tempo será $\Delta t'$. Sabemos que o tempo dilata, ou seja, $\Delta t > \Delta t'$. A velocidade da luz, c , é constante em todos os referenciais inerciais, ou seja $\frac{L}{\Delta t} = \frac{L'}{\Delta t'} \Rightarrow \frac{L}{L'} = \frac{\Delta t}{\Delta t'}$. Como Δt é maior que $\Delta t'$, então L

⁵ As ilustrações utilizadas nessa atividade foram retiradas do livro “Tópicos de Física 3”.

também é maior que L' e, portanto, **o espaço se contrai**.

Usando relações matemáticas aliadas a raciocínios físicos, podemos chegar à seguinte equação para a contração do espaço:

$$L' = L \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Onde L é o tempo para o referencial R e L' é o tempo para o referencial R' ; v é a velocidade com a qual o referencial R' se move e c é a velocidade da luz.

1) **Para qual referencial o espaço é maior, R ou R' ?**

TAREFA INDIVIDUAL 3 – QUE REFERENCIAL ESCOLHER?⁶

Leia o texto abaixo e responda à pergunta do final. Prepare-se para compartilhar com seus colegas.



No filme “INTERESTELAR”, de 2014, após ver a Terra consumindo boa parte de suas reservas naturais, um grupo de astronautas recebe a missão de verificar possíveis planetas para receberem a população mundial. Cooper é chamado para liderar o grupo. Quando ele partiu em direção ao espaço sideral, sua filha, Murphy, tinha apenas dez anos. Quando ele retornou à Terra, sua filha já era uma senhora bastante idosa, enquanto Cooper tinha praticamente a mesma idade e a mesma aparência

de quando deixou a Terra. Como isso pode ser explicado pela Teoria restrita da Relatividade de Einstein? Bem, supondo que Cooper viajou em uma nave com velocidade v muito próxima à velocidade da luz, ou seja, $v = 0,999c$, o tempo para ele passou de forma diferente que o tempo para sua filha Murphy. A teoria da relatividade nos fornece a relação entre os dois tempos:

$$\Delta t_{Murphy} = \frac{\Delta t_{Cooper}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ ou seja, enquanto para Cooper se passou um ano, para Murphy}$$

se passou aproximadamente 22 anos. A questão é que a análise de um movimento depende do referencial escolhido. Se eu estou correndo de encontro a uma parede, no referencial da parede, eu que estou me movendo, contudo, no meu referencial, é

⁶ As ilustrações dessa atividade foram retiradas da internet.

a parede que se move na minha direção. Assim, para Cooper, é Murphy que se distancia dele com velocidade próxima à da luz. Então por que foi a sua filha que ficou mais velha? A resposta está no primeiro postulado de Einstein “As leis da física são as mesmas em todos os referenciais **INERCIAIS**”. Como Cooper precisou voltar a Terra, em algum momento ele precisou fazer uma curva, movimento que possui aceleração. Nesse instante, o referencial dele deixa de ser inercial e passa a ser acelerado, portanto, as leis da relatividade restrita não valem mais para ele. Como Murphy permaneceu na Terra, seu referencial foi sempre inercial e, portanto, é em relação a ela que analisamos o movimento.

1) Por que no filme Interestelar foi a filha de Cooper, e não Cooper, que ficou mais velha?

Após ler e responder suas perguntas, cada estudante prepara-se para explicar, em cinco minutos, os pontos principais da atividade pela qual ficou responsável, devendo fazer utilização de uma técnica de interação promotora. Como técnicas de interação promotora podem ser sugeridas: fazer paráfrase, elaborar perguntas e responder perguntas. Quando todos compartilharem, deverão responder coletivamente, em vinte minutos, o instrumental da meta coletiva representado abaixo.

META COLETIVA

Equipe: _____ **Data:** _____

1. Por que o paradoxo dos gêmeos é considerado um paradoxo? Na opinião de vocês, ele é de fato um paradoxo? Justifiquem.
2. Justifiquem a existência de múons na superfície da Terra a partir da contração do espaço.

Em seguida, realiza-se o fechamento, pedindo que o relator de cada equipe sintetize suas respostas obtidas pelo seu grupo na meta coletiva, e a avaliação individual, composta por cinco perguntas de verdadeiro ou falso. A meta individual de cada estudante é acertar, no mínimo, três perguntas, e a meta cooperativa da equipe é que todos alcançassem a meta individual.

AVALIAÇÃO INDIVIDUAL

Nome: _____ . Data: _____

Equipe: _____

2. Marque com V para verdadeiro e com F para falso.

- () De acordo com a Teoria da Relatividade Restrita, o tempo é uma grandeza absoluta e independe do referencial em que é medido.
- () Para alguém viajando próximo à velocidade da luz, o tempo passa mais rápido do que para alguém que continua na Terra, por exemplo.
- () Ao contrário do tempo, que dilata, quando alguém viaja próximo à velocidade da luz, seu espaço se contrai.
- () O espaço não sofre alterações quando alguém viaja a velocidades próximas à velocidade da luz.
- () Deve-se ter cuidado ao escolher o referencial para analisar o movimento, pois esse referencial deve ser sempre INERCIAL para que os postulados da Relatividade Restrita sejam válidos.

Ao final, cada equipe realiza o processamento de grupo. As seguintes perguntas podem ser sugeridas para a orientação desse momento:

- 6) Alguém sentiu que não contribuiu adequadamente para o trabalho?
- 7) Alguém não se sentiu integrado no grupo ou não sentiu que sua contribuição foi aceita pelo grupo?
- 8) Há algum conflito não vivenciado adequadamente durante o trabalho que deve ser abordado agora para evitar que aconteça no futuro?
- 9) Há algum sucesso que o grupo deseja celebrar? Alguém merece ser mencionado especificamente por sua contribuição ao grupo?
- 10) Quais os aspectos do trabalho que contribuiu negativamente para o desempenho do grupo?

Aula 7

Na sétima aula, é abordado o tema 4 – A Dobra Espacial, o Teletransporte e a Viagem no Tempo. De posse dos conhecimentos estudados de Teoria da Relatividade Restrita, associados à abordagem sutil de temas da Relatividade Geral e da Física Quântica, os objetivos da aula são discutir a possibilidade: da viagem no tempo, da existência da tecnologia de dobra e do teletransporte, conforme vistos no filme *Star Trek*.

A exposição inicial, com duração de vinte minutos, pode ser realizada por meio de uma apresentação em *slides*, organizando-se em torno dos seguintes tópicos: 1. Velocidade de dobra; 2. Viagem no tempo; 3. Teletransporte.

Após a exposição, os alunos são organizados em trios ou quartetos, dependendo do número de estudantes, de forma heterogênea, onde realizam o contrato de cooperação e a divisão de funções (coordenador, guardião do tempo, relator e, para o quarteto, guardião do contrato). Partindo do princípio de que os alunos tiveram contato com o contrato de cooperação em todas as aulas anteriores, desta vez eles elaboram o próprio contrato, não o recebem pronto. Em seguida, cada estudante do grupo recebe uma das seguintes tarefas individuais para ser realizada em, no máximo, quinze minutos.

ATIVIDADE INDIVIDUAL 1⁷



Transpondo a velocidade da luz: a dobra espacial

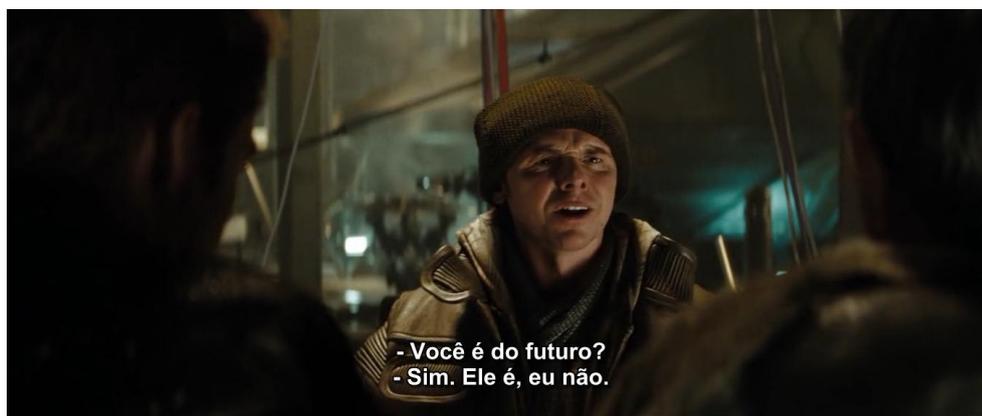
Ao longo do filme Star Trek, ouvimos várias vezes a expressão “Entrar em dobra!” ou “Dobra máxima!”, como na imagem. Mas o que seria essa dobra? A **dobra espacial** é um sistema de propulsão **mais rápido do que a velocidade da luz** ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Ela cria uma bolha de tempo-espaço em volta da nave e faz com que ela se desloque à distância de **anos-luz em apenas minutos**. **Esse mecanismo é muito importante**, pois possibilita a Enterprise, principal nave da Frota Estelar, realize suas aventuras pelo espaço. Sem ele, a nave jamais chegaria a lugar algum, pois, no espaço, as distâncias entre os planetas são muito grandes. Para se ter uma noção, o sistema solar mais próximo de nós é o da estrela Próxima Centauri, que está a 4 anos-luz de distância, ou seja, a $3,78 \cdot 10^{16}$ m.

⁷ A ilustração contida nessa atividade foi retirada do filme *Star Trek* (2009).

Por outro lado, sabemos que o segundo postulado da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein nos diz “a velocidade da luz no vácuo, chamada de c , é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial e vale 300 000 km/s”, implicando na seguinte afirmação: **um observador inercial não pode se deslocar com a velocidade da luz no vácuo.**

1) Baseando-se apenas no segundo postulado de Einstein, a tecnologia de dobra seria possível na vida real? Explique

TAREFA INDIVIDUAL 2⁸



A VIAGEM NO TEMPO

No filme Star Trek, uma supernova ameaça o planeta Romulus. O então embaixador Spock se une a Nero, um minerador romulano, com o objetivo de evitar que a supernova consuma esse planeta. O plano era simples: Spock se aproximaria da supernova o bastante para lançar a matéria vermelha, uma substância artificial instável e tem como uma de suas propriedades a tendência a se condensar em singularidades, como o buraco negro. Contudo, apesar de Spock lançar a matéria vermelha, não o faz a tempo e o planeta romulano é destruído, deixando Nero com um poderoso desejo de vingança. Ao ser lançada, a matéria vermelha tem suas propriedades destrutivas acionadas pela alta temperatura da estrela, gerando um buraco negro que “suga” Nero e Spock, levando-os de volta ao passado. Mas seria possível viajar no tempo?

Baseando-nos na Teoria Restrita e a Teoria Geral da Relatividade, ambas de Einstein, podemos dizer que há duas formas de o tempo passar de diferentes formas para pessoas em referenciais diferentes:

1) Um dos referenciais está em uma nave que se move com **velocidade próxima a**

⁸ A ilustração contida nessa atividade foi retirada do filme *Star Trek* (2009).

da luz, pra quem o tempo passa mais devagar;

2) Um dos referenciais **sobrevoa uma região onde a força da gravidade seja extrema**, como uma estrela de nêutrons ou um buraco negro, pois quanto maior é o campo gravitacional de uma região, mais o tempo passa devagar nesse local.

1. **Baseando-se nessas informações, seria possível “viajar” no tempo? Se sim, iríamos para o passado ou para o futuro?**

ATIVIDADE INDIVIDUAL 3⁹



Spock para Enterprise.
Teletransporte-nos.

“LEVE-NOS PARA CIMA, SCOTTY”: O TELETRANSPORTE

Uma das principais vantagens da nave Enterprise é seu dispositivo de Teletransporte. Ao longo do filme, vemos Kirk, Spock e outros personagens sendo salvos de situações de risco devido a esse dispositivo. Mas afinal, o teletransporte é puramente ficção ou há alguma realidade? Por incrível que possa parecer, cientistas têm conseguido com sucesso teletransportar partículas por distâncias cada vez maiores. Mas como isso funciona? A ideia de teletransportar, de forma simples, quer dizer desmaterializar o objeto desejado e materializá-lo em outro lugar, sem a necessidade de deslocamento no espaço, portanto há uma enorme economia de energia e tempo. E é assim que os teletransportadores da Enterprise funcionam, contudo, no mundo real, há um sério problema para que isso seja possível: o **Princípio da Incerteza de Heisenberg**, que reina em todo o mundo quântico e diz ser impossível saber com certeza a velocidade e posição de uma partícula. Então surge o problema: como teletransportar algo que você não pode afirmar sem dúvidas onde está?

A solução usada por cientistas da Califórnia foi utilizar o **emaranhamento**

⁹ A ilustração contida nessa atividade foi retirada do filme *Star Trek* (2009).

quântico, um fenômeno que afirma que todas as partículas estão ligadas por uma “espuma quântica” que liga todas as coisas. Diferente do teletransporte do filme, o teletransporte quântico transmite apenas a **informação** presente em uma partícula.

1) Considerando que uma pessoa carrega uma quantidade muito grande de informações e que mesmo o computador mais potente tem um limite de armazenamento, você acha que seria possível fazer o teletransporte quântico de uma pessoa?

Após ler e responder suas perguntas, cada estudante prepara-se para explicar, em cinco minutos, os pontos principais da atividade pela qual ficou responsável, devendo fazer utilização de uma técnica de interação promotora. Como técnicas de interação promotora podem ser sugeridas: fazer paráfrase, elaborar perguntas e responder perguntas. Quando todos compartilharem, deverão responder coletivamente, em vinte minutos, o instrumental da meta coletiva representado abaixo e garantir que todos do grupo compreendam bem cada uma das perguntas e saibam justificar as respostas.

META COLETIVA

Equipe: _____ . Data: _____

1. Marquem com V para verdadeiro e com F para falso.

a. () De acordo com a Teoria da Relatividade Restrita, a tecnologia de velocidade de dobra é absolutamente possível.

b. () Existe suporte teórico (Teoria da Relatividade Restrita e Geral) para viagens no tempo para o passado, como aconteceu com Nero e Spock no filme Star Trek.

c. () O teletransporte não é puramente ficção: por incrível que pareça, cientistas tem conseguido teletransportar partículas por distâncias cada vez maiores.

d. () O Princípio da Incerteza de Heisenberg, que reina no mundo quântico, afirma ser impossível determinar com certeza a velocidade e posição de uma partícula.

e. () Segundo a Teoria Geral da Relatividade, quanto maior a atração gravitacional em uma região, mais o tempo passa devagar nesse local.

Em seguida, realiza-se o fechamento. É solicitado que os estudantes fiquem em pé e formem um círculo. Então o professor entrega uma caixa aos alunos contendo as letras “a”, “b”, “c”, “d” e “e”. O docente colocará uma música para tocar e fechará os olhos; enquanto a música tocar, os alunos devem passar a caixa de mão

em mão, quando a música parar, o aluno que ficar com a caixa deverá retirar uma letra da caixa. Essa letra irá corresponder a um item da meta coletiva, e o aluno terá de dizer se aquela assertiva é verdadeira ou falsa, justificando. Seus colegas podem ajudar e fazer comentários adicionais. Caso todas as questões sejam acertadas, a classe inteira recebe uma bonificação, que pode ser chocolate, pirulitos, pontos extras, ficando a escolha dessa recompensa a critério do professor. Esse método de realizar o fechamento ajuda os alunos a perceberem a interdependência positiva não apenas em seu trio, mas em toda a sala de aula.

A avaliação individual é composta por cinco perguntas de verdadeiro ou falso, conforme indicado abaixo. A meta individual de cada estudante é acertar, no mínimo, três perguntas, e a meta cooperativa da equipe é que todos alcançassem a meta individual.

AVALIAÇÃO INDIVIDUAL

Nome: _____ . Data: _____

Equipe: _____

1) Marquem com V para verdadeiro e com F para falso.

() De acordo com a Teoria da Relatividade Restrita, a tecnologia de velocidade de dobra é absolutamente possível.

() Existe suporte teórico (Teoria da Relatividade Restrita e Geral) para viagens no tempo para o passado, como aconteceu com Nero e Spock no filme Star Trek.

() O teletransporte de partículas realizado por alguns cientistas é feito da mesma forma que o teletransporte realizado pelo dispositivo da nave Interprise.

() Para uma nave se movendo com velocidade próxima à velocidade da luz o tempo passa mais lentamente do que para alguém que está na Terra.

() O segundo postulado de Einstein afirma que “a velocidade da luz no vácuo, chamada de c , é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial e vale 300.000 km/s”.

Por fim, cada equipe realiza o processamento de grupo. Assim como no contrato de cooperação, dessa vez não são entregues sugestões de perguntas, o ideal é que os estudantes consigam realizar o processamento de forma autônoma. Caso eles não consigam, o professor pode sugerir o processamento no formato “Que bom”, “Que pena” e “Que tal?”, no qual cada aluno relata um ponto positivo do

trabalho, um ponto negativo e uma sugestão para que as atividades ocorram de forma mais eficiente na próxima vez.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir das pesquisas bibliográfica e documental possibilitaram a identificação de três temas relevantes a serem abordados pela proposta didática, bem como à elaboração de quatro planos de aula na técnica de Aprendizagem Cooperativa ETMFA, entre os quais um também utilizava a estratégia da Fila Cooperativa. Os temas e a relação que possuem com as habilidades que se espera desenvolver em um estudante de Física em acordo com os PCNs encontram-se na Tabela 5.

Tabela 3 – Relação entre os temas do curso e a as habilidades dos PCNs

TEMA	HABILIDADE (PCN, 2000)
1 - Da Física Clássica à Física Moderna.	Construir a percepção do conhecimento físico como: <ul style="list-style-type: none"> • processo histórico; • atividade humana.
2 - Teoria da Relatividade Restrita.	Reconhecer o conceito de tempo como parâmetro físico.
3 - Dobra espacial, o teletransporte e a viagem do tempo.	Manter-se estimulado a acompanhar as notícias científicas divulgadas.

Fonte: elaborada pela autora.

Por proporcionar ao estudante a percepção de que para que surgisse esse novo ramo da física houve interações entre diferentes pessoas, o tema 1 foi relacionado com a habilidade de entender o conhecimento físico como um processo histórico e um resultado da atividade humana. O tema 2 inclui os dois postulados da teoria, a dilatação do tempo e a contração do espaço, além das questões da existência dos múons e do paradoxo dos gêmeos. Esse paradoxo pode auxiliar o aluno a reconhecer o tempo não apenas como um valor necessário para calcular a velocidade média de um corpo, mas como um parâmetro físico envolvido em vários processos químicos e biológicos, pois quando um dos irmãos viaja em uma nave próxima à velocidade da luz não apenas o tempo do relógio se passa mais devagar: seus processos biológicos e as reações químicas que ocorrem em seu corpo também acontecem mais lentamente. Já o tema 3, por inserir de forma

bem inicial assuntos relacionados à Física Quântica, que junto à Relatividade Restrita constitui temática recorrente em divulgações científicas, foi associado com a habilidade de estimular-se a acompanhar os produtos de divulgação científica.

Sobre a proposta pedagógica para o Ensino de Relatividade Restrita, esta foi aplicada em uma escola de Ensino Médio da Rede Estadual de Fortaleza, com público-alvo heterogêneo, composto por estudantes cursando o Primeiro, o Segundo ou o Terceiro ano do Ensino Médio e com idades entre dezesseis e dezoito anos.

A divulgação do curso, que recebeu o nome de “Estamos ai na Relatividade”, em referência a um meme¹⁰ surgido na rede social *Twitter*, ocorreu duas semanas antes do início das atividades, tendo sido realizada no período da manhã em todas as turmas de Ensino Médio da escola, deixando claro que os encontros iriam ocorrer às terças-feiras, no laboratório de informática da escola, das 14:00 h às 15:40 h. Ficou acordado com a Coordenação que os alunos que se inscrevessem e tivessem pelo menos 75% de presença seriam gratificados com um ponto na média das disciplinas escolares.

No primeiro dia do curso, treze alunos compareceram, entre eles três meninas e dez meninos; nos encontros seguintes, o número de estudantes participantes manteve uma média de seis estudantes por encontro. Para a análise de conteúdos, na preparação das informações, separou-se os seguintes materiais: respostas dos alunos às atividades individuais, respostas dos alunos às metas coletivas e diários de campo produzidos pela autora ao longo das aulas. Esses materiais foram organizados cronologicamente de acordo com a aula a qual estavam relacionados. As unidades de análise escolhidas foram os documentos em forma integral, que foram agrupados, na categorização, em quatro grupos: os que tinham relação com o conhecimento prévio dos alunos sobre Relatividade Restrita; os que estavam associados ao desenvolvimento de certas habilidades pelos estudantes e às dificuldades que eles enfrentaram; e os que se ligavam à forma como os estudantes receberam a metodologia.

Sobre os materiais recolhidos dos diários de campo, uma observação pertinente foi que, no início da aula 2, foram apresentadas duas fotos: uma de Max Planck e outra de Albert Einstein. Foi perguntado aos alunos se eles sabiam quem

¹⁰ O meme é uma ferramenta de troca de informações, muitas vezes de cunho humorísticos, via web, podendo ser considerado uma evolução do emoticons, “nome dado a uma sequência de caracteres tipográficos ou umas imagens simbólicas, que representam o rosto humano e expressam as emoções dos participantes no processo de comunicação” (JABLONKA, 2012, p. 111, apud MARQUES; PAIVA, 2013).

eram aquelas duas pessoas, sendo que a maioria dos estudantes conhecia Einstein, apesar de não saber exatamente que contribuições ele deu para a Física, e nenhum estudante conhecia Max Planck ou já tinha ouvido falar sobre ele. É importante ressaltar que a turma contava com alunos do Terceiro ano, série na qual os Parâmetros Curriculares de Ensino (2000) propõem a abordagem do tema estruturador matéria e radiação, assim, esse fato pode indicar duas realidades: ou os alunos não haviam tido contato com a Física Moderna ou talvez a abordagem nessa disciplina não tivesse sido feita de forma a ressaltar sua construção como ciência, mostrando os sujeitos envolvidos em seu desenvolvimento.

Com relação às atividades individuais, de forma geral e baseando-se nas observações dos diários de campo realizados, é possível afirmar que os estudantes se mostraram dedicados, lendo os textos, marcando as partes que consideravam importantes e respondendo às perguntas. Nesse contexto, quatro tipos de respostas foram observados: as do tipo cópia direta dos conceitos mostrados nos textos (tipo 1), as incompletas (2), as que apresentavam conceitos corretos, mas que não possuíam relação com a pergunta feita (tipo 3), e as do tipo interpretação da informação e elaboração da própria explicação (tipo 4). A tabela 6 traz um exemplo de cada um desses tipos.

Tabela 4 – Tipos de respostas às tarefas individuais

Tipo	Exemplo
1	<p><u>Pergunta:</u> O que estuda a mecânica clássica? (Atividade Individual I, aula 2)</p> <p><u>Resposta do aluno:</u> A mecânica clássica descreve o movimento de objetos chamados de macroscópicos. Esses objetos são grandes a ponto de poderem ser vistos a olho nu, por exemplo, projéteis (“coisas” que podem ser arremessadas, como pedras, balas de revólver).</p>
2	<p><u>Pergunta:</u> Por que no filme Interestelar foi a filha de Cooper, e não Cooper, que ficou mais velha? (Atividade Individual III, aula 6).</p> <p><u>Resposta do aluno:</u> 1º postulado de Einstein. As leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais (faltou especificar porque Cooper não era um referencial inercial).</p>
3	<p><u>Pergunta:</u> Quais as consequências dos experimentos de Michelson e Morley? (Atividade Individual 6, aula 5).</p>

	<u>Resposta do aluno:</u> Tentaram determinar a velocidade absoluta da Terra. Determinar a velocidade da Terra através do éter.
4	<u>Pergunta:</u> Considerando que uma pessoa carrega uma quantidade muito grande de informações e que mesmo o computador mais potente tem um limite de armazenamento, você acha que seria possível fazer o teletransporte quântico de uma pessoa? (Atividade Individual 3, aula 7). <u>Resposta do aluno:</u> Provavelmente sim, porém essa pessoa iria morrer, pois como vimos assim acontece quando é usado o teletransporte quântico.

Fonte: elaborada pela autora.

As respostas do tipo 1 foram as que mais ocorreram, podendo indicar que muitos estudantes sabem identificar informações relevantes do texto, porém, têm dificuldade de organizar os conhecimentos que possuem para formular respostas próprias, ficando restritos ao que está escrito no material de consulta.

Sobre a meta coletiva, a observação dos diários indicou que tanto os compartilhamentos quanto as discussões sobre as atividades da meta ocorriam de forma satisfatória, ainda que algumas pessoas tenham sentido um pouco de vergonha de falar para os colegas no primeiro dia. Durante a aula 5, principalmente, foi possível perceber alunos interagindo no sentido de explicar a diferença entre os dois postulados da Relatividade Restrita e entre referencial inercial e referencial não-inercial. A produção **escrita**, entretanto, encontrava sérios obstáculos. De fato, os únicos instrumentais de meta coletiva preenchidos dentro do prazo de tempo estipulado foram o da aula 2 e o da aula 7, sendo que no primeiro, apesar de conhecer as respostas, os estudantes sentiram dificuldade para completar a cruzadinha, e no último, inicialmente, haviam questões erradas, mas que, no momento do fechamento, foram corrigidas pelos próprios estudantes. Esse fato confirmou o que já havia sido observado nas atividades individuais: era difícil para os alunos organizar os pensamentos para produzir respostas escritas.

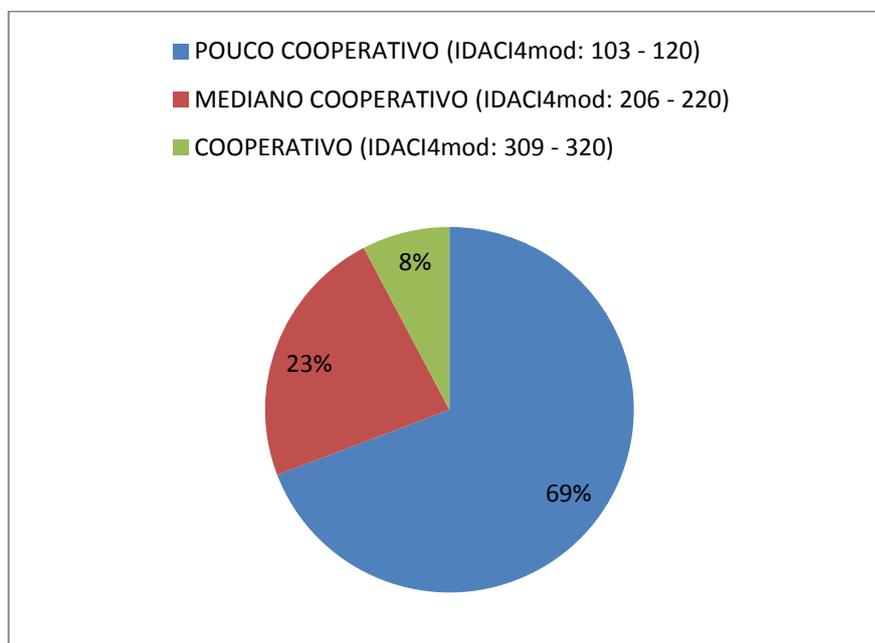
Em relação à utilização da metodologia, 100% dos alunos afirmaram ter gostado, conforme indicaram os resultados de um instrumental anônimo de avaliação realizado no último dia de aula. Além disso, foi pedido que os alunos escrevessem um relato de sua participação nas atividades. Dentre esses relatos sobre o curso, é possível destacar o da aluna L.,

Eu gostei bastante dele (curso) [...], gostei muito também das brincadeiras que ela (professora) fez sobre passar o conhecimento sobre a aula, cada um passava um pouco do conhecimento para o outro, isso também foi muito importante, todos aprenderam muito. O filme ajudou porque para muitos só a explicação não fica clara [...]. Eu acho que a física é um conjunto não só de cálculos mais [sic] também tem leis e físicos que tem diferentes visões sobre a física com várias leis, como Albert Einstein, Isaac Newton e Galileu Galilei (estudante L.).

Assim, pode-se dizer que os alunos gostaram da utilização da metodologia, enxergando-a como algo lúdico e participativo, o que pode representar um indício de que os estudantes aprovaram o uso da Aprendizagem Cooperativa nas atividades sobre Teoria da Relatividade Restrita e sentiram-se envolvidos no processo de ensino-aprendizagem, o que, de acordo com Batista et al (2009), é o primeiro passo para uma aprendizagem efetiva.

A partir dos resultados das avaliações individuais, foi possível calcular o $IDACI^4_{mod}$ de cada estudante. Esses dados, por meio de uma análise quantitativa, levaram à construção do gráfico 2, que indica a porcentagem de estudantes em cada nível de cooperação.

Gráfico 2 – Porcentagem de estudantes em cada nível de cooperação



Fonte: elaborado pela autora.

Do gráfico 2, observa-se que maioria dos alunos ficou no nível “pouco cooperativo”, o que pode ser explicado por essa experiência ter sido o primeiro contato com a metodologia para quase todos os estudantes, portanto, ainda havia

alguns comportamentos característicos de grupos tradicionais, especialmente nos primeiros encontros, como estudantes querendo fazer a meta coletiva sozinhos. Uma vez que o pilar Habilidades Sociais não foi trabalhado com os discentes de forma específica, esse resultado também pode estar relacionado com o fato de os alunos não serem muito habilidosos socialmente.

Entretanto, é possível observar que o segundo nível mais observado foi o “mediano cooperativo”, seguido do “cooperativo”, ou seja, nenhum estudante obteve desempenho “cooperativo insuficiente”, um indício de que em pelo menos um momento todos os alunos tiveram contato com alguma forma de cooperação.

Assim, de forma geral, pode-se afirmar que os alunos da escola na qual a proposta pedagógica foi aplicada receberam bem a metodologia e conseguiram interagir em grupo, ainda que nem sempre da maneira ideal esperada. Ademais, na última aula, quando o fechamento foi realizado de forma participativa com todos os estudantes da sala, observou-se que muitos alunos haviam adquirido conhecimentos, mesmo que mínimos, sobre a Teoria da Relatividade Restrita, que era até então desconhecida por eles, inclusive a classe conseguiu ganhar a bonificação nesse dia, que foi uma caixa de chocolate. No início do curso, os alunos não sabiam a diferença entre a Física Clássica e a Física Moderna; no final, já tinham noção de que partes constituíam cada um desses dois ramos da Física e quais as principais diferenças entre eles. As atividades individuais também indicaram que muitos estudantes conseguiram começar a ver o tempo como um parâmetro não absoluto, mas dependente do referencial no qual é medido.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo inicial desse trabalho era fazer a apresentação de uma proposta didática para o ensino de Teoria da Relatividade restrita a nível médio e utilizando a metodologia da Aprendizagem Cooperativa, justificada pela necessidade apresentada nos Parâmetros Curriculares Nacionais de inserir temas de Física Moderna no currículo das escolas, a fim de que os estudantes pudessem ter uma educação cidadã e uma melhor compreensão do mundo. Como complemento, buscou-se fazer uma análise qualitativa da aplicação dessa proposta didática em uma turma de alunos do Ensino Médio, investigando se a metodologia utilizada contribuiu de alguma forma para o aprendizado desses estudantes.

As aulas iniciais trouxeram indícios de que os alunos da escola na qual a proposta foi aplicada não tinham muito contato com assuntos relativos à Física

Moderna, ainda que a turma fosse composta por estudantes das três séries do Ensino Médio. Os resultados obtidos das atividades individuais também indicaram que os discentes, apesar de saberem procurar respostas a partir de materiais disponibilizados, sentiam dificuldade em organizar os conteúdos disponíveis para construir uma explicação própria para os fatos.

Nesse contexto, a utilização da Aprendizagem Cooperativa foi importante por possibilitar aos estudantes espaços de discussão oral, na qual eles conseguiam desenvolver melhor sua argumentação. Os próprios estudantes gostaram do uso da metodologia nas atividades, pelo que indicaram relatos de experiência e resultados apresentados por instrumentais de avaliação, ainda que a cooperação entre eles tenha ocorrido de forma ainda muito inicial.

Ao final do trabalho, foi possível observar que os alunos começaram se apropriar dos conceitos trazidos pelos postulados da Relatividade Restrita, despertando a visão de diferenças conceituais entre o tempo e o espaço sob a ótica dos dois ramos da Física: o clássico e o relativístico. Assim, na escola onde a proposta didática foi aplicada, pode-se concluir que trouxe benefícios para os estudantes, podendo constituir uma abordagem para o ensino de Relatividade Restrita a Nível Médio e despertando a atenção dos estudantes para essa área da Física.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. V.; LOPES, E. SALA DE RECURSOS E CONTRATURNO ESCOLAR: ENTENDENDO AS DIFERENÇAS. **VIII Encontro Da Associação Brasileira De Pesquisadores Em Educação Especial**, Londrina, 2013.
- BATISTA, D. C. **UMA PROPOSTA PARA SE ENSINAR EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - UTFPR. Campo Mourão, p. 80. 2016.
- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. **Tópicos de Física, 3: eletricidade, física moderna, análise dimensional**. São Paulo: SARAIVA S.A, 2007.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1988.
- BRASIL. LEI Nº 9.394, de 20 de dez. de 1996. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**, Brasília, DF, dez 1996.
- BRASIL. Orientações **Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ensino Médio. Brasília, 2000.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs)**. Ensino Médio. Brasília, 2000.
- COCHITO, M. I. G. S. **Cooperação e Aprendizagem**. 2004.
- COOPERATIVE LEARNING INSTITUTE. **Introduction to Cooperative Learning**. Disponível em: < <http://www.co-operation.org/> >. Acesso em: 17 out. 2018.
- CORDOVA, H. P. **CONSTRUÇÃO DE UM INTERFERÔMETRO DE MICHELSON E APLICAÇÕES NO ENSINO DE ÓPTICA**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - UFRJ. Rio de Janeiro, p. 116. 2016.
- CUNHA, U. A. **Aprendizagem Cooperativa em Química: Estratégia para Promover Interação Discente em Sala de Aula**. Dissertação (Mestrado em Química) – UFC. Fortaleza, 2014.
- EBY, F. **História da educação moderna: séc. XVI/séc.XX**. 5 ed. Porto Alegre: Globo, 1978.
- EDMAN, Irwin. **John Dewey: sua contribuição para a tradição americana**. Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1965.
- ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO COOPERATIVO DA ESCOLA – IDACI/IDACT**. PRECE, 2016.
- FARIAS, J. T. **O ESPORTE/LAZER NO CONTRATURNO ESCOLAR: relato de experiência**. Monografia (Graduação em Educação Física) - UnB. Santa Maria, p. 34. 2007.

FEITOSA, A. M. D. S. **ESCOLA PRIMÁRIA NA PROVÍNCIA DO CEARÁ: organização e formação docente**. Dissertação (Mestrado em Educação) - UECE. Fortaleza, p. 197. 2008.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **LIÇÕES DE FÍSICA, VOLUME 1**. Bookman, 2008.

FIRMIANO, E.P. **APRENDIZAGEM COOPERATIVA NA SALA DE AULA**. Programa de Educação em Células Cooperativas, 2011.

GLEISER, M. **A Dança do Universo: dos Mitos de Criação ao Big-Bang**. Companhia de Bolso, 2006.

GOMES, Maria do Carmo. **Canafístula: vida e esperança no sertão nordestino: Estudo sobre a experiência de desenvolvimento local na organização sócio-econômica do povoado de Canafístula, Apuiarés/CE**. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Políticas Públicas e Sociedade) – UECE, Fortaleza, p. 155, 2010.

GREENBERG, J.; BARON, R.A. Decision Making in Organizations. Em J. Greenberg & R.A. Baron. **Behavior in Organizations: Understanding and managing the human side of work** (pp.374-406). New Jersey: Prentice-Hall, 1995.

GUIMARÃES, A. V. **UMA ANÁLISE SOBRE A FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**. Monografia (Monografia em física) - UECE. Fortaleza, p. 63. 2011.

JOHNSON, D. W. & JOHNSON, R. **Cooperation in the Classroom**. Edina (MN): Interaction Book Company, 2008.

JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. T. **Impact Of Cooperative-Team Learning On Performance And Retention**. Minneapolis, 1989.

JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. T.; SMITH, K. A. A Aprendizagem Cooperativa Retorna às Faculdades: Qual é a Evidência de que Funciona? **Change**, v. 30, n. 4, p. 26, 1998.

KESSLER, S. L. **O ENSINO DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: Necessidades de Dificuldades no Oeste Catarinense**. Dissertação (Mestrado em Educação) - PUCRS. Porto Alegre, p. 212. 2008.

LOPES, J.; SILVA, H.S. **Aprendizagem Cooperativa na sala de aula: um guia prático para o professor**. 1. ed. Lisboa: Lidel, 2009.

MARQUES, H. L.; PAIVA, C. C. Comunicação e memes: Uma análise do discurso sócio-virtual do Willy Wonka Irônico. **Intercom Nordeste**, Mossoró, 2013.

MARQUES, S. P. D. **APRENDIZAGEM COOPERATIVA COMO POSSIBILIDADE DE SUPERAÇÃO DAS DIFICULDADES NO APRENDIZADO DA QUÍMICA: O**

OLHAR DOS EDUCANDOS NO ENSINO MÉDIO. Dissertação (Dissertação em Química) - UFC. Fortaleza, p. 141. 2013.

MARQUES, S. P. D. et al. APRENDIZAGEM COOPERATIVA COMO ESTRATÉGIA NO APRENDIZADO DE QUÍMICA NO ENSINO MÉDIO. **Conex. Ci. e Tecnol**, Fortaleza, v. 9, n. 4, p. 57 - 66, dezembro 2015.

MONEREO, C.; GISBERT, D. **Tramas: procedimentos para a aprendizagem cooperativa.** Porto Alegre: Artmed Editora, 2005.

MORAES, Roque. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94 - 99, março 2000.

NARDI, R. **Ensino de ciências e matemática, I: temas sobre a formação de professores.** São Paulo: Editora UNESP, 2009.

NETO, M. A. **HISTÓRIA DO PRECE: POR MANOEL ANDRADE NETO.** 2016.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: ótica, Relatividade e Física Quântica.** 8ª. ed. São Paulo: EDGARD BLÜCHER LTDA, v. 4, 2010.

OLIVEIRA, A. M. A. **A Aprendizagem Cooperativa no ensino-aprendizagem de História e Geografia no 3º ciclo do Ensino Básico e Ensino Secundário.** Relatório de Estágio (Monografia em Ensino de História e Geografia) – Universidade dos Açores. Ponta Delgada, 2015.

OSTERMANN, F. e 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.2, 2000.

PACCE. **Programa de Aprendizagem Cooperativa em Células Estudantis.** Disponível em: < <http://www.pacce.ufc.br/pacce/> >. Acesso em: 20 out. 2018.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. SOBRE O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: UMA REVISÃO DA PRODUÇÃO ACADÊMICA RECENTE. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 393 - 420, 2009.

PRECE: SUA HISTÓRIA E SEU IMPACTO NA EDUCAÇÃO BRASILEIRA. PRECE, 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2ª. ed. Novo Hamburgo: UNIVERSIDADE FEEVALE, 2013.

RIBEIRO, Celeste Maria Cardoso. **APRENDIZAGEM COOPERATIVA NA SALA DE AULA: Uma estratégia para aquisição de algumas competências cognitivas e atitudinais definidas pelo ministério da educação.** Dissertação (Mestrado em

Biologia e Geologia para o ensino) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, p. 222. 2006.

RODRIGUES, C. D. O. **A INSERÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**. Dissertação (Mestrado em Educação) - UFSC. Florianópolis, p. 172. 2001.

ROLDÃO, M. D. **Formar Professores. Os Desafios da Profissionalidade e o currículo**. Universidade de Aveiro, 2000.

SÁ, M. G.; MOURA, G. L. A crítica discente e a reflexão docente. **Cadernos EBAPE.BR**. Rio de Janeiro, v. 6, n. 4, p. 1-10, dez. 2008.

SEGRÈ, E. **DOS RAIOS-X AOS QUARKS: Físicos modernos e suas descobertas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1980.

SILVA, A. L. M.; BRITO, S. H. A. DO IDEAL NORTE-AMERICANO DE DEMOCRATIZAÇÃO DA ESCOLA ATÉ A “ESCOLA PARA TODOS” DE ANÍSIO TEIXEIRA. **VIII Seminário Nacional de Estudos e Pesquisas "História, Sociedade e Educação no Brasil" – HISTEDBR**, Campinas, 2009.

SILVA, T. et al. O USO DE CONTOS E FILMES DE FICÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS, NA DISCIPLINA DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO. **III Congresso Nacional de Educação**, Natal, 2016.

VERÁSTEGUI, R. D. L. A. DEWEY E A PROPOSTA DEMOCRÁTICA NA EDUCAÇÃO. **Revista Redescrições – Revista on line do GT de Pragmatismo**, v. 4, p. 24 - 32, 2012.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **FÍSICA IV: ÓTICA E FÍSICA MODERNA**. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

ZANI, A. V.; NOGUEIRA, M. S. INCIDENTES CRÍTICOS DO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENFERMAGEM, SEGUNDO A PERCEPÇÃO DE ALUNOS E DOCENTES. **Revista Latino-americana Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 5, p. 742-748, set./out. 2006.