

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

LARISSA VERISSIMO DE MEDEIROS

**A INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO
UTILIZANDO A TÉCNICA SCALE-UP**

**CAMPINA GRANDE
2022**

LARISSA VERISSIMO DE MEDEIROS

**A INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO
UTILIZANDO A TÉCNICA SCALE-UP**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física – Polo 048 da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio.

Orientador: Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos.

**CAMPINA GRANDE
2022**

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

M488i Medeiros, Larissa Verissimo de.
A inserção de tópicos de física de partículas no ensino médio utilizando a técnica SCALE-UP [manuscrito] / Larissa Verissimo de Medeiros. - 2022.
196 p. : il. colorido.

Digitado.

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

"Orientação : Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos, Departamento de Física - CCT."

1. Metodologias ativas. 2. SCALE-UP. 3. Ensino de Física.
4. Física de partículas. I. Título

21. ed. CDD 539.72

LARISSA VERISSIMO DE MEDEIROS

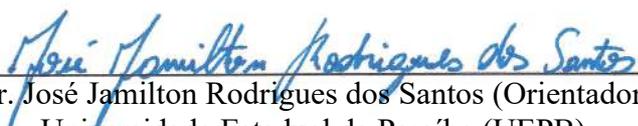
**A INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO
UTILIZANDO A TÉCNICA SCALE-UP**

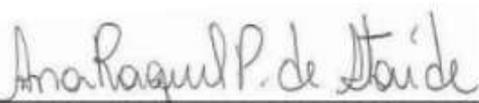
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física – Polo 048 da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio.

Aprovada em: 29/07/2022.

BANCA EXAMINADORA


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


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


Dr. Charlie Salvador Gonçalves
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado sabedoria e força para enfrentar e superar os meus obstáculos.

Dedico especial agradecimento ao meu esposo Marcos, você é meu mundo, a razão dos meus sorrisos. Obrigada por acreditar e lutar comigo para que todos os meus sonhos se concretizem, essa vitória é nossa. Agradeço por todos os dias estar ao meu lado incondicionalmente, por ser meu melhor amigo e o grande amor da minha vida.

Aos meus queridos familiares que nunca desistiram de mim e sempre me ofereceram muito amor, gratidão eterna a minha mãe Cassia, meu pai, Geovane, minhas irmãs Nathalia e Thallyta e meus irmãos Ricardo, Clayton e Geovane. Aos meus sogros Anna e Fernando.

Ao meu orientador Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos pela confiança, paciência e disposição que ajudou a tornar possível a construção desse trabalho.

À equipe de professores pelos ensinamentos e conhecimentos construídos durante as aulas.

À Doriedson e ao Sistema de Ensino TOP pela confiança, oportunidade e por serem peça fundamental na minha trajetória profissional.

Aos meus alunos que me proporcionaram momentos de felicidade e foram essenciais para a concretização e sucesso das aulas.

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

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original” - Albert Einstein.

RESUMO

É notória a presença das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) na rotina diária dos estudantes, que, como nativos digitais, estão habituados a recorrer aos recursos digitais disponíveis sempre que necessário. Por outro lado, a inserção da Física de Partículas na sala de aula da Educação Básica apresenta obstáculos na adaptação da linguagem técnica para um formato acessível e na viabilidade desse tema na grade curricular. Podemos assim considerar a utilização de abordagens de ensino aliadas às TICs como uma alternativa para inserir o ensino de Física de Partículas junto a Educação Básica. Nesse contexto, as metodologias ativas foram desenvolvidas para possibilitar o envolvimento ativo dos estudantes no processo de aprendizagem. Entre as metodologias disponíveis, o *Student-Centered Active Learning Environment with Upside-down Pedagogies* (SCALE-UP), desenvolvida inicialmente para o Ensino Superior, se destaca como uma ferramenta de transformação para o ambiente de sala de aula. Integrada ao uso da sala de aula invertida, a ferramenta busca promover o estímulo e engajamento por meio da interação entre alunos e professores. Buscando desenvolver uma proposta para implementar o estudo da Física de Partículas no contexto do ensino híbrido utilizando a técnica SCALE-UP, elaboramos e aplicamos uma sequência de ensino em uma turma da 2ª série do ensino médio de uma instituição de ensino privada na cidade de João Pessoa na Paraíba. A sequência de ensino foi desenvolvida em quatro encontros com 850 horas totais e, destaca-se a participação dos alunos nas discussões e nas tarefas realizadas dentro e fora de sala de aula, que gerou resultados em forma de relato de experiência, demonstrando como a técnica SCALE-UP foi uma ferramenta importante na transformação da dinâmica da turma, bem como na atitude e envolvimento dos estudantes no processo de aprendizagem, fazendo-os refletir em cada tarefa de maneira mais crítica e participativa. Destaca-se, também, uma melhoria na motivação dos estudantes e na frequência de entrega das atividades, corroborando a relevância da utilização da técnica do SCALE-UP. Diante desses resultados, conclui-se que o SCALE-UP é uma técnica que pode ser aplicada junto ao Ensino Básico e adequada a necessidade e realidade de cada instituição.

Palavras-Chave: metodologias ativas; SCALE-UP; ensino da física de partículas.

ABSTRACT

The presence of Information and Communication Technologies (ICT) in the students' daily routine is notorious, as digital natives, they resort to the use of digital media as required. On the other hand, the insertion of Modern Physics in the classroom also presents obstacles in adapt the technical language to an accessible format and in the feasibility of this theme in the curriculum. Therefore, it is important to use teaching approaches allied to technologies seeking to facilitate the understanding of Modern Physics. In this context, breaking with a student potential passivity is a possibility for incorporating ICT into Modern Physics teaching, and as an alternative to traditional teaching method, the active methodologies were developed to enable the active involvement of students in the learning process. Among the methodologies available, the Student-Centered Active Learning Environment with Upside-down Pedagogies (SCALE-UP), developed for Higher Education, stands out as a transformational technique for the classroom environment. Integrated to the use of the flipped classroom, SCALE-UP seeks to promote stimulation and engagement through interaction between students and teachers. Pursuing ways to develop an implementation of particle physics in the context of hybrid education classroom using the SCALE-UP technique, we developed a teaching sequence in a 2nd year high school class in a private educational institution in the city of João Pessoa in Paraíba. The teaching sequence was developed in four meetings with a total of 850 hours and the participation of students in discussions and tasks inside and outside the classroom stands out, which generated results in the form of an experience report, demonstrating how the SCALE-UP technique was an important tool in transforming the dynamics of the class, as well as in the attitude and involvement of students in the learning process, making them reflect on each task in a more critical and participatory way. The research also detected an improvement in student motivation and in the frequency of delivery activities, corroborating the relevance of using the SCALE-UP technique. In view of these results, it is concluded that SCALE-UP is a technique that can be applied to Basic Education and adapted to the needs and reality of each institution.

Keywords: active methodologies; SCALE-UP; particle physics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Passos para a sala de aula invertida.....	23
Figura 2 – Sala de aula centrada no estudante.....	25
Figura 3 – Pirâmide do aprendizado.....	28
Figura 4 – Arranjo espacial da sala no formato SCALE-UP.....	30
Figura 5 – Videoaula sobre a queda livre dos corpos e questionamentos.....	31
Figura 6 – Esquema de aprendizagem ativa.....	34
Figura 7 – Mapa com as localizações de instituições que adotaram o SCALE-UP.....	36
Figura 8 – Superposição dos pulsos.....	38
Figura 9 – Superposição dos pulsos com deslocamentos verticais invertidos.....	39
Figura 10 – Arranjo experimental com geometria real do experimento da fenda dupla.....	40
Figura 11 – Arranjo experimental interferência fenda dupla com máximos γm	41
Figura 12 – Difração em ondas bidimensionais.....	42
Figura 13 – Difração em ondas bidimensionais.....	42
Figura 14 – Difração em fenda simples.....	43
Figura 15 – Diferença na distância entre os dois raios.....	44
Figura 16 – Cor azul da borboleta morpho é resultado da difração.....	45
Figura 17 – O efeito fotoelétrico.....	48
Figura 18 – Prótons e nêutrons participam da interação forte.....	52
Figura 19 – Vértice fundamental para a interação forte.....	53
Figura 20 – Mar de elétrons.....	56
Figura 21 – Decaimento beta via troca de bóson W –.....	59
Figura 22 – Espalhamento neutrino-elétron.....	59
Figura 23 – Sala de aula disposta de mesas circulares.....	67
Figura 24 – Arranjo da sala de aula no SCALE-UP.....	77
Figura 25 – Simulador computacional laboratório de Faraday.....	78
Figura 26 – Anotações do simulador realizados pelo grupo A.....	79
Figura 27 – Anotações do simulador realizados pelo grupo B.....	80
Figura 28 – Anotações do simulador realizados pelo grupo D.....	81
Figura 29 – Arranjo da primeira rotação entre os grupos A e D.....	82
Figura 30 – Simulador laboratório de Faraday eletroímã.....	83
Figura 31 – Demonstração de um motor elétrico.....	84
Figura 32 – Experimento de Oersted.....	85

Figura 33 – Arranjo experimental da mesa C.....	86
Figura 34 – Resultado matemático da mesa A	87
Figura 35 – Resultado matemático da mesa B	87
Figura 36 – Resultado matemático da mesa C	88
Figura 37 – Resultado matemático da mesa D	88
Figura 38 – Porcentagem de acertos por questão do quizizz.....	90
Figura 39 – Questionamento sobre ondas mecânicas.....	91
Figura 40 – Mapa mental feito à mão 1	92
Figura 41 – Mapa mental feito à mão 2.....	93
Figura 42 – Mapa conceitual feito em programa online.....	93
Figura 43 – Grupos discutindo sobre o simulador PHET colorado – efeito fotoelétrico	94
Figura 44 – Conclusões do grupo B sobre o efeito fotoelétrico	95
Figura 45 – Conclusões do grupo A sobre o efeito fotoelétrico	96
Figura 46 – Conclusões do grupo D sobre o efeito fotoelétrico	96
Figura 47 – Conclusões do grupo C sobre o efeito fotoelétrico	97
Figura 48 – Questionamento sobre o efeito fotoelétrico	100
Figura 49 – Slide sobre o efeito fotoelétrico	101
Figura 50 – Questionamento sobre o efeito fotoelétrico	101
Figura 51 – Pergunta sobre as partículas elementares.....	103
Figura 52 – pergunta sobre o modelo padrão das partículas	104
Figura 53 – Anotação 1 simulador grupo A	106
Figura 54 – Anotação 1 simulador grupo B	106
Figura 55 – Anotação II simulador grupo B.....	107
Figura 56 – Anotação simulador grupo C	107
Figura 57 – Anotação 1 simulador grupo D	108
Figura 58 – Anotação 2 do grupo D	108
Figura 59 – Pergunta sobre qual material produz antimatéria espontaneamente	111
Figura 60 – Roteiro da produção de vídeo grupo A	113
Figura 61 – Roteiro da produção de vídeo grupo D	113
Figura 62 – Roteiro da produção de vídeo grupo B	114
Figura 63 – Roteiro do experimento da câmara de nuvens do grupo A	118
Figura 64 – Roteiro do experimento da câmara de nuvens do grupo C	118
Figura 65 – Roteiro do experimento da câmara de nuvens do grupo B	119
Figura 66 – Roteiro do experimento da câmara de nuvens do grupo D	120

Figura 67 – Materiais para a montagem da câmara de nuvens.....	121
Figura 68 – Montagem inicial da câmara de nuvens do grupo A.....	122
Figura 69 – Montagem inicial da câmara de nuvens do grupo C.....	122
Figura 70 – Etapa da detecção das partículas usando a câmara de nuvens	123
Figura 71 – Utilização da lanterna para detecção das partículas usando a câmara de nuvens	124
Figura 72 – Papel vinílico mudando de cor devido ao excesso de álcool	125
Figura 73 – Vapor supersaturado de gotículas de álcool isopropílico.....	125
Figura 74 – Partícula com traço grosso detectada	126
Figura 75 – Partícula com traço fino e curvilíneo detectada	126
Figura 76 – Partícula com traço fino e retilíneo detectada	127
Figura 77 – Partícula com traço fino e curvilíneo detectada	127
Figura 78 – Partícula com traço fino e retilíneo detectada	128
Figura 79 – Partícula com traço retilíneo detectada	128
Figura 80 – Partícula que pode ser classificada como elétron ou múon.....	129
Figura 81 – Partícula que pode ser classificada como alfa.....	130
Figura 82 – Processo que pode ser a transformação do múon em elétron.....	130
Figura 83 – Processo que pode ser originado da interação entre elétrons.....	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Sabores de quarks do modelo padrão de partículas	55
Quadro 2 – Família de léptons do modelo padrão de partículas	58
Quadro 3 – Quadro sintético dos momentos da SD.....	64
Quadro 4 – Procedimentos de coleta de dados	69
Quadro 5 – Questionário sobre corrente elétrica e diferença de potencial.....	70
Quadro 6 – Questionário texto sobre as ondas eletromagnéticas	70
Quadro 7 – Questionário sobre os fenômenos ondulatórios.....	71
Quadro 8 – Questionário sobre a natureza da luz e suas propriedades.....	73
Quadro 9 – Questionário sobre introdução às partículas e o modelo padrão	73
Quadro 10 – Questionário sobre a antimatéria e suas propriedades.....	74
Quadro 11 – Questionário sobre a radiação cósmica	75
Quadro 12 – Medidas das espessuras do fio de cabelo.....	89

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO EM ENSINO	15
2.1	Metodologias ativas	18
2.1.1	Aspectos da utilização da sala de aula invertida	19
2.1.2	Aspectos da utilização da técnica scale up	26
3	REFERENCIAL TEÓRICO EM FÍSICA	38
3.1	Fenômenos ondulatórios	38
3.1.1	Interferência	38
3.1.2	Difração	41
3.2	Física das partículas elementares	45
3.2.1	Fótons e a interação eletromagnética	48
3.2.1.1	Efeito fotoelétrico	48
3.2.1.2	Efeito compton.....	50
3.2.2	Interação forte, quarks e glúons	51
3.2.3	Léptons, a interação fraca e seus mediadores	55
4	METODOLOGIA	61
4.1	Procedimentos metodológicos	61
4.2	Delineamento da pesquisa e a construção da sequência de ensino	63
4.3	Campo e sujeitos da pesquisa	66
4.4	Coleta de dados	68
4.4.1	Questionários pré-aula	69
4.4.2	1º encontro	69
4.4.3	2º encontro	73
4.4.4	3º encontro	74
4.4.5	4º encontro	75
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
	REFERÊNCIAS	137
	APÊNDICE A – Produto Educacional	142

1 INTRODUÇÃO

A presença das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs)¹ está cada vez mais disseminada no cenário atual e na cultura dos estudantes do Ensino Básico. Aproveitando esse interesse pela tecnologia, torna-se relevante o desenvolvimento de estratégias de ensino apoiadas nas ferramentas tecnológicas digitais que possam servir de instrumentos facilitadores no âmbito escolar.

Sob o aspecto conteudístico, não é recente o interesse em introduzir temas da Física Moderna e Contemporânea (NARDI, 2009), especialmente, a inserção da Física de Partículas na sala de aula da Educação Básica, que embora apresente obstáculos na adaptação da linguagem técnica para um formato acessível, tem por objetivo formar cidadãos com um melhor entendimento desse contexto científico e que, estando inseridos na atual era digital, sejam estimulados a relacionar esse conhecimento com as diversas aplicabilidades presentes na sociedade contemporânea. Diante disto, busca-se uma proposta metodológica que, alinhada às ferramentas tecnológicas, possa servir como apoio ao ensino da Física de Partículas em sala de aula.

Como possível alternativa, as metodologias ativas surgem com o objetivo de tornar os estudantes mais ativos no processo de aprendizagem; envolvendo técnicas que, pelo seu próprio processo de ensino, estimulam os alunos no desenvolvimento de habilidades e responsabilidades (MORAN, 2018). Incorporar aspectos das metodologias ativas em sala de aula vai além de deixar o ambiente mais atrativo, visando permitir aos alunos a possibilidade de adquirir habilidades como autonomia intelectual, confiança, comprometimento e proatividade.

Dentre as metodologias ativas, destaca-se a sala de aula invertida, que surge no contexto educacional e busca promover a personalização da instrução. A sala de aula invertida propõe a inversão dos papéis do professor e do aluno, conduzindo o discente a ser o centro do ensino. O professor torna-se mediador, ou seja, aquele que provoca a interação e busca substituir a exposição do conteúdo por atividades lúdicas e de resolução de problemas em sala de aula. Entretanto, é preciso considerar que cada aluno tem sua individualidade. Corroborando com esse pensamento, Bergmann e Sams (2016) afirmam que a personalização do ensino é necessária por tratar cada aluno como um ser diferente do outro:

¹ TICs é o termo usado para abreviar Tecnologias de Informação e Comunicação e refere-se ao conjunto de recursos tecnológicos que pode ser utilizado na educação à distância ou em sala de aula presencial.

A personalização é realmente opressora para a maioria dos educadores, que acabam por adotar a abordagem simplista e imediatista: a exposição de tanto conteúdo quanto possível, no tempo disponível, esperando que se atinja o máximo de alunos e torcendo para que, pelos menos, alguma coisa lhes entre - e fique - na cabeça (BERGMANN e SAMS, 2016, p. 6).

O aluno estuda o material previamente, por isso, em sala de aula, o possível momento de apresentação e exposição do conteúdo por parte do professor passa a ser utilizado para a realização de outras atividades que sirvam para o aluno aprofundar e praticar o aprendido. O estudante, nessa proposta, é conduzido a seguir seu próprio ritmo, sempre com auxílio do professor. De acordo com Bacich *et al* (2015, p. 104), “um ensino personalizado exige muito mais do estudante, que tem de ter autonomia e responsabilidade a ponto de ir atrás de suas necessidades, curiosidades e interesses”.

Nesse espaço metodológico da sala de aula invertida, destaca-se a técnica de ensino *Student-Centered Active Learning Environment with Upside-down Pedagogies* (SCALE-UP) que propõe um ambiente estruturado de aprendizagem com foco na interatividade e colaboração, balizado nas TICs, com apoio das atividades práticas. Para Beichner *et al.* (2007) uma das maneiras de estimular o interesse se dá por meio da experimentação e diálogo entre os estudantes. Dessa forma, “os alunos aprendem mais física nas aulas onde interagem com o corpo docente, colaboram com colegas em tarefas interessantes e estão ativamente envolvidos com o material que estão aprendendo” (BEICHNER *et al.*, 2007, p. 3).

A proposta do SCALE-UP é unificar as aulas experimentais com as aulas teóricas em um único ambiente. A fim de maximizar o potencial de aprendizagem colaborativa; a sala de aula é redesenhada substituindo as mesas individuais por mesas circulares que comportam 4 (quatro) ou mais alunos. A aula no SCALE-UP é separada em três momentos: as atividades tangíveis (práticas), que são atividades de simulação computacional ou experimentos, realizados em sala para verificação do fenômeno; atividades ponderáveis, que correspondem a problemas conceituais que os alunos deverão, juntos, buscar a solução; e os momentos de discussão e fechamento, etapa da aula em que ocorre a formalização e integralização do conteúdo.

O SCALE-UP foi desenvolvido para ser aplicado inicialmente em atividades no Ensino Superior (WOLFE, 1998), demonstrando um potencial desafio adaptar essa técnica junto a Educação Básica. Foi implementado em pelo menos 40 Instituições de Ensino Superior nos Estados Unidos (BEICHNER *et al.*, 2007); no Brasil, destaca-se a experiência acumulada no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) (RAMUNNO, 2019). O projeto original, desenvolvido pela Universidade da Carolina do Norte foi modificado por outras

instituições para adequar-se às suas necessidades, buscando “estabelecer um ambiente de aprendizagem interativo, altamente colaborativo, prático e rico em computadores para grandes cursos de introdução à faculdade” (WOLFE, 1998 p. 4).

De acordo com Soares (2012), observa-se a presença contínua das TICs na rotina diária dos estudantes, que como nativos digitais recorrem aos seus aparelhos eletrônicos sempre que necessário. Para Bacich *et al.* (2015) a tecnologia deve estar presente nos currículos e planejamentos educacionais. Esse cenário propicia o uso do SCALE-UP como uma técnica potencial frente ao ensino de Física, uma vez que os alunos já utilizam as mídias eletrônicas como fonte de pesquisa.

Buscamos, neste trabalho, detalhar o desenvolvimento de uma proposta para implementar o estudo da Física de Partículas no contexto do ensino híbrido, utilizando a técnica SCALE-UP. A motivação da pesquisa se deu por meio da seguinte problemática: como implementar o Ensino de Física de Partículas utilizando a técnica SCALE-UP, para tanto, construímos uma sequência de ensino, visando a inserção da Física de Partículas no ensino da ondulatória em uma turma da 2ª série do ensino médio de uma instituição de ensino privada na cidade de João Pessoa, no Estado da Paraíba.

A estrutura da pesquisa inclui o levantamento teórico sobre metodologias ativas, o ensino híbrido, a sala de aula invertida, o SCALE-UP e a fundamentação em Física: Fenômenos ondulatórios e a Física de Partículas.

A partir do processo de levantamento e análise dos temas, permitiu-se a investigação das ferramentas de simulação e os recursos audiovisuais a serem utilizados na proposta, possibilitando a elaboração da sequência de ensino sobre tópicos de Física de Partículas inseridos no conteúdo de ondulatória.

A definição do tema da pesquisa teve, ainda, como motivação a experiência pessoal na iniciação científica e no grupo de pesquisa em Física de Partículas durante a graduação em Física. A oportunidade fornecida pelo Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Estadual da Paraíba permitiu o desenvolvimento e conexão do tema na Educação Básica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO EM ENSINO

Para entendermos a educação no momento presente, é importante analisarmos seu processo evolutivo, pois a educação tem passado, constantemente, por mudanças. A escolaridade, como existe atualmente, ganha um maior significado quando a olhamos sob uma perspectiva histórica. Especialmente, compreendendo o seu primórdio como a educação 1.0.

A educação 1.0 tinha como objetivo preparar os alunos para o trabalho como artesãos, tecelões e principalmente agricultores. Para serem bons trabalhadores precisavam adquirir um vasto conhecimento sobre animais e plantações. De acordo com Lengel (2013), as escolas nessa época refletiam o que era vivido no mundo fora da sala de aula, os alunos aprendiam o necessário para a sobrevivência, na sociedade que eles serviam. Em sala, as atividades tinham sempre o objetivo de conduzir ao aluno o hábito de manusear ferramentas importantes que serviriam para a economia e para suas futuras ocupações na sociedade.

Assim, o propósito das escolas era ensinar aos alunos o trabalho com ferramentas de simples manuseio e, além do ensino aos jovens, o ambiente era também composto por adultos e idosos, onde pais e avós frequentavam a mesma escola para aprender juntos, refletindo o trabalho familiar nas terras. As tarefas realizadas na educação 1.0 eram ao ar livre e em pequenos grupos com diferentes faixas etárias.

A sociedade foi se modificando aos poucos e no século XX, com o advento das máquinas, muitas pessoas estavam saindo da agricultura para trabalhar nas fábricas. O homem deixou de utilizar métodos de produção artesanal, substituindo por métodos de produção mecanizados, por meio do uso de máquinas. As tarefas eram repetitivas, os funcionários eram supervisionados e faziam as mesmas atividades ao mesmo tempo, sem poder interagir uns com os outros. Essa nova ocupação exigia novas habilidades e era necessário que a escola passasse por uma transformação com o objetivo de preparar a sociedade para a nova economia industrial. Essa mudança na educação ficou conhecida como educação 2.0.

O ambiente escolar localizava-se em salas fechadas com carteiras enfileiradas, ocupadas por alunos que tinham a mesma faixa etária (LENGEL, 2013). Essas crianças deveriam realizar tarefas repetitivas e de memorização utilizando papel e lápis, cumprindo-as em um tempo determinado. Cada sala de aula possuía uma grande quantidade de alunos realizando as mesmas tarefas mecanizadas e não possuíam muita conexão com o mundo exterior, servindo aos seus futuros trabalhos nas fábricas.

Com a terceira revolução industrial, destacou-se o desenvolvimento da robótica, genética, telecomunicações e informática, obrigando o sistema de produção a ser modificado.

Lengel (2013), destaca sua visão sobre a mudança da educação sob à ótica do mercado de trabalho, afirmando que “se as escolas têm acompanhado as mudanças na sociedade, esperaríamos que refletissem este novo mundo de trabalho. Nós esperamos que a educação prepare as pessoas para o novo ambiente de trabalho” (LENGEL, 2013, p. 50, **tradução nossa**).

Sob essa perspectiva, o modelo da educação 2.0 não refletia mais a sociedade que vivemos, pois, a economia a cada dia se modifica, assim como a tecnologia, resultando em um mercado de trabalho que necessita de indivíduos com diferentes tipos de habilidades (MORAN, 2015). Para Bergmann e Sams (2016), é necessário mudar a realidade da educação para que possibilite aos alunos adquirirem habilidades que sejam compatíveis ao mercado de trabalho atual. Habilidades que exigem que o indivíduo tenha mais criatividade, autonomia intelectual, independência, capacidade de tomada de decisão, improvisação e liderança. Na busca de mudança à essa realidade, Bergmann e Sams (2016) argumentam a necessidade de criar uma personalização do ensino:

O atual modelo de educação reflete a era em que foi concebido: a revolução industrial. Os alunos são educados como em linha de montagem, para tornar eficiente a educação padronizada. Sentam-se em fileiras de carteiras bem arrumadas, devem ouvir um “especialista” na exposição de um tema e ainda precisam se lembrar das informações recebidas em um teste avaliativo. De alguma maneira, nesse ambiente, todos os alunos devem receber a mesma educação. A debilidade do método tradicional é a de que nem todos os alunos chegam à sala de aula preparados para aprender. Alguns carecem de formação adequada quanto ao material, não tem interesse pelo assunto ou simplesmente não se sentem motivados pelo atual modelo educacional (BERGMANN; SAMS, 2016, p. 6).

Mesmo vivendo a quarta revolução industrial, as escolas atuais ainda possuem como pilar metodológico a educação 2.0, que prepara os alunos para realizar procedimentos mecanizados e sistemáticos, onde o alto aproveitamento em uma disciplina é comprovado pela capacidade de memorização e reprodução de todo conhecimento que lhe foi ensinado.

Em contrapartida, é notório a presença da tecnologia na rotina diária dos estudantes, que como nativos digitais, estão habituados a buscar informações primeiramente nas mídias digitais a pesquisar em livros impressos na biblioteca (SOARES NETO, 2012). Aparelhos eletrônicos como *tablets*, *smartphones* e computadores mudaram o modo como a informação é compartilhada, favorecendo também a comunicação entre os indivíduos.

A velocidade com que a informação é transmitida está cada vez mais acelerada, o estudante conectado que busca respostas para seu questionamento não perde tempo na procura de fontes, uma vez que todas as respostas estão dispostas na tela do seu aparelho digital, em apenas um clique. Em consequência ao avanço da tecnologia, a sociedade do século XXI tem

acesso a muitos conteúdos que possibilitam vivenciar, colaborar, compartilhar experiências com pessoas do outro lado do planeta. Entretanto, essa mesma sociedade sofre os impactos da cultura do imediatismo. A sede na busca de conteúdo pode ser prejudicial, pois de acordo com Junger *et al* (2018):

A pressa e a sede pelo consumo são características marcantes nessa geração considerada líquida, e o imediatismo se torna cada dia mais comum e corriqueiro. Para os produtores de conteúdo fica o desafio de se moldar ao novo pensamento dos jovens e ao trivial estado imediatista que torna muito mais difícil e desafiador saciar a sede jovem por inovação (JUNGER *et al*, 2018, p. 21).

Satisfazer as necessidades diárias do indivíduo pode se tornar difícil, pois a sociedade é movida pela busca de realizar seus desejos imediatos, sempre à procura de novas experiências, sensações e emoções (SOARES NETO, 2012).

O aluno do século XXI, nativo digital, não é mais o mesmo da geração anterior (LENGEL, 2013). O professor na educação 2.0 era a principal fonte de conhecimento, em parte decorrente do difícil acesso à informação, e para buscar conhecimento o estudante precisava dispor de muito tempo de consulta em materiais nas bibliotecas (MORAN, 2018). Os nativos digitais acessam e processam a informação de maneira diferente das gerações anteriores. De acordo com Moran (2015), a tecnologia integra o espaço e o tempo, e a importância da escola se adaptar à nova realidade tecnológica vai além de permitir o acesso rápido à informação, mas em desenvolver um ambiente que facilite o interesse do estudante, contribuindo para uma aprendizagem interativa e colaborativa, usando as tecnologias digitais em sala de aula como facilitadores da aprendizagem.

Diante das mudanças potenciais na educação, advindas da tecnologia, destaca-se a educação 3.0. Caracterizada pelo uso das TICs como facilitadores para o ensino, a proposta da educação 3.0 é transformar o ambiente educacional, tornando o professor não mais o único e exclusivo detentor do conhecimento, e sim um facilitador que auxilia os alunos. Os estudantes podem adquirir habilidades relacionadas a aprendizagem autorregulada, independência e autonomia intelectual. De acordo com Gerstein (2014), a educação pode utilizar os recursos produzidos pela tecnologia para estimular a criatividade por meio das redes sociais virtuais, que desempenham um papel importante na vida do estudante e são potenciais auxiliares no compartilhamento de conteúdo. A educação 3.0 utiliza as mídias digitais para interação dos estudantes e desenvolvimento de conteúdo e conhecimento.

Gerstein (2014, p. 91, **tradução nossa**) afirma que “os aprendizes se tornam autores, diretores e assessores da sua própria experiência de conhecimento tendo os educadores como

guias”. Por este ponto de vista, os estudantes orientam sua própria aprendizagem por meio do estudo autônomo online, com professores atuando como guias ou mentores.

Embora existam caminhos alternativos para a educação, como exemplo a educação 3.0, é notável que as instituições de ensino atuais se encontram na educação 2.0, pois, apesar dos grandes avanços digitais, a tecnologia ainda não é acessível a todos os estudantes no Brasil (OLIVEIRA, 2018). Até que essas barreiras sejam rompidas, as pedagogias de aprendizagem centradas no professor tendem a ser preponderantes.

2.1 Metodologias ativas

As metodologias ativas surgiram como uma alternativa de abordagem no processo de ensino-aprendizagem. O contexto de seu desenvolvimento envolve o interesse no engajamento ativo dos estudantes, transformando-os nos principais responsáveis pela construção do seu próprio conhecimento. Com o avanço das mídias digitais, a rápida transmissão da informação possibilita o ensino e o acesso ao conhecimento em qualquer ambiente e a qualquer hora (MORAN, 2015). Portanto, o professor na metodologia ativa não é o único e exclusivo detentor do conhecimento e, por isso, se torna um facilitador que auxilia e direciona o estudante (LENGEL, 2013).

Toda aprendizagem é, em um certo nível, ativa. As metodologias ativas podem ser consideradas como qualquer método que incentiva o papel engajador do aluno no seu processo de aprendizagem. Desta forma, a aprendizagem é centrada no aluno, e não somente no professor, tendo como objetivo fazê-los refletir sobre o seu próprio processo de conhecimento, em cada atividade executada.

Segundo Karamustafaoglu (2019), três fatores devem ser levados em consideração ao implementar uma metodologia ativa: os elementos básicos, as estratégias de aprendizagem e os recursos de ensino. Os elementos básicos importantes a serem desenvolvidos em sala de aula são a fala, a escuta, a escrita e a reflexão. Os quatro elementos que envolvem as atividades cognitivas permitem aos alunos a consolidação e a apropriação do seu conhecimento. Essas habilidades são desenvolvidas a partir de estratégias de aprendizagem, que utilizam do trabalho cooperativo, simulações computacionais, discussões e resolução de problemas. O terceiro fator de aprendizagem são os recursos de ensino que o professor deve utilizar para encorajar os estudantes a participar ativamente das atividades, interagindo entre si.

O ambiente ativo procura cooperação entre alunos e professores que compartilham a responsabilidade pela instrução. Estudos realizados por Sivan (2000) examinaram a eficácia do método ativo aplicado em programas de graduação nas áreas de Administração e Turismo na Universidade Politécnica de Hong Kong. Por meio de questionários e entrevistas foi constatado a contribuição do método ativo no desenvolvimento de habilidades como comunicação, pensamento crítico e autonomia intelectual. As atividades incluem uma grande variedade de exercícios de simulação, resolução de problemas com cooperação, competição e seminários. O exercício de simulação são dramatizações desenvolvidas pelos estudantes que recebem roteiros escritos baseados em casos de sua área de estudo, onde cada um desempenha um papel apresentado no caso, o professor exhibe um problema que deverá ser solucionado de forma improvisada, por meio da encenação. Questionários feitos no final de cada momento em sala avaliaram a metodologia e os resultados indicaram relevância das atividades ativas no processo de aprendizagem, criando interesse no conteúdo, desenvolvendo habilidades que auxiliarão na futura carreira desses alunos. Desse modo, Sivan (2000) constatou uma mudança na forma como os alunos abordaram seus estudos antes e depois de experimentar as formas ativas de aprendizagem, refletindo um aumento da motivação e envolvimento nas atividades.

Não obstante, à medida que o ritmo de mudança digital evolui, devido ao desenvolvimento na tecnologia da informação, surge a importância de as escolas acompanharem as mudanças da nossa sociedade (MORAN, 2015). Autonomia intelectual, pensamento crítico e resolução de problemas são algumas das muitas habilidades indispensáveis para o futuro dos alunos e o papel que a aprendizagem ativa desempenha pode ser uma opção para auxiliá-los a lidar com as futuras mudanças em seus papéis profissionais.

Dentre os formatos de aplicação das metodologias ativas destacam-se: a gamificação, sala de aula invertida, aprendizagem baseada em projetos, aprendizagem baseada em problemas, avaliação por pares e o SCALE-UP. Na presente pesquisa, será apresentado com maior ênfase elementos da sala de aula invertida e do SCALE-UP.

2.1.1 Aspectos da utilização da sala de aula invertida

As mudanças promovidas pela tecnologia não estão limitadas somente a aspectos econômicos ou relacionados à comunicação, mas também interferem diretamente à educação. De acordo com Mosenson e Johnson (2008), a evolução na tecnologia digital afeta o acesso à informação dos estudantes. As extensas pesquisas em livros e bibliotecas, necessárias para resolução de exercícios difíceis, são atualmente realizadas por cliques, com as respostas prontas

na tela digital. O acesso rápido e fácil ao conteúdo e uma enorme quantidade de informação está moldando a forma de pensar e agir dos alunos (BACICH *et al.*, 2015).

A educação atualmente pode ser genericamente classificada como 2.0 e não difere, em parte, da educação do início do século passado (LENGEL, 2013), mas a sociedade atual não é a mesma de um século atrás. Antes, predominava a prática da memorização, sendo o professor a única fonte de transmissão do conhecimento, com as aulas ocorrendo exclusivamente no formato expositivo. Atualmente, essa escolha pode entrar em conflito com os hábitos dos nativos digitais que têm a opção de aprender diferentes conteúdos de forma simultânea, no seu próprio ritmo, podendo diferir de outros alunos da mesma sala, ou seja, indivíduos da mesma idade nem sempre avançam no mesmo ritmo e tampouco possuem a mesma relação com a tecnologia (BERGMANN e SAMS, 2012).

Os professores de hoje, em geral, eram alunos da era que antecede a digital, são imigrantes no mundo das mídias e possuem uma forma de ensinar diferente de como os nativos digitais preferem aprender (PESCADOR, 2010). O desafio da educação atual é a personalização do ensino; o professor molda a forma como leciona para adequar-se à necessidade individual de cada aluno, ou seja, não existe uma única forma de ensino, dependerá de cada indivíduo.

Desse modo, a aprendizagem não precisa acontecer de forma linear, mas em paralelo, de acordo com as necessidades dos estudantes (BACICH *et al.*, 2015). Por isso, a sala de aula invertida é uma das metodologias ativas que se coloca alternativamente a educação tradicional e propõe uma inversão nos papéis do professor e aluno. Dessa forma, os alunos assistem às aulas gravadas em sua casa pelo computador ou celular e o tempo que era utilizado na sala de aula para exposição do conteúdo é substituído por resolução de exercícios na presença do professor. Nesse sentido, a sala de aula se torna um local para os alunos discutirem os conceitos estudados em casa e resolverem problemas com auxílio dos professores, que podem conceder atenção direcionada para cada aluno de forma individual.

Para Bergmann e Sams (2012), inverter a sala de aula estabelece uma estrutura direcionada às necessidades do estudante, pois o aluno tem mais autonomia para escolher o que sente maior necessidade de estudar, gerenciando melhor seu tempo e podendo focar no que tem mais dificuldade. O professor, em contrapartida, tem um papel importante nesta metodologia, visto que se transforma em um facilitador do conhecimento, auxiliando e estimulando o aluno nas discussões, atividades e no método empregado. Sendo assim, os estudantes são responsáveis por usarem de forma apropriada o tempo disponível para aprenderem o conteúdo e realizar as tarefas, em sala; enquanto o professor analisa as discussões entre os alunos e seus

questionamentos. Assim, caso haja um tema específico que não foi bem compreendido, deve corrigi-lo por meio da exposição do conteúdo de forma mais detalhada.

Bergmann e Sams (2012) justificam a utilização desse método evidenciando que a sala de aula invertida conversa com a linguagem atual dos alunos, onde é permitido o uso de aparelhos digitais para auxiliar no estudo em consulta e pesquisa do conteúdo. Os alunos, mais ocupados e cheios de tarefas extracurriculares, além da escola, por meio desta metodologia podem organizar seus próprios horários de estudo, assistindo as videoaulas e estudando os materiais em momentos convenientes do seu dia. Durante o tempo de aula expositiva, na sala de aula tradicional, os alunos com mais facilidade conseguem captar todo conteúdo e imediatamente fazer questionamentos e exercícios, enquanto os alunos que sentem dificuldade não conseguem acompanhar o ritmo da aula. Na hora de resolver os exercícios em casa, esses alunos podem apresentar dificuldades no desenvolvimento das questões e durante a aula nem sempre há tempo disponível para sanar as dúvidas, já que o professor precisa avançar o conteúdo e seguir o ritmo programado. Na sala de aula invertida, as atenções são voltadas a esses alunos, pois os que têm mais facilidade ficam mais independentes, realizando suas tarefas de forma autônoma e os com dificuldade têm mais oportunidade para sanar suas dúvidas, com a assistência do professor.

A sala de aula é ocupada por um mundo diversificado de indivíduos. Cada aluno tem seu próprio ritmo e o professor, em suas explicações, pode ser considerado muito rápido para uns e muito devagar para outros. Estudando em casa, o ritmo de cada aluno é respeitado e seguido. Dessa forma, o passo da aula é guiado pelos estudantes e não somente pelo professor, que antes impunha o ritmo a ser seguido. O professor por muitas vezes é apontado como culpado por esses alunos que não conseguem seguir o ritmo, quando de fato, o método tradicional não permite ao professor desacelerar para acompanhá-los de forma individual.

Além disso, a interação entre alunos e professores é intensificada, permitindo que haja um melhor convívio e que o professor identifique as dificuldades e facilidades de cada um, fortalecendo o aprendizado. A interação entre os próprios estudantes também é intensificada, com o aumento das atividades em grupos, melhorando a relação entre eles. Bergmann e Sams (2012) elucidam a importância da comunicação entre o professor e os pais dos alunos e como essa interação deve ser moldada a fim de que os responsáveis entendam seus papéis na aprendizagem de seus filhos, para auxiliá-los em casa.

Para aplicar a metodologia da sala de aula invertida, é importante ter em mente alguns fatores. O professor pode gravar suas próprias aulas para que os alunos assistam em casa, mas caso não possua os recursos necessários, as aulas já produzidas na internet podem ser utilizadas,

sempre tendo cuidado em assistir e identificar quais são as adequadas para seus alunos. Diferente das aulas presenciais, nas quais o professor tem múltiplos objetivos como dar aula, interagir e resolver exercícios, a aula online possui o propósito de expor o tópico. Dessa forma, se o vídeo escolhido tiver uma longa duração, isso pode acarretar a perda do foco e distração. À vista disso, é mais eficaz encaminhar aos alunos vários vídeos com um tópico em cada, ao invés de encaminhar apenas um vídeo com vários tópicos de longa duração (XUEFENG, 2020).

Também se faz necessário o uso de algumas ferramentas, como por exemplo, uma plataforma digital para que o professor forneça os materiais didáticos que auxiliam os alunos no estudo em casa, bem como um local para entrega das atividades orientadas, como mapas mentais ou conceituais, resumos, infográficos etc. Entre as plataformas digitais existentes, destacam-se o *Google Classroom*², o *Edmodo*³ e o *Moodle*⁴. Na primeira aula, o professor deve ensinar sobre a metodologia e orientá-los a melhor forma de assistir os vídeos disponibilizados na plataforma. Para Bergmann e Sams (2012), o professor deve deixar claro que os alunos podem pausar os vídeos quando necessário ou assisti-los novamente caso não tenham compreendido, além de sempre tomar notas em cada vídeo.

Um pré-teste online pode ser criado para que os estudantes respondam em casa, antes de cada aula, com o objetivo de avaliar sua percepção no vídeo assistido. Para Xuefeng (2020), a importância desse pré-teste para o professor, que terá acesso antes da aula, é uma análise dos resultados obtidos acerca dos alunos que assistiram ou não vídeos, entenderam ou não os tópicos; qual foi o assunto com maior porcentagem de erro ou mesmo qual foi o mais bem compreendido. Assim, pode-se a partir disso, preparar uma discussão mais direcionada aos conteúdos que ficaram mais fragilizados.

O artigo do Xuefeng (2020) faz uma comparação entre o método tradicional e a metodologia ativa da sala de aula invertida entre dois grupos de estudantes, com objetivo de descrever o efeito da sala de aula invertida no desempenho da disciplina de matemática com alunos do Ensino Médio. A sala de aula com alunos do mesmo nível, constatado por pré-testes, foi dividida em dois grupos, para um grupo foi aplicado a sala de aula invertida, enquanto o outro grupo permaneceu na metodologia tradicional. Um teste foi realizado para comparar o conhecimento que os estudantes já possuíam antes da aplicação e ao final do experimento um pós-teste foi conduzido para avaliar os efeitos da metodologia no nível de aprendizagem de matemática, onde seis alunos com baixo, médio e bom rendimento foram escolhidos para

² Acesso a plataforma digital *Google Classroom*: <https://classroom.google.com/h>.

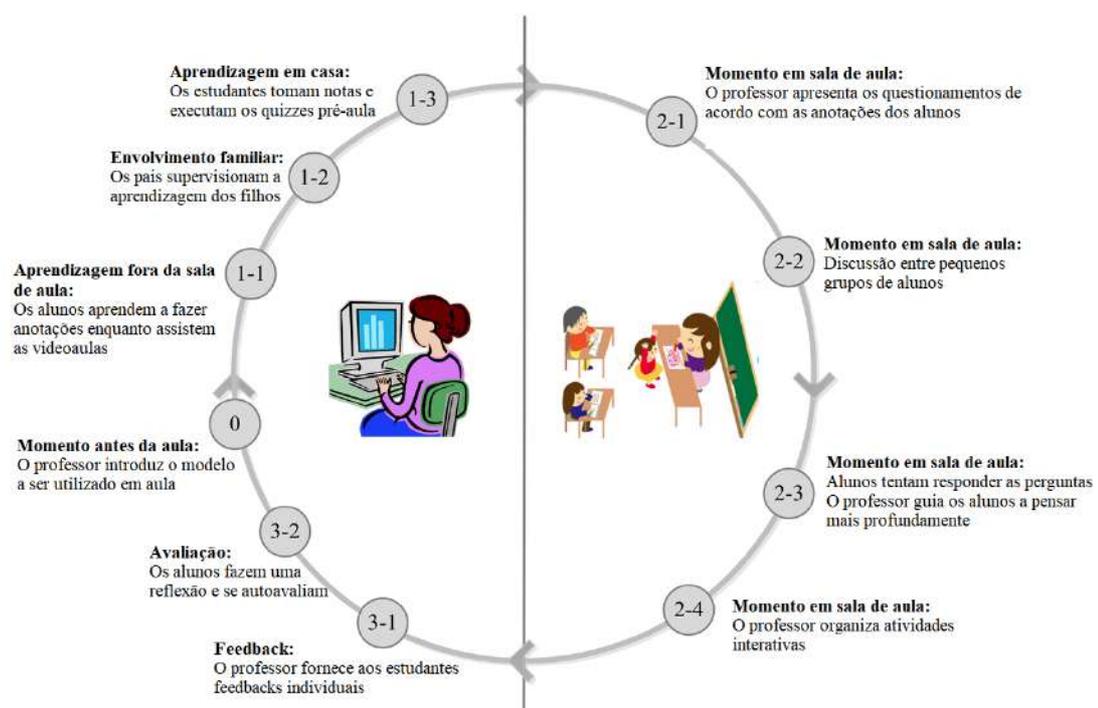
³ Acesso a plataforma digital *Edmodo*: <https://new.edmodo.com/classes>.

⁴ Acesso a plataforma digital *Moodle*: https://moodle.org/?lang=pt_br.

participarem de entrevistas gravadas e, posteriormente, analisadas. Procedimentos estatísticos foram utilizados para análise de dados⁵. Neste estudo foi constatado que, para os alunos em que a metodologia de sala de aula invertida foi aplicada, houve uma performance superior aos que permaneceram na sala de aula tradicional.

A figura 1 desenvolvida por Xuefeng (2020) mostra os passos a serem seguidos na sala de aula invertida:

Figura 1 – Passos para a sala de aula invertida



Fonte: Xuefeng (2020, tradução nossa).

Esse método de ensino não está limitado somente à disciplina de matemática. Em Fisciano na Itália, Capone *et al.* (2017) aplica a sala de aula invertida na disciplina de Física Moderna, em uma turma de ensino médio, utilizando o CLIL – *Content and Language Integrated Learning* (em tradução livre, Aprendizagem Integrada de Conteúdo e Linguagem). A disciplina de Física Moderna foi desenvolvida na língua inglesa e a sala de aula invertida foi implementada em uma turma, em oposição ao ensino tradicional executado em outra turma. No final da experiência, testes foram aplicados para todos os alunos e, em seguida, comparados⁶, a

⁵ Para maiores detalhes acessar o artigo de Xuefeng (2020): <https://link.springer.com/article/10.1007/s11423-020-09752-x>.

⁶ Para maiores detalhes acessar o artigo de Capone *et al.* (2017): <https://www.ejmste.com/article/a-flipped-experience-in-physics-education-using-clil-methodology-5048>.

partir de procedimentos estatísticos. Na turma em que a metodologia ativa estava sendo empregada, foi criado um grupo no *Facebook* e um *blog* de discussões na tentativa de aumentar o nível de interação entre os alunos. Um subgrupo de estudantes ficou responsável por coletar conteúdos em inglês sobre o tema encaminhado pelo professor e compartilhá-los nas redes digitais para os outros estudantes terem acesso. Na substituição da exposição do conteúdo pelo professor, os alunos eram orientados a discutirem entre si sobre os temas propostos, buscando vídeos e simulações que auxiliassem o entendimento. Para Capone *et al.* (2017), a mediação do professor foi muito importante com o propósito de levar o aperfeiçoamento às discussões entre os estudantes, responsável por estimulá-los e interrompê-los quando ocorressem questionamentos para alcançar o entendimento.

No final do módulo, as duas turmas foram analisadas por uma série de avaliações online para aferir as habilidades obtidas pelos alunos. Dois testes com 30 questões, que foram embaralhadas, na tentativa de evitar que os alunos compartilhassem as respostas, foram aplicados logo após a finalização do módulo e, em seguida, 30 dias após o primeiro teste. Além do teste, os alunos precisaram fazer um relatório dos experimentos e foi constatado que a quantidade de detalhes descritos na turma da metodologia ativa foi muito maior comparado à turma na metodologia tradicional. Dessa forma, esse experimento indicou que o desempenho dos alunos do Ensino Médio pode ser beneficiado com o uso da sala de aula invertida no aprendizado da Física Moderna na metodologia CLIL.

Já no Chile, Lagubeau, Tecpan e Hernández (2020) aplicaram a metodologia ativa em turmas da Universidade Pública do Chile, na tentativa de reduzir o número de alunos da Engenharia que reprovam e desistem da disciplina de Física. A educação de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, com sigla no inglês STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) é um desafio nas universidades públicas e privadas e, como consequência, torna-se um “divisor de águas” nos cursos de Engenharia, pois os alunos com muita dificuldade podem não conseguir um bom desempenho nessas disciplinas, dessa forma, sentem-se desestimulados a permanecer no curso. Por esse motivo, com o objetivo de reduzir essa evasão e preparar melhor os estudantes para a sociedade atual que vivem, a Universidade Pública do Chile modificou o formato de suas aulas, utilizando várias estratégias da metodologia ativa direcionadas para o aperfeiçoamento das habilidades como raciocínio lógico matemático, resolução de problemas, trabalho em grupo e pensamento crítico. Nesse sentido, o arranjo da sala para comportar a metodologia ativa foi modificado para ter capacidade de 54 alunos; promovendo o aprendizado centralizado no próprio estudante. A figura 2 mostra a configuração da sala de aula com as mesas circulares e projetores espalhados para facilitar a

interação e oferecer aos estudantes boa visibilidade do material, além de quadros brancos que foram dispostos para que os grupos utilizassem durante seus estudos.

Figura 2 – Sala de aula centrada no estudante



Fonte: Lagubeau, Tecpan e Hernández (2020 p. 2).

Algumas semanas antes da metodologia ser aplicada, um grupo de professores preparou o material e disponibilizou em uma plataforma online. As atividades propostas foram testadas previamente entre a equipe de professores e ajustes foram realizados. O modelo da sala de aula invertida foi aplicado aos alunos de forma gradual e exercícios foram fornecidos, antes e após as aulas, como um complemento.

O estudo evidenciou uma diminuição do número de alunos reprovados na turma em que a metodologia ativa foi aplicada, conseqüentemente, melhorando habilidades de raciocínio e resolução de problemas, resultados que foram analisados estatisticamente⁷. Lagubeau, Tecpan e Hernández (2020) concluíram que todo o investimento inicial da reforma da sala de aula utilizada foi compensado em menos de um ano, pela redução de reprovações e, portanto, a experiência foi considerada um sucesso.

Os artigos comparados propiciam a observação aos professores de que a sala de aula invertida pode ser um aliado na busca de melhorias na aprendizagem dos alunos e que modificações podem ser feitas a partir da metodologia original, a fim de personalizar o ambiente, adequando-o à necessidade de cada turma. Entretanto, a utilização das metodologias ativas junto aos recursos das TICs não é incontestável. Acreditar que as TICs são potenciais soluções revolucionárias para o sistema educacional está limitado à realidade de cada escola.

⁷ Para maiores detalhes acessar o artigo de Lagubeau, Tecpan e Hernández (2020): <https://arxiv.org/abs/1909.01235>.

2.1.2 Aspectos da utilização da técnica SCALE UP

O ensino centrado no aluno tem se difundindo na Educação Básica e Superior. As pesquisas, teórico e aplicadas, continuam a crescer. Para Cannon e Newble (2000) a aprendizagem centrada no aluno é definida como as

Formas de pensar e aprender que enfatizam a responsabilidade de aprendizagem no aluno, em vez dos professores. Essencialmente, a aprendizagem centrada no aluno tem a responsabilidade e a atividade do aluno em seu cerne, em contraste da metodologia tradicional com ênfase no controle do professor sobre o aluno e na cobertura do conteúdo acadêmico em grande parte do ensino didático convencional. (CANNON e NEWBLE, 2000, p. 16, **tradução nossa**).

Autonomia intelectual, confiança na aprendizagem ativa, maior responsabilidade e independência são alguns exemplos dos princípios incorporados pela aprendizagem centrada no aluno. O foco se transforma: o que importa não é o que o professor produz em aula e sim como o professor age auxiliando os alunos a atingir metas e objetivos educacionais. A aprendizagem centrada no aluno carrega uma interdependência entre professor e estudante em busca de promover um maior senso de autonomia ao aluno e, também, exige responsabilidade pela reflexão sobre o processo de aprendizagem desse indivíduo (SUSAN *et al.*, 2003). Para alcançar maiores ganhos significativos, é importante aliar o arranjo espacial da sala de aula com as pedagogias ativas de aprendizagem. O espaço de sala de aula convencional, com as carteiras enfileiradas, dificulta a interação entre os estudantes e pode prejudicar o engajamento nas atividades colaborativas e de discussões (BEICHNER *et al.*, 2007).

O professor Robert Beichner juntamente com colaboradores do Departamento de Física da Universidade da Carolina do Norte e integrantes do projeto IMPEC (*Integrated Math, Physics, Engineering and Chemistry*) reconheceram as dificuldades de adotar uma sala de aula mais ativa utilizando o arranjo da sala convencional e, com isso, desenvolveram o *Student-Centered Learning Environment with Upside-down Pedagogies* (SCALE-UP⁸) que em português significa: Ambiente de Aprendizagem Ativa Centrada no Aluno com Pedagogias Invertidas. O SCALE-UP redimensiona a sala de aula em busca de promover o uso das técnicas de aprendizagem que dispõe o aluno como centro desse processo. A principal motivação para a criação dessa metodologia foi a dessincronização entre as aulas de laboratório de física e as aulas teóricas.

⁸ https://www.physport.org/methods/method.cfm?G=SCALE_UP.

As aulas de laboratório, na maioria das instituições de ensino superior, são feitas em paralelo com as aulas teóricas de física, entretanto, é recorrente a dificuldade de manter o mesmo plano de aula entre as duas e, assim, o conteúdo desenvolvido na aula de laboratório acaba não acompanhando o da aula teórica ou vice-versa. Nesse sentido, compreende-se que é importante a integração entre esses dois ambientes e combinar as experiências em laboratório com as aulas teóricas foi um esforço empenhado por Beichner *et al.* (2007), mas para unificá-las é necessário modificar os experimentos de física para que possam ser realizados no tempo da aula de forma simultânea (enquanto o tópico é discutido em sala), pois o objetivo da metodologia é que o uso do laboratório seja guiado por investigação em vez de verificação. Ou seja, espera-se que os alunos façam questionamentos, adquiram dados e pensem em formas de explicar o fenômeno em vez de receberem um tutorial pronto do que fazer e como fazer para verificar dados já esperados.

O projeto de juntar as aulas teóricas às atividades experimentais, inicialmente desenvolvido pelos pesquisadores do IMPEC, teve sua primeira execução no estilo estúdio, em 1993 na Universidade da Carolina do Norte, em uma turma com 36 estudantes, na disciplina que integrava conteúdos de engenharia, física, química e matemática. Embora tenha tido um resultado promissor, o projeto mostrou-se inviável a longo prazo devido às grandes turmas de engenharia e, por isso, na tentativa de ampliá-lo para turmas de até 100 alunos, pensou-se em *how to scale up?* que em português significa “como ampliar a escala?”. O objetivo era aumentar o número de alunos dentro da mesma sala para avaliar se o método poderia ser aplicado para turmas diversificadas. Para solucionar o problema, pensou-se na adesão de instrutores em sala, que podem ser estudantes de doutorado ou mestrado. Portanto, para turmas de até 100 alunos, é possível a união das aulas de laboratório com as aulas teóricas, que além da presença do professor, precisa da participação de 2 a 4 instrutores para que todos os alunos sejam acompanhados. Para maximizar o potencial de colaboração, o tempo que seria usado em laboratório é combinado com o tempo de aula e as características para o sucesso da metodologia para Beichner *et al.* (2007) está na interdependência, onde os membros do grupo devem confiar no outro e trabalharem unidos, de forma que a maior parte da aula seja para a interação dos estudantes; na autoavaliação do grupo em que os próprios membros avaliam seu rendimento, como também no que podem melhorar; e no uso de habilidades pessoais em que são praticadas a liderança, a tomada de decisão e o gerenciamento de conflitos. Beichner *et al.* (2007) acredita que o modo como os alunos estudam e são ensinados impactam no seu aprendizado, como mostra a pirâmide do aprendizado de Edgar Dale (1969) na figura 3:

Figura 3 – Pirâmide do aprendizado



Fonte: E. Dale (1969).

De acordo com Beichner *et al.* (2008), a pedagogia do SCALE-UP segue as seguintes perspectivas:

- Criar um ambiente de aprendizagem que estimule os estudantes a colaborarem com seu grupo; sempre questionando e ensinando uns aos outros;
- Utilizar as atividades baseadas no *Physics Education Research* (PER)⁹ em português significa: Pesquisa em Educação da Física, para minimizar a parcela de aula expositiva durante a atividade síncrona;
- Estimular os estudantes durante as atividades auxiliando-os a responderem seus próprios questionamentos e permitindo que apresentem seus resultados para toda a turma e o professor.

O *Physics Education Research* (PER) é um subcampo do ensino da física que desenvolve estratégias para ajudar os alunos no estudo da física. Assim, a comunidade de física envolvida no PER pesquisa os principais erros e equívocos que os estudantes adquirem ao longo dos anos. De acordo com Beichner (2009), o PER é uma rede de colaboração que desenvolve materiais para auxiliar os professores a combater essas ambiguidades, para isso, realizam pesquisas para:

- Identificar as dificuldades dos alunos;
- Desenvolver métodos para lidar com essas dificuldades;
- Investigar as atitudes e os conceitos prévios dos alunos com a física;

⁹ R. J. Beichner, An introduction to physics education research, in *Getting Started in Physics Education Research*, edited by C. Henderson and K. A. Harper (American Association of Physics Teachers, College Park, MD, 2009).

- Estudar a dinâmica de grupo entre estudantes;
- Desenvolver material para auxiliar os professores.

Os professores que integram essa rede colaborativa criaram uma plataforma chamada *WebAssign* em que videoaulas curtas podem ser criadas e adicionadas, além de questionários para os alunos responderem após a visualização das videoaulas. O objetivo do *WebAssign* é facilitar a aplicação da metodologia aos professores que não possuem tempo para criar o próprio material. Dessa forma, na Universidade de Minnesota¹⁰, os professores desenvolvem materiais curriculares, além de ferramentas que facilitam aos alunos adquirir habilidades em resolução de problemas em um estilo de laboratório que enfatiza a solução de problemas simples em física.

Além do grupo localizado em Minnesota, o grupo PER da universidade de Maryland¹¹ desenvolveu um site com problemas em situações realistas de física, para os estudantes resolverem em equipes, utilizando a regra de solução de problemas GOAL (*Gather information, Organize and plan, perform the Analysis, and Learn from your efforts*) que significa em português: reunir informações, organizar e planejar, analisar e aprender com seus próprios erros. Essas regras, segundo Beichner (2009), auxiliam as equipes a não travarem ou se perderem na resolução de um problema.

Além do PER, outros aspectos importantes para implementar o SCALE-UP é facilitar o ambiente de aula modificando o design da sala, transformar a conduta de aula aplicando técnicas e dinâmicas e desenvolvendo materiais do programa do componente curricular. O primeiro aspecto a ser considerado é que a configuração da sala de aula deve facilitar a comunicação entre os estudantes e instrutores. Nessa transformação, as carteiras individuais são substituídas por mesas circulares que acomodam os alunos, criando um espaço de equipes. Assim, cada equipe ocupa uma mesa e próximo a essas mesas encontram-se quadros brancos para que a equipe possa interagir, enquanto resolve os problemas propostos. Os quadros brancos ao redor da sala permitem que cada mesa desenvolva as atividades em conjunto, proporcionando a visualização da resolução dessas tarefas aos estudantes das outras mesas, assim como a verificação pelo instrutor que pode identificar as dificuldades dos alunos na solução dos problemas. No entanto, o acesso a dispositivos eletrônicos com internet é importante para que os alunos façam, dentre outras tarefas, a coleta de dados; a análise gráfica; pesquisas; atividades de simulação e animação. Na figura 4 é apresentado a configuração da sala de aula no formato SCALE-UP do Carleton College em Northfield, Minnesota:

¹⁰ <https://groups.spa.umn.edu/physed/index.html>.

¹¹ <http://www.physics.umd.edu/perg/abp/think/mech/>.

Figura 4 – Arranjo espacial da sala no formato SCALE-UP



Fonte: Projeto *kaleidoscope* Carleton College¹².

A metodologia SCALE-UP utiliza a sala de aula invertida que, como o próprio nome diz, inverte os papéis do professor e do aluno. O professor compartilha o conteúdo antes da aula para que o aluno, fazendo a leitura indicada ou assistindo as videoaulas, se sinta apto a participar das discussões em sala. Além do estudo prévio, ainda em casa, os alunos deverão executar atividades em forma de questionário, criadas pelo professor, a fim de avaliar a aprendizagem prévia do aluno, com isso, o professor saberá quais assuntos os estudantes tiveram mais dificuldades de aprender e poderá guiar a discussão em aula baseada nesses tópicos (BEICHNER *et al.*, 2007). Essas atividades realizadas pelos estudantes em casa buscam encorajá-los a assistir as videoaulas e a estudar o material compartilhado de forma a prepararem-se para a discussão que será realizada em sala. O autor sugere o uso do sistema *WebAssign*¹³, entretanto, por ser em inglês, não é possível sua utilização na sequência de ensino proposta neste estudo, mas pode servir como exemplo para uma aplicação futura. Com isso, uma rede de colaboração entre professores no Brasil pode ser pensada para criar essas curtas videoaulas e questionários e disponibilizá-los de forma gratuita na internet. A figura 5 mostra o esquema usado na plataforma *WebAssign*:

¹² <https://serc.carleton.edu/sp/pkal/scaleup/index.html>.

¹³ <http://webassign.net>.

Figura 5 – Videoaula sobre a queda livre dos corpos e questionamentos

The image shows a screenshot of the WebAssign platform interface for an interactive video vignette titled "Freefall". The interface is split into two columns. The left column features a video player showing a man holding a globe, with a question below it: "Select the correct answer to the question: 'What will happen when the two objects are dropped?'". The options are: A. The apple will land first, B. The bowling ball will land first, and C. Both objects will land at the same time. The right column features a video player showing three people talking, with a question below it: "On a scale from 1 to 5, where 1 is very unsure and 5 is very confident, select the value of your confidence about your answer." Below this question is an "Enter Answer" input field.

Fonte: Captura da tela da plataforma *WebAssign*¹⁴ criado pelo *Interactive Video Vignettes*.

Interactive Video Vignettes, que em português significa Vinhetas de Vídeo Interativas, são tutoriais online baseados em vídeo desenvolvidos pela *Cengage*¹⁵, por meio de pesquisas financiadas pela *National Science Foundation*¹⁶. Os alunos assistem aos vídeos que exploram os conceitos e realizam os experimentos e, após cada vídeo, respondem perguntas que ajudam a resolver as dificuldades de aprendizagem identificadas pelo PER (*Physics Education Research*)¹⁷. Essas perguntas respondidas na plataforma são corrigidas automaticamente diminuindo a quantidade de atividades que o professor precisará corrigir.

Para facilitar a aprendizagem ativa, a parte da aula expositiva é encurtada para dar mais tempo às atividades realizadas em grupo. O professor ou instrutor circula pela sala estando à disposição para sanar dúvidas e agindo de forma a estimular os estudantes a participar das discussões e atividades. O período de discussão em sala toma entre 10 e 15 minutos e pode ser utilizado para motivar, resumir ou fornecer uma visão geral dos tópicos. Em seguida, recursos tecnológicos podem ser utilizados para a simulação do fenômeno a ser estudado. Assim, o uso de computadores, celulares ou *tablets* permite aos estudantes fazerem pesquisa, modelagem matemática, utilizarem laboratórios online e assistirem vídeos.

¹⁴ <http://demo.webassign.net/web/Student/Assignment-Responses/last?dep=4746>.

¹⁵ https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1122828.

¹⁶ <https://nsf.gov/>.

¹⁷ R. J. Beichner, An introduction to physics education research, in *Getting Started in Physics Education Research*, edited by C. Henderson and K. A. Harper (American Association of Physics Teachers, College Park, MD, 2009).

Durante a utilização do recurso tecnológico, os grupos deverão discutir sobre a atividade que foi dirigida, enquanto o professor circula pela sala tirando eventuais dúvidas. Com esse modelo, é possível acomodar turmas com grandes quantidades de alunos de forma a interagirem entre si, com professor e instrutores. No trabalho original do Beichner *et al.* (2007) ele considera que os grupos devem ser formados de maneira estratégica, cada grupo de 3 a 4 alunos, divididos em alto desempenho, regulares e com dificuldades, pois o aluno “bom” (identificado por seu histórico de atividades ou colaboração) poderá auxiliar os outros do seu grupo.

Os grupos criados pelo professor na proposta de Beichner *et al.* (2007) deverão ser modificados de três a cinco vezes por semestre ou após cada prova, um ponto relevante quando pensado para uma aplicação da metodologia em toda a extensão da componente curricular ministrada. Na Universidade da Carolina do Norte, a justificativa da rotação nos grupos visava que os integrantes não se sentissem íntimos, de modo a evitar distrações, gerando conversas paralelas sobre temas que fogem da temática da aula. Beichner *et al.* (2007) acredita que mudar o grupo apenas uma vez no meio do semestre pode abalar a confiança dos estudantes que já criaram uma forte união, entretanto, rotacionar os membros do grupo a cada três ou cinco vezes por semestre pode evitar esse problema. Essa proposta de mudar os membros das equipes foi desenvolvida para o Ensino Superior, já que a turma pode ser composta de indivíduos de outros cursos e de outros períodos, essa estratégia talvez não se aplique ao Ensino Básico, pois a turma é a mesma do começo ao final do ano, em todas as disciplinas – no Brasil. Desta forma, os professores podem permitir que os indivíduos escolham seus próprios grupos e provavelmente, terá uma mesa repleta de estudantes considerados bons e outra mesa ocupada por estudantes com dificuldades. Essa escolha pode ser justificativa pelo fato de os alunos manter um melhor grau de envolvimento no grupo quando escolhem os integrantes por afinidade, do que por intervenção do professor.

De acordo com Maria (2011), os integrantes do grupo devem criar acordos de convivência para que o trabalho em equipe seja realizado da melhor forma. Esse tipo de ambiente facilita a interação, mesmo em turmas grandes; nesse caso é importante que as mesas sejam enumeradas para simplificar a distribuição e coleta de materiais.

Uma solução para a grande quantidade de tarefas que o professor e/ou instrutor precisa corrigir, em turmas grandes, foi elaborada por Maria (2011), que aplica o SCALE-UP na disciplina de química na Universidade da Carolina do Norte, para uma turma com 99 alunos e 11 mesas, foi desenvolver uma estratégia para que cada mesa fique responsável pela correção, em esquema de sorteio de nomes e a rotação de mesas; a mesa vizinha corrige as atividades da mesa anterior fazendo uma espécie de circuito.

Gabriela (2019) desenvolveu um estudo de caso na Universidade de São Paulo (USP) sobre a aplicação da técnica SCALE-UP no Instituto de Física, cujo resultado, avaliado por ela, indicou uma contradição: atividades em grupo, que foram bastante valorizadas pelos professores durante as aulas, contabilizaram apenas 15% da nota final; 85% estavam associadas às atividades individuais como provinhas, exercícios e a atividade avaliativa final. A conclusão de Gabriela (2019) enfatizou que mesmo a metodologia empregada valorizadora das atividades centradas no aluno e em grupo, as atribuições de notas ainda seguem os modelos tradicionais da educação.

Maria (2011) aplicando SCALE-UP utiliza como instrumento de avaliação provas em pares, atividades feitas em grupo; além das atividades atribuídas pelas correções, provas individuais e para promover o esforço colaborativo, pontuação extra é fornecida às provas quando a média atingida pela equipe está acima de um mínimo. Para Maria (2011) essa bonificação contribui para encorajar os alunos mais avançados a ajudar os colegas que possuem mais dificuldades, gerando mais responsabilidade a esses alunos.

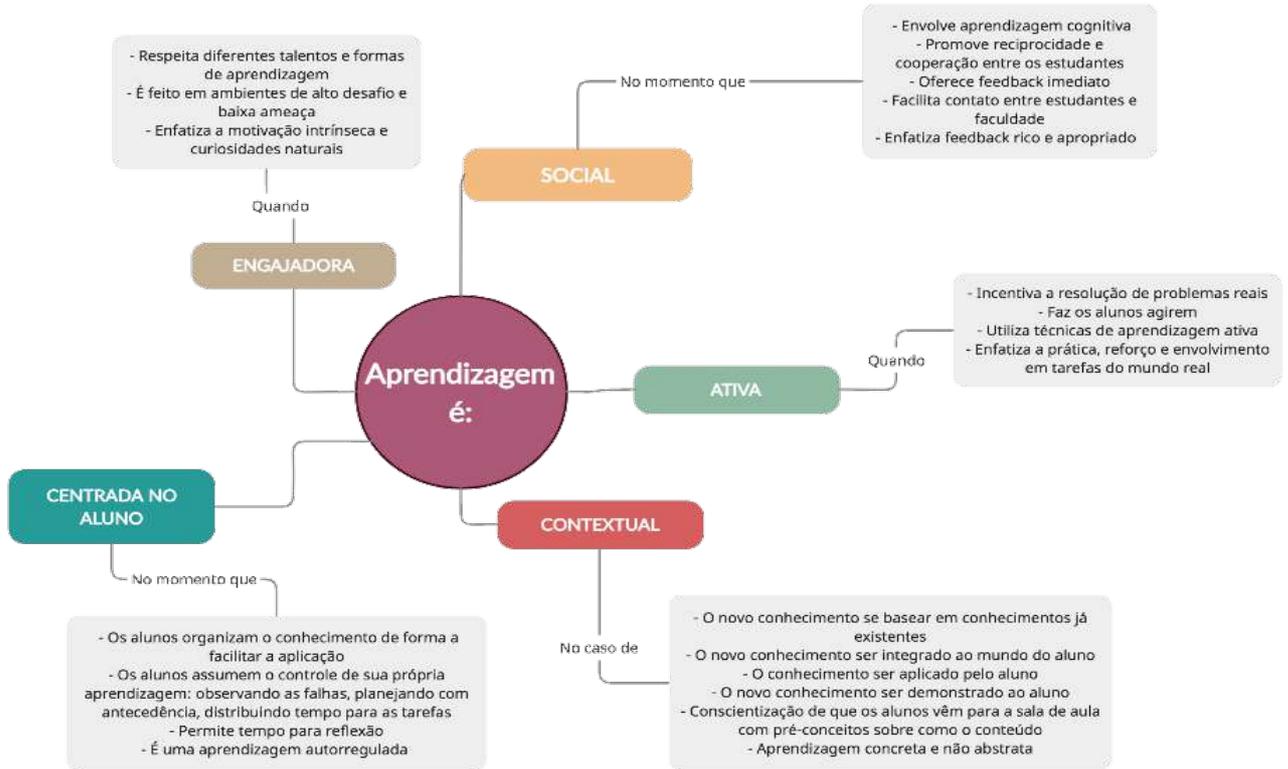
Uma comparação foi feita entre duas turmas na Universidade da Carolina do Norte no curso de química: para uma turma foi aplicada a metodologia SCALE-UP modificando a configuração da sala de aula, unificando as aulas de laboratório com as aulas teóricas e utilizando também a sala de aula invertida e as metodologias ativas associadas; para outra turma foi utilizada a metodologia tradicional. Contudo, muitos fatores precisavam ser controlados, apesar de o mesmo instrutor ter sido empregado nas duas turmas, mesma quantidade de horas aulas, o mesmo plano de estudo, monitoramento no tempo das tarefas e equivalência das turmas em termos demográficos. As mesmas atividades foram empregadas em ambas as salas, e testes foram realizados antes e após a aplicação da metodologia tradicional e o SCALE-UP - para mais detalhes, acessar o artigo de Maria (2011)¹⁸. Os resultados relatados foram promissores, com 77,1% da população estudantil na turma do SCALE-UP refletindo ganhos positivos acima da turma com metodologia tradicional e, as atitudes dos alunos se tornaram mais proveitosas, em termos de discussão, de seminários, de participação em grupo, à medida que o semestre passava.

Beichner *et al.* (2007) acredita que é necessário envolver ativamente os estudantes em sala de forma a aprender a serem críticos, bem como pensar como cientistas e não somente aprender ciência, e que a sala se torne um ambiente de raciocínio. Beichner *et al.* (2007) se inspira nos trabalhos de Carmean e Haefner (2002) que construíram um sumário de

¹⁸ <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=331127611002>.

desenvolvimento intelectual para estudantes e como a instrução em sala de aula pode ser utilizada para ajudar os alunos a aprenderem. As sugestões fornecidas por Carmean e Haefner (2002) podem ser incorporadas à abordagem SCALE-UP, como detalhado na figura 6:

Figura 6 – Esquema de aprendizagem ativa



Fonte: Tabela adaptada pela autora na forma de mapa mental de Carmean e Haefner (2012).

As atividades no SCALE-UP desenvolvidas por Beichner *et al.* (2007) são divididas em 3 grupos: as tangíveis, em que os alunos podem utilizar equipamentos científicos ou simuladores computacionais; as atividades ponderáveis, que são problemas que os alunos buscam solução em conjunto e essas soluções podem ser registradas em quadros brancos distribuídos ao redor da sala; e as atividades de discussão, que são momentos de fechamento e formalização dos conteúdos trabalhados em sala para conectar as atividades tangíveis com as ponderáveis.

Para estimular que os estudantes trabalhem juntos, as notas são baseadas nas atividades realizadas em sala, nos quizzes, tarefas para casa, relatório de laboratório e em testes. As atividades realizadas em sala podem ser: experimentos, simulações, animações, solução de problemas, até discussão de artigos e resultados experimentais. Independente da forma dessas atividades, o aspecto crucial é engajar o aluno a pensar. Se a atividade envolve a demonstração

de uma expressão matemática, o professor pode transformar algo passivo em ativo, pode pedir observações aos alunos, fazer perguntas sobre a dedução, questioná-los de que forma o professor continuaria o desenvolvimento da dedução; o que eles poderiam prever a partir do que estava escrito no quadro. O professor sempre pode buscar engajar os alunos a participarem de discussões e transformar algo que traria passividade para uma tarefa ativa, onde a interação é evocada intencionalmente.

As atividades tangíveis estão presentes em situações físicas que requerem observação e coleta de dados, para Beichner *et al.* (2007), os alunos devem realizar experimentos curtos e precisam criar modelos de previsão para explicar o fenômeno. Às vezes, são necessários cálculos utilizando estimativas razoáveis de informações que eles não podem medir diretamente. Por exemplo, os grupos recebem um pedaço de papel com um par de arcos concêntricos e a tarefa deles é rolar uma bola de tênis por um caminho curvo entre os arcos. Os alunos às vezes derrubam o papel, giram ou sopram a bola para realizar a tarefa. Eles podem ser questionados sobre o porquê precisam fazer isso, e podem utilizar a explicação que estão aplicando uma força à bola para mudar a direção de seu movimento, fazendo referência à segunda lei de Newton. O professor pode solicitá-los a especificar a direção da força. A discussão entre os membros dos grupos eventualmente conclui que a força é sempre direcionada para o centro dos arcos concêntricos. Eles reconhecem isso como uma força centrípeta e então terão que aproximar a magnitude da massa da bola e dar uma estimativa para sua velocidade (BEICHNER *et al.*, 2007). Essas atividades, que podem ser experimentais ou de simulação computacional, têm o objetivo de estimular a criatividade do aluno.

A aula inicia com as atividades tangíveis, exemplo dado acima, e em seguida as atividades ponderáveis, que são problemas em que eles precisam construir a solução de forma conjunta, utilizando os quadros brancos dispostos na sala de aula. Cada uma dessas atividades tem duração de 10 a 15 minutos, na proposta original, e após realizadas, muitos conceitos ainda estão parcialmente formulados na mente dos estudantes, e por isso, é necessário um momento de fechamento e conclusão. Sendo assim, o professor discute com os alunos sobre as atividades executadas fazendo perguntas sobre os tópicos abordados e, se necessário, pode realizar uma intervenção expositiva, caso algum conceito tenha ficado frágil. Os curtos momentos de exposição do conteúdo têm como objetivo motivar o aluno, resumir o conteúdo, fornecer uma visão geral do tópico ou mostrar as aplicações do assunto no cotidiano.

Outra forma de finalizar a aula é fazer os alunos acessarem a plataforma online e responder quizzes que tenham relação com o que foi ministrado. Esses quizzes são individuais e após a resolução o professor pode mostrar em forma de histograma as respostas; se houver

Algumas dessas instituições incluem: *North Carolina State University (NCU)* e *Massachusetts Institute of Technology* que já foram citadas, também a *University of Minnesota*, *Florida Gulf Coast University*, *University of Alabama*, *Wake Technical Community College*. Além das universidades citadas, o SCALE-UP se expandiu em várias instituições no mundo, destaca-se a Universidade de São Paulo¹⁹ no Brasil, com parceria a NCU e no Japão a *University of Tokyo*. Informações de algumas dessas instituições estão disponíveis no site SCALE-UP²⁰ da Universidade da Carolina do Norte.

¹⁹ <http://fig.if.usp.br/~scaleup/>.

²⁰ https://www.physport.org/methods/method.cfm?G=SCALE_UP.

3 REFERENCIAL TEÓRICO EM FÍSICA

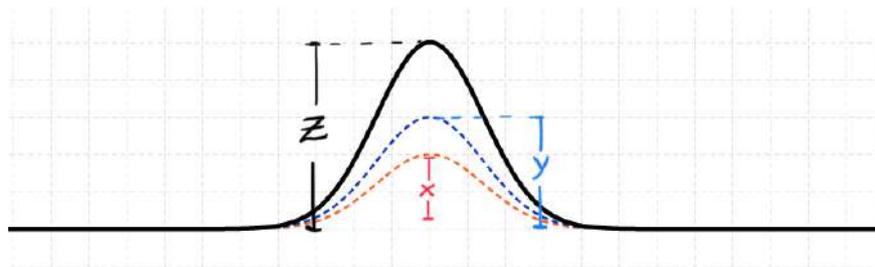
3.1 Fenômenos ondulatórios

O nosso estudo visa a introdução da Física de Partículas sob o conteúdo de ondulatória e para tanto é relevante detalharmos os efeitos do comportamento ondulatório, especialmente a interferência e a difração, uma vez que iremos explorar experimentos, simulações, aplicações e situações problema que envolvem as características presentes nesses fenômenos.

3.1.1 Interferência

A interferência é o fenômeno resultante da superposição de duas ou mais ondas na mesma região do espaço, a onda resultante é igual a soma algébrica das amplitudes de cada onda individual, caso os deslocamentos estejam no mesmo sentido; e caso os deslocamentos individuais de cada onda estejam invertidos, faz-se a subtração algébrica das amplitudes. Quando os dois pulsos se encontram ocorre o fenômeno da superposição, e a perturbação resultante em cada ponto durante a superposição é a adição das perturbações que seriam causadas pelas ondas separadamente, como apresentado na figura 8:

Figura 8 – Superposição dos pulsos



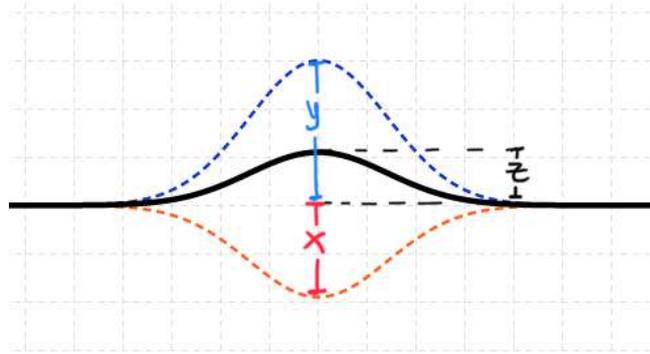
Fonte: Captura da tela geogebra *Wave Pulse Interference and Superposition*.

Sendo x o deslocamento vertical pela onda que viaja da esquerda para a direita e considerando y o deslocamento vertical da onda que viaja da direita para esquerda, o deslocamento vertical resultante no momento da superposição será $z = x + y$.

Quando os dois pulsos se deslocam na mesma direção e em sentidos opostos, com deslocamentos verticais invertidos, o deslocamento resultante será a subtração das amplitudes individuais. A superposição dos pulsos com deslocamentos verticais invertidos está apresentada na figura 9, em que x representa o deslocamento vertical pelo pulso que viaja da esquerda para

direita e y o deslocamento vertical do pulso que viaja da direita para esquerda, quando os dois pulsos se encontram, a perturbação resultante em cada ponto durante a superposição é a subtração das perturbações que seriam causadas pelas ondas separadamente.

Figura 9 – Superposição dos pulsos com deslocamentos verticais invertidos



Fonte: Captura da tela geogebra *Wave Pulse Interference and Superposition*.

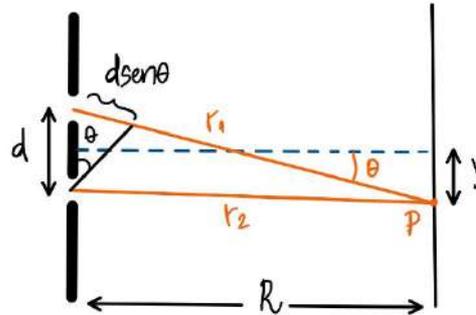
A interferência de ondas é o fenômeno resultante da superposição dos pulsos e, no caso da superposição de pulsos em fase, ocorre o que se chama de interferência construtiva e, para a superposição de pulsos fora de fase, ocorre a interferência destrutiva.

Utilizando a definição de frentes de onda, regiões no espaço que reúnem todos os pontos da onda, o princípio de Huygens permite determinar as posições futuras de uma onda. No experimento, uma fonte de luz emite luz monocromática e essa luz é direcionada para um anteparo com uma fenda muito estreita S_0 . Como a fonte original é incoerente, as ondas estão defasadas e é necessário a fenda S_0 , para colocá-las em fase. Outra alternativa é utilizar o LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) que, por ser uma fonte de luz coerente, dispensa a necessidade da fenda S_0 . Dessa forma, a luz que passa pela fenda S_0 incide em outras duas fendas S_1 e S_2 , e todas as fendas possuem originalmente uma largura de dimensões comparáveis a $1 \mu\text{m}$ e são separadas a $10 \mu\text{m}$ ou $100 \mu\text{m}$. Uma configuração do padrão de interferência pode ser vista no anteparo, após ondas passarem por S_1 e S_2 , e as franjas ficam mais espaçadas quando a distância entre as duas fendas é diminuída, para mais detalhes consultar o livro do Young (2008).

O experimento da fenda dupla apresenta um padrão de interferência no anteparo onde as faixas escuras são resultado da interferência destrutiva e as faixas claras são resultado da interferência construtiva. Pode-se fazer uma análise geométrica do experimento, apresentado na figura 10. Considera-se R , a distância entre a fenda dupla e o anteparo, d a distância entre as fendas e P o ponto na tela onde será exibido as franjas de interferência, e como $R \gg d$, as retas

r_1 e r_2 podem ser consideradas paralelas, essa aproximação na geometria do arranjo faz com que as equações matemáticas sejam simplificadas, como será demonstrado adiante.

Figura 10 – Arranjo experimental com geometria real do experimento da fenda dupla



Fonte: Autoria própria.

Devido a distância $R \gg d$ pode-se aproximar os raios quase que paralelos e isso faz com que a diferença entre os caminhos seja:

$$r_1 - r_2 = d \sin \theta. \quad (1)$$

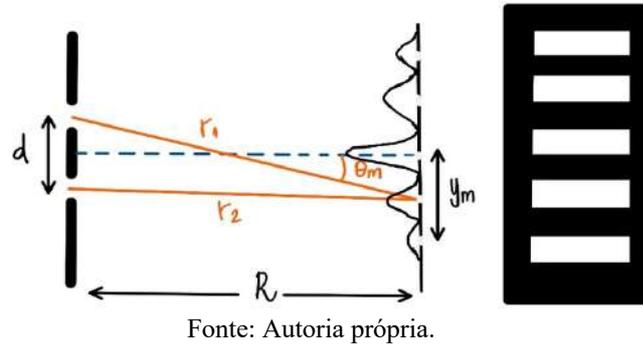
As franjas de interferência construtiva e destrutiva ocorre quando a diferença entre os caminhos dos raios de luz que saem das duas fendas são iguais à um número inteiro m de comprimento de onda, ou seja, as duas ondas estão com as cristas e os vales sincronizados e por isso há o reforço das ondas gerando a interferência construtiva. Para interferência construtiva, $d \sin \theta = m \lambda$ com $m = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n$, em que m é um número inteiro de comprimento de onda (YOUNG, 2018).

De forma semelhante, para a interferência de onda destrutiva, é necessário que a crista da onda que sai de uma fenda esteja sincronizada com o vale da onda que sai da segunda fenda, ou vice-versa. De forma que, a interferência destrutiva são as regiões escuras exibidas na tela quando há o cancelamento das ondas, em razão da crista de uma onda está sincronizada com o vale da outra onda ou em qualquer posição que não haverá a soma da superposição e sim a subtração. Para que isso aconteça, a diferença no caminho das ondas deve ser igual à um número semi-inteiro de comprimentos de onda:

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda \text{ com } m = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n \quad (2)$$

O arranjo experimental apresentado na figura 11, considera y_m a distância do centro de interferência até a franja clara de ordem m e o θ_m associado a essa franja.

Figura 11 – Arranjo experimental interferência fenda dupla com máximos y_m



A equação para franjas de ordem m é:

$$y_m = R \operatorname{tg} \theta. \quad (3)$$

A distância y_m é muito menor que a distância R e conseqüentemente o ângulo θ_m é muito pequeno e sabe-se que para ângulos muito pequenos a $\operatorname{tg} \theta \simeq \operatorname{sen} \theta$ e a equação fica:

$$y_m = R \operatorname{sen} \theta. \quad (4)$$

Como sabemos que na interferência construtiva $d \operatorname{sen} \theta = m \lambda$ e $\operatorname{sen} \theta = \frac{m \lambda}{d}$, a equação (4) fica:

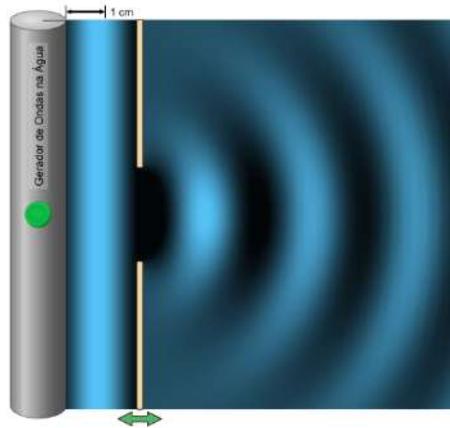
$$y_m = R \frac{m \lambda}{d}. \quad (5)$$

Os valores de R , m e d são bem conhecidos e com a relação apresentada na equação (5), é possível determinar o comprimento de onda da luz utilizada no experimento, de tal forma que, a partir da experiência da fenda dupla de Young, foi possível realizar a primeira medição do comprimento de onda da luz (YOUNG, 2008).

3.1.2 Difração

Um dos princípios da óptica geométrica afirma que a luz percorre uma linha reta, diferente do som, que se propaga sempre contornando obstáculos, dessa forma, é possível ouvir vozes por trás de paredes, mas não é possível enxergar as pessoas que originam as vozes e, nunca se imaginou que as ondas luminosas poderiam contornar obstáculos, assim como o som. Diante disso, pode-se definir difração como um fenômeno ondulatório, que ocorre quando o comprimento de onda tem a mesma ordem de grandeza do obstáculo (YOUNG, 2008); um exemplo com ondas bidimensionais em água é apresentado na figura 12:

Figura 12 – Difração em ondas bidimensionais

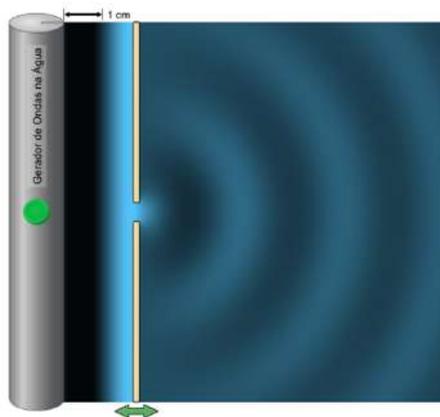


Fonte: Captura de tela do simulador PHET colorado - interferência de onda.

O que controla a forma como a onda se espalha, para um comprimento de onda fixo, é o tamanho do orifício. No exemplo acima, a onda não está demasiado espalhada e, quanto maior o orifício, nesse exemplo, mais retilínea será a propagação dessa onda.

Quando o tamanho do orifício é diminuído, percebe-se que as ondas se espalham mais, ou seja, difratam mais. A figura 13 ilustra a situação em que o comprimento de onda é da ordem de grandeza do tamanho da fenda:

Figura 13 – Difração em ondas bidimensionais



Fonte: Captura da tela do simulador PHET colorado: interferência de onda.

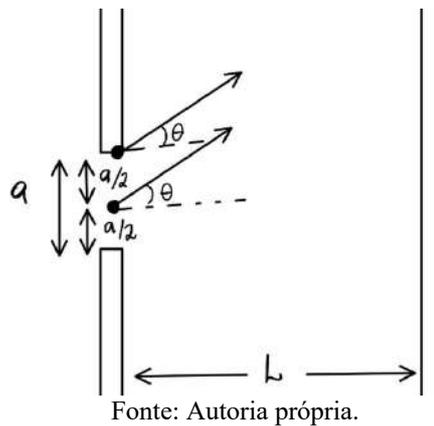
Como o comprimento de onda da luz visível é entre 400 nm e 700 nm , a luz não sofre difração com os mesmos obstáculos que o som. O som, por sua vez, possui comprimentos de onda que variam de $17,20\text{ m}$ a $0,0172\text{ m}$ para frequência de 20 Hz a 20.000 Hz , faixa audível ao ser humano, esses comprimentos têm a mesma ordem de grandeza dos objetos macroscópicos do nosso cotidiano, tais como carros, casas, paredes, entre outros.

O experimento da fenda dupla de Young é uma aplicação direta do fenômeno da interferência para a luz, em que as ondas de uma fenda interferem com as ondas da outra fenda e formam um padrão de franjas claras e escuras no anteparo. Esse fenômeno não está restrito à fenda dupla, de tal forma que, para uma única fenda, o padrão de interferência também é exibido no anteparo (YOUNG, 2008).

No experimento da fenda única, uma fonte de luz monocromática, geralmente vermelha, de maior comprimento de onda λ , admitindo a possibilidade de uma fenda menos estreita, é possível realizar a interpretação do fenômeno de difração quando dividimos a área de abertura da fenda em vários pontos paralelos entre si que formam novas frentes de onda que sofrerão interferência.

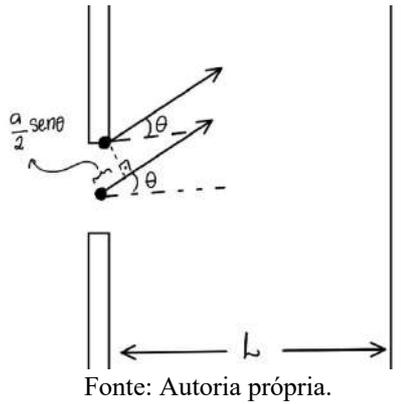
Na figura 14, pode-se assumir que a , tamanho da fenda, é muito menor que a distância entre a fenda e o anteparo L , com isso, os raios que saem da fenda e atingem o anteparo são considerados quase paralelos. Desenhando um ponto no meio da largura da fenda e considerando dois raios, um saindo do ponto superior da fenda e outro do ponto central, com mesmo ângulo θ e exatamente metade do comprimento de onda fora de fase, tem-se que a única fenda, na realidade, se comporta como duas e a separação entre essas duas fendas “imaginárias” é assumida como $\frac{a}{2}$.

Figura 14 – Difração em fenda simples



Desenhando uma reta normal entre os dois raios paralelos pode-se obter que, a diferença na distância entre os dois raios é $\frac{a}{2} \sin \theta$, como apresentado na figura 15.

Figura 15 – Diferença na distância entre os dois raios



Aplicando o mesmo resultado da interferência em fenda dupla $d \sin \theta = m\lambda$ para a fenda simples, mas assumindo que $d = \frac{a}{2}$, obtém-se que, na franja de interferência destrutiva de primeira ordem, $d \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$, e $\frac{a}{2} \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$ e, dessa forma, $a \sin \theta = \lambda$. Dividindo a mesma fenda em quatro partes, onde cada uma origina uma nova frente de onda que irá interferir com outras frentes de ondas e transmitir um padrão de interferência no anteparo, assim como no exemplo anterior, tem-se que a nova distância entre as fendas “imaginárias” é $\frac{a}{4}$.

Cada ponto gerador de frente de onda circular emite uma onda, considerando as quatro ondas paralelas entre si, a interferência destrutiva é dada por $\frac{a}{4} \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$. O mesmo esquema pode ser feito dividindo a fenda em oito, dezesseis ou quantos pontos geradores de novas frentes de onda sejam necessários, as franjas escuras serão exibidas como resultado da interferência entre as ondas que estão todas contidas na própria frente de onda original. Só há uma fenda, mas há infinitos números de fendas imaginárias que podem ser formadas para gerar novas frentes de onda e o resultado da interferência destrutiva é dado por $a \sin \theta = m\lambda$, com $m = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n$. Para ângulos pequenos, pode-se utilizar a aproximação: $\theta = \frac{m\lambda}{a}$, com $m = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n$; a distância da fenda ao anteparo é L , a distância vertical da franja escura é (YOUNG, 2008):

$$y_m = L \frac{m\lambda}{a} \text{ para } y_m \ll L. \quad (6)$$

Como motivação à discussão de difração, podemos citar a cor estrutural das asas das borboletas *morpho*, das penas do pavão e dos besouros *Cetonia Aurata*. A rede de difração é um conjunto de várias fendas paralelas, todas com mesma largura e mesma distância ao centro de duas fendas consecutivas. Quando luz branca, com distribuição contínua de comprimentos de onda, atinge as fendas, as posições dos máximos são obtidas pela equação: $d \sin \theta = m\lambda$ com $m = \pm 0, \pm 1, \dots, \pm n$; como o $\sin \theta$ é proporcional a λ , para comprimentos de onda mais

longos são encontrados ângulos maiores, e a cor vermelha possui um desvio maior da direção do feixe incidente, com relação à azul, por exemplo (YOUNG, 2008).

Como resultado do fenômeno da difração, nas asas da borboleta *morpho*, observamos a variedade de tonalidades como mostra a figura 16:

Figura 16 – Cor azul da borboleta morpho é resultado da difração



Fonte: Laboratório de Entomologia Embrapa²¹.

As diferentes tonalidades são associadas a conhecida cor estrutural que, diferente da cor química produzida por pigmentos, é formada pela difração da luz quando atinge a estrutura nanométrica das asas das borboletas. A iridescência azul da asa da borboleta é formada pela estrutura de escalas e não por pigmentos, na escala nanoscópica, a asa da borboleta possui pequenas estruturas em formato de árvore de Natal. Dessa forma, certos comprimentos de onda da luz, quando atingem as estruturas nanométricas da asa, sofrem difração e interferência e, comprimentos de onda fora de fase interferem destrutivamente e se cancelam, enquanto comprimentos de onda em fase sofrem interferência construtiva, como a cor azul, e essa cor chega aos nossos olhos.

O desenvolvimento de pesquisas na área da ondulatória é muito importante também para a tecnologia atual, empresários da indústria têxtil, por exemplo, tem o intento de substituir as cores de pigmentos e corantes químicos por cores estruturais, sendo uma solução para as roupas desbotadas após lavagens, além de gerar materiais aliados à sustentabilidade, podendo reduzir impactos ambientais.

3.2 Física das partículas elementares

A Física das partículas estuda os constituintes fundamentais da matéria e suas interações, entretanto, o que é fundamental passou por grandes modificações durante a história

²¹ <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/1379001/laboratorio-de-entomologia>.

da ciência em resposta ao avanço da tecnologia. Dessa forma, com o objetivo de entender a natureza das interações dentro do núcleo atômico, os cientistas dos anos 1950 e 1960 produziram uma obra que forneceu a estrutura conceitual para toda a matéria no universo: O Modelo Padrão das partículas elementares. As partículas elementares são classificadas em duas famílias: Férmions e Bósons, de acordo com seu spin (WILCZEK, 2000). As partículas que possuem spin intrínseco semi-inteiro são denominadas férmions, enquanto as partículas com spin inteiro são chamadas de bósons, a partícula com spin 0 é conhecida como bóson de Higgs e foi postulada para justificar a origem da massa das partículas, já que no modelo padrão as partículas teriam massa zero. Devido a uma característica quântica, dois férmions não podem ocupar o mesmo estado quântico ao mesmo tempo, esse fenômeno é chamado de princípio da exclusão de Pauli, análogo ao conceito de massa, em que dois corpos não ocupam o mesmo espaço. De maneira oposta, os bósons não têm restrição ao número de partículas que podem ocupar no mesmo estado quântico, esse fenômeno pode ser interpretado como o número ilimitado de ondas com a mesma forma que podem se sobrepor e tornar a amplitude geral da onda maior, um bom exemplo é o LASER que possui uma grande quantidade de fótons (o bóson mediador das interações eletromagnéticas) ocupando o mesmo estado.

As interações entre os constituintes básicos da matéria são mediadas pela troca de bósons. Dois elétrons em interação que estão sujeitos à lei de Coulomb “sentem” a presença um do outro devido a troca de fótons, resultante desse processo. Ou seja, a força no mundo da mecânica quântica significa a troca de partículas “bosônicas”. Os Bósons de Gauge são: os fótons da interação eletromagnética; os bósons W^+ , W^- e Z^0 mediadores da interação fraca; e os oito glúons da interação forte.

A matéria que conhecemos no universo é composta por férmions, estes por sua vez possuem duas classificações: os quarks e os léptons, os léptons são divididos em: elétron, múon e tau, partículas eletricamente carregadas, já os neutrinos e suas antipartículas – que têm a mesma característica a menos de alguns números quânticos opostos, são léptons neutros. Há ainda seis tipos de quarks, denominados de up, down, strange, charm, top e bottom e suas respectivas antipartículas. Diferente dos léptons, os quarks possuem carga elétrica semi-inteira e estão confinados dentro dos hádrons, devido a outra característica quântica chamada cor. O próton, por exemplo, é constituído de dois quarks up de carga $+\frac{2}{3}e$ e um quark down de carga $-\frac{1}{3}e$, de modo que a soma algébrica de suas cargas resulte em $+e$, que é o quantum da carga elétrica $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$. Os quarks também são sensíveis à força forte, pois apenas partículas que possuem o número quântico cor podem interagir com os glúons. Além disso, os hádrons

são formados por partículas fundamentais: os quarks, que podem ser divididos em duas famílias: bárions e mésons. Três quarks, cada um de uma cor, formam os bárions, dos quais os prótons e nêutrons são exemplos, e três antiquarks formam as antipartículas dos bárions. Um par de quark e antiquark formam os mésons (GRIFFITHS, 2008).

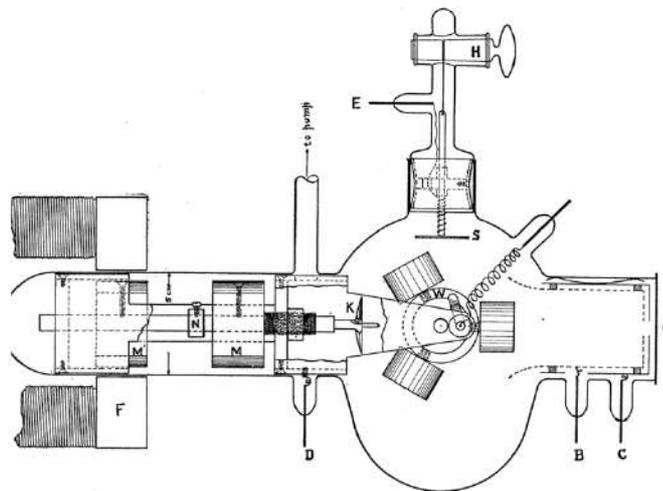
Na natureza há quatro tipos de interações fundamentais e todos os fenômenos são redutíveis a essas interações. A força gravitacional atua em corpos que possuem massa e, sentimos essa interação ao sermos puxados para a Terra. Essa força é de longo alcance e o bóson mediador proposto para essa interação é o gráviton, que permanece sem comprovação experimental. A força fraca é limitada ao núcleo atômico e é responsável pela transmutação das partículas, como exemplo o decaimento β , essa interação é mediada pelos bósons W^+ , W^- e Z^0 . A força eletromagnética, que atua a longas distâncias, é mediada pelos fótons, e todas as forças que parecem ser distintas como o atrito, as forças elásticas, força normal etc. são casos particulares da força eletromagnética. E, por fim, a força forte, que atua somente a curta distância, menores que o raio do núcleo atômico, e é intermediada por glúons - essa interação é responsável por unir os quarks e formar os bárions e os mésons já mencionados. Em todas as interações entre as partículas alguns números quânticos devem ser conservados como a carga elétrica, o momento angular, a quantidade de movimento e a conservação da energia. Entretanto, há processos permitidos por essas leis de conservação que nunca foram observados, mesmo em experimentos realizados, esses processos não são vistos na natureza. Para explicar esse fato, foram criadas leis de conservação, tais como número bariônico e número leptônico. O número leptônico é um número quântico atribuído aos léptons, cada um com $L = +1$ e, para as partículas antileptônicas $L = -1$, já para as partículas não leptônicas, como o caso dos quarks, $L = 0$. A lei de conservação desse número quântico, afirma que em qualquer processo, o número leptônico total deve ser conservado, permanecendo constante. O número bariônico é atribuído aos quarks como $B = \frac{1}{3}$ e, para os antiquarks $B = -\frac{1}{3}$ para os mésons e partículas não bariônicas $B = 0$, de tal forma que o número bariônico total deve ser sempre conservado. A carga elétrica para os quarks é fracionária e a carga elétrica dos léptons é $-1e$, com exceção dos três neutrinos que não possuem carga elétrica. A estranheza é um número quântico associado ao quark estranho. O *charm* é um número quântico próprio do quark *charm*, assim como também existe a representação dos números quânticos de botton e top (GRIFFITHS, 2008).

3.2.1 Fótons e a interação eletromagnética

3.2.1.1 Efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico ocorre quando a luz, de uma frequência específica, é emitida em direção a uma placa metálica, de modo que elétrons são verificados escapando dessa placa. O arranjo é apresentado na figura 17:

Figura 17 – O efeito fotoelétrico



Fonte: Millikan (1916).

Uma pequena placa e um eletrodo são posicionados dentro de um tubo de vidro a vácuo chamado de fotocélula. As placas e o eletrodo são conectados a uma bateria e a um amperímetro, pois se houver uma voltagem dentro do circuito, o amperímetro será capaz de medir essa voltagem. Se esse dispositivo for colocado em uma sala escura, na ausência de luz, nenhum elétron será detectado, entretanto, se um feixe de luz é emitido sobre a placa metálica, elétrons podem ser liberados até atingirem o eletrodo, que é positivo, e essa corrente será verificada pelo amperímetro.

Surge uma questão de interesse: “Como explicar o experimento realizado por Hertz de uma perspectiva ondulatória?”, considerando que a luz se comporta realmente como onda e não como partícula, então as seguintes características deverão ser satisfeitas:

1) Se a intensidade da luz aumenta, o número de elétrons emitidos e a energia cinética máxima irão aumentar. Isso porque aumentar a amplitude do campo elétrico oscilante implica que uma força $F = eE$ seja aplicada ao elétron, tal que, ocorre o aumento da sua energia cinética.

2) De acordo com a teoria ondulatória da luz, a frequência da luz emitida não deveria afetar a energia cinética dos elétrons.

3) A energia é distribuída uniformemente na frente da onda eletromagnética e, se a luz for fraca, haverá uma diferença entre o tempo que a luz atinge a superfície metálica e o tempo que os elétrons serão ejetados por essa placa.

No entanto, os resultados experimentais do efeito fotoelétrico mostram que, se a frequência da luz aumenta, a intensidade não afeta a emissão de elétrons. Se a frequência for grande o suficiente para emitir elétrons, quando a intensidade aumenta, o número de elétrons emitidos também aumenta, mas a energia cinética máxima dos elétrons não muda. Porém, há uma frequência mínima necessária para arrancar elétrons da placa, sendo a energia cinética do elétron alterada quando de uma frequência superior a frequência de luz limite de sua emissão. Algumas características são destacadas:

1) Se a diferença de potencial é grande o suficiente, todos os elétrons ejetados da superfície metálica irão atingir o detector.

2) Se o sinal da diferença de potencial for revertido, ainda haverá elétrons atingindo o detector, mesmo que o campo elétrico se oponha a esse movimento, isso é justificado pelo fato de que os elétrons possuem uma energia cinética e alguns podem vencer esse campo elétrico oposto.

3) Se essa diferença de potencial inversa for grande o suficiente, conseguirá vencer a energia cinética dos elétrons e eles não irão atingir o detector, a esse valor dá-se o nome de potencial de corte V_0 . O potencial de corte depende apenas da frequência, e seu produto pela carga elétrica resulta na energia cinética máxima dos elétrons (RESNICK, 1979).

$$K_{max} = eV_0. \quad (7)$$

A abordagem teórica do efeito fotoelétrico, proposta por A. Einstein em 1905 (GRIFFITHS, 2008), considera que um feixe de luz com frequência f consiste em fótons que carregam uma energia $E = hf$. O aumento da intensidade do feixe, acarretará um número maior de fótons; mas a energia de cada fóton não muda, em contraste com a teoria ondulatória da luz, que afirma que, aumentar a intensidade implica em um aumento da energia. Admite-se que um único fóton colide com um único elétron na placa metálica. Sendo essa colisão de um para um, para emitir um elétron, a força elétrica atrativa entre elétrons e prótons deve ser superada, ou seja, o fóton deve fornecer uma quantidade mínima de trabalho requerida para liberar o elétron; esse trabalho é conhecido como função trabalho do material w_0 . Se a energia carregada pelo fóton é menor que a função trabalho $hf < w_0$ do material, elétrons não serão emitidos. Se $hf > w_0$, elétrons serão emitidos e a energia restante será transferida para a energia cinética do

elétron. A quantidade de energia carregada pelo fóton hf deve ser igual a energia cinética máxima do elétron K_{max} mais a função trabalho do material w_0 , $hf = K_{max} + w_0$ e rearranjando os termos, temos que $K_{max} = hf - w_0$, a energia cinética do elétron, é igual a diferença entre a energia do fóton e a função trabalho do material. Os experimentos ondulatórios, como interferência e difração de ondas eletromagnéticas, são bem-sucedidos porque resultam do caráter estatístico que envolve o grande número de fótons em seus comportamentos individuais (GRIFFITHS, 2008).

3.2.1.2 Efeito Compton

A equação de Einstein $E^2 - p^2c^2 = m^2c^2$ afirma que, conhecendo o momentum e a energia da partícula, é possível determinar sua massa. Para fótons, partícula de massa zero $m_\gamma = 0$, temos que $E_\gamma = p_\gamma c$, pode-se deduzir a relação entre o momentum do fóton e o comprimento de onda do fóton: $p_\gamma = \frac{E_\gamma}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda_\gamma}$. A ideia de o fóton ser uma partícula só foi confirmada pelo experimento de Compton, pois no espalhamento Compton, fótons energéticos de raios x cuja energia variam entre 10 eV a 10.000 eV colidem contra elétrons de átomos de hidrogênio que possuem 13 eV , por isso, o espalhamento Compton considera esses elétrons “virtualmente” livres. Esse experimento viola o espalhamento clássico de Thompson, que considerava o fóton como onda eletromagnética que atingia um elétron livre, por isso, se a onda possui frequência baixa, o campo elétrico e magnético é baixo e o elétron não irá admitir altas velocidades. A velocidade do elétron ser baixa implica em uma força de Lorentz baixa, mas o campo elétrico e magnético agita o elétron que acelera e irradia, essa irradiação tem um padrão cuja seção de choque, que tem unidade de área, é $\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{2} \frac{e^2}{mc^2} (1 + \cos^2\theta)$, essa seção de choque é função do ângulo entre a direção incidente do fóton e o fóton emergente e representa a intensidade da radiação como função do ângulo (RESNICK, 1979).

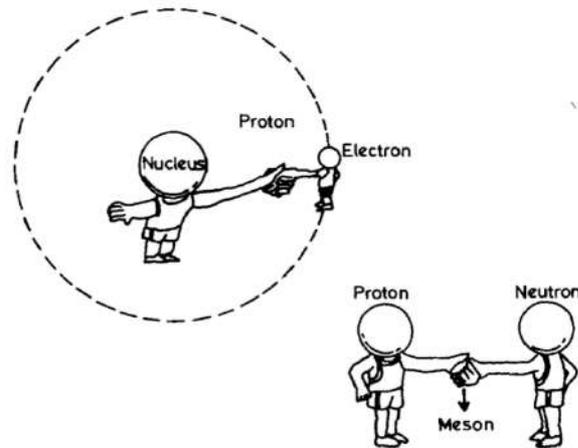
A área pode representar parametricamente uma energia. Se tivermos um feixe de uma onda eletromagnética através de uma área pequena, certa energia será necessária para extrair o elétron. O fóton extraído, então, teria a mesma frequência da onda original. O elétron ter a mesma frequência do campo elétrico implicará que a radiação liberada pelo fóton terá essa mesma frequência, mas, para altas energias, esse resultado clássico converge para um resultado incorreto. Se tratarmos do fóton como uma partícula, esse fóton terá energia e momentum, assim como o elétron, e dessa conservação da energia e do momentum, é possível determinar algumas características da colisão.

A partir das manipulações da equação de Einstein e tratando o fóton como partícula, verifica-se que a absorção do fóton pelo elétron não é consistente com a conservação do momentum e energia. O fóton irá perder energia após a colisão e seu comprimento de onda final deve ser maior que seu comprimento de onda inicial $\lambda_f > \lambda_i$, pois quanto menor o comprimento de onda mais energético será o fóton e o resultado dessa perda de energia acarreta uma mudança do comprimento de onda e na frequência desse fóton, $\lambda_f = \lambda_i + \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta)$. Se nessa expressão θ for igual a 0, isso significa que o fóton não colide com o elétron e o comprimento de onda final é igual ao inicial. A 90° temos o *Compton shift*, que depende apenas do ângulo θ e não do comprimento de onda inicial. Na hipótese de de Broglie, o fóton possui uma energia e momentum e se pensarmos na luz como onda, essa onda irá possuir outros tipos de características, como a frequência e comprimento de onda. Dessa forma, essa configuração é universal para todas as partículas, e, para uma partícula de momentum p , é associado uma onda plana de comprimento de onda igual à $\lambda = \frac{h}{p}$ (RESNICK, 1979). Esses resultados corroboraram para considerar o fóton como partícula mediadora da interação eletromagnética; atração e repulsão eletrostática, por exemplo, passam a ser considerados como um fenômeno de troca de fótons.

3.2.2 Interação forte, quarks e glúons

De acordo com a interação eletromagnética, os prótons dentro do átomo deveriam se repelir a ponto de desintegrar o átomo, mas como o átomo é estável, Yukawa propôs uma nova interação - a força nuclear forte. Essa interação, representada na figura 18, deveria ser mais forte que a eletromagnética, já que ela é capaz de vencer a repulsão eletrostática.

Figura 18 – Prótons e nêutrons participam da interação forte



Fonte: Nambu (1985).

Yukawa considerou que essa força teria um alcance muito curto, pois só iria influenciar as partículas dentro do núcleo. Como a partícula mediadora da interação eletromagnética é o fóton, deveria, diante disso, haver uma partícula para a interação forte. Se estimou que essa partícula admite uma massa 200 vezes maior que a massa do elétron, por consequência do curto alcance da força (NAMBU, 1905).

A força eletromagnética entre dois elétrons se dá pela troca do quantum do campo eletromagnético - o fóton. A massa do fóton ser zero está associado a ação eletromagnética ser de longo alcance, sendo a energia potencial inversamente proporcional à distância R , $V \sim \frac{1}{R}$. Para a partícula bosônica mediadora do campo associado à interação forte, foi considerado como potencial $V \sim \frac{e^{-\mu R}}{R}$, e, portanto, essa força é enfraquecida exponencialmente para grandes distâncias; μ é proporcional a massa da partícula e $\frac{1}{\mu}$ é o comprimento Compton. Pode-se dizer que o alcance da interação forte é igual ao comprimento Compton $\lambda = \frac{h}{mc} = 2,43 \times 10^{-10}$ cm. A partícula mediadora não é uma partícula “real” pois não há energia suficiente no estado inicial que permita “criar” um bóson de grande massa, esse tipo de partícula é denominada virtual, e só existe temporariamente de acordo com o princípio da incerteza de Heisenberg $\Delta T \times \Delta E \geq \hbar$, onde \hbar é a constante de Planck. Pelo princípio da incerteza, se o tempo ΔT for muito pequeno a incerteza na energia ΔE se torna muito grande, permitindo, assim, partículas virtuais serem produzidas (NAMBU, 1985).

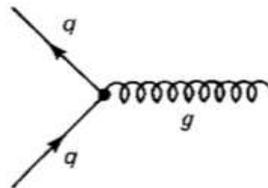
A princípio, o múon – um lépton fundamental, foi interpretado como um méson, em consequência da sua semelhança com o pión, com principal diferença na sua massa, o múon tem $\frac{3}{4}$ a massa do pión, e seu decaimento é facilmente detectado devido a grande quantidade de

partículas geradas pelos raios cósmicos. Pois, quando os prótons gerados pela radiação cósmica colidem com os núcleos que compõem a atmosfera, o méson π é produzido, mas seu tempo de vida é muito curto e por isso ele decai imediatamente em múons, que são finalmente detectados na superfície da Terra. Com o avanço no estudo desse campo, descobriu-se que o pión não é um bóson de interação fundamental, e sim, os glúons; dessa forma, o pión, previsto por Yukawa, passou a figurar como o méson mediador da interação forte residual.

A cromodinâmica quântica, é a teoria da física de partículas que busca descrever a interação forte, que age somente entre os núcleos, e possui natureza atrativa, diferente do eletromagnetismo que possui repulsão e atração; “cromo” vem do grego cor, já que o número quântico que descreve essa interação é chamado de cor, pois, para solucionar a violação do princípio de exclusão de Pauli com a partícula Ω^{-1} formada por três quarks estranhos, foi previsto mais um número quântico chamado cor, então cada um desses quarks estranhos teriam uma cor, vermelha, verde e azul, de modo que a partícula Ω^{-1} possui $(s_{azul}, s_{vermelho}, s_{verde})$, dessa forma, os quarks estranhos diferem entre si, ou seja, não estão no mesmo estado quântico. A combinação de partículas de três cores ou três anti cores deve gerar partículas sem cor (NAMBU, 1985). Quando os quarks tentam se separar, é mais fácil, energeticamente, produzir um par quark anti-quark do que deixá-los livres. Dessa forma, não é possível separar os quarks, independente da energia que se imprima, a esse processo foi denominado confinamento.

A cromodinâmica quântica (QCD) aparece como uma extensão da QED, mas enquanto na QED só há uma carga, na QCD há três diferentes tipos de carga rotuladas como “cores”, essas cores não possuem relação com cores físicas, mas sim com propriedades análogas as cargas elétricas. As cargas de cor são conservadas em todas as interações, seu processo fundamental pode ser interpretado pelos conhecidos diagramas de Feynman²².

Figura 19 – Vértice fundamental para a interação forte



Fonte: Griffiths (2013).

²² Os diagramas de Feynman é um método gráfico de representar interações em física de partículas, em que cada elemento do diagrama representa um cálculo matemático.

Os glúons, representados pela mola na figura 19, são os principais responsáveis por “colar” os quarks, que são as partículas fundamentais que compõem os prótons e nêutrons, ou seja, a força entre quarks é mediada pela troca de glúons, enquanto os prótons e nêutrons que compõem o átomo são conectados pelos píons, na força residual forte.

Por consequência do quark up ser mais leve que o down, o próton, que é a combinação de dois quarks up e um quark down, é mais leve que o nêutron, composto por dois quarks down e um quark up, por isso, o próton é estável, não há nenhuma partícula mais leve para que possa decair, conservando todos os números quânticos; o nêutron, por outro lado, decai no próton, a partícula bariônica mais leve.

Quando se compara a massa do próton com a massa dos quarks que compõem o próton, percebe-se há uma desproporção, enquanto a massa do próton é de $938,272 \frac{MeV}{c^2}$, a contribuição da massa dos três quarks é aproximadamente igual à $12 \frac{MeV}{c^2}$. De onde vem a massa do próton que está faltando? Há algo a mais em sua composição? Sim, os glúons também contribuem para a sua massa. Além dos glúons interagirem com os quarks, eles interagem entre si, e esse estado ligado de energia contribui no aumento da massa do próton (NAMBU, 1984).

As principais diferenças entre a cromodinâmica quântica (QCD) e a eletrodinâmica quântica (QED) são: os glúons podem interagir entre si, pois possuem cores, diferente dos fótons que não possuem carga elétrica e por isso não interagem entre si; os glúons carregam uma quantidade de cores não equilibrada, sendo a carga cor conservada, de tal forma que um processo físico possível é um quark azul se transformar em um quark vermelho absorvendo um glúon e, para que isso seja possível, esse glúon deve carregar uma unidade de carga vermelha e uma unidade de carga azul negativa, dessa forma, há oito estados físicos possíveis para os glúons, ou seja, há oito tipos de glúons.

Até 1964 já havia sido descoberto quatro tipos de léptons: o elétron, o múon, o neutrino do elétron e neutrino do múon, mas somente três quarks. Então, por simetria, buscou-se a extensão do número de quarks prevendo a existência de mais um, o quark charm, que foi observado pela primeira vez em 1974. Já o bottom foi previsto em 1977 e o top descoberto em 1995. O modelo padrão das partículas dispõe dos seis sabores de quarks, como apresentado no quadro 1:

Quadro 1 – Sabores de quarks do modelo padrão de partículas

QUARK	SÍMBOLO	CARGA	NÚMERO BARIÔNICO
UP	u	$\frac{+2}{3}$	$\frac{1}{3}$
DOWN	d	$\frac{-1}{3}$	$\frac{1}{3}$
CHARM	c	$\frac{+2}{3}$	$\frac{1}{3}$
STRANGE	s	$\frac{-1}{3}$	$\frac{1}{3}$
TOP	t	$\frac{+2}{3}$	$\frac{1}{3}$
BOTTOM	b	$\frac{-1}{3}$	$\frac{1}{3}$

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.3 Léptons, a interação fraca e seus mediadores

Dirac, em 1928, buscando compreender o comportamento dos elétrons a altas velocidades se deparou com um problema conceitual, seus resultados permitiam duas soluções: o elétron podia ter energias positivas e negativas. A equação de Dirac é a versão da equação de Schroedinger para partículas que viajam próximas à velocidade da luz e, buscando descrever o comportamento dos elétrons utilizando o referencial da mecânica quântica e da mecânica relativística de Einstein, ele criou uma formulação relativística para a mecânica quântica. Aplicando essa nova formulação para os elétrons, as duas soluções vindas da relação massa-energia de Einstein obtiveram sucesso na descrição da dinâmica do elétron, porém, possuíam uma característica peculiar, para cada estado quântico com uma energia + E há um estado quântico correspondente com energia - E:

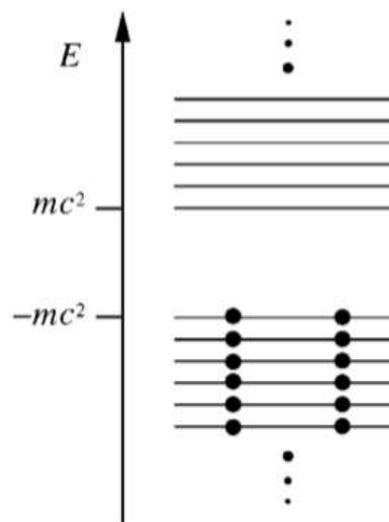
$$E_p \equiv +(p^2c^2 + m^2c^2)^{1/2} \geq mc^2 \text{ e } E_p \equiv -(p^2c^2 + m^2c^2)^{1/2} \geq mc^2. \quad (8)$$

A existência de soluções negativas para energia é uma consequência direta da natureza quadrática da relação massa e energia. A solução desse problema conceitual, desenvolvida por Dirac, ficou conhecida como a teoria dos buracos. A teoria dos buracos afirma que, para cada elétron em seu nível quântico energético positivo haveria a possibilidade da existência de níveis

energéticos negativos. Sabemos que, se o elétron for transferido de um nível energético maior para um menor, ele liberará energia na forma de fótons, o problema nessa teoria está na não conservação da energia, pois se há a possibilidade de o elétron passar para os estados de energia negativos, ele liberará cada vez mais energia. Para solucionar esse problema, Dirac supôs que cada nível negativo de energia estaria ocupado por elétrons em um “mar” de elétrons, então os elétrons que estão no nível positivo de energia não podem ser transferidos para o nível negativo, pois todos os níveis negativos já estão ocupados. O que acontece se um fóton tiver energia suficiente para interagir com um elétron que esteja ocupando o último nível negativo de energia? Esse elétron absorverá essa energia do fóton e será transferido para o nível positivo de energia e, por isso, criará um “buraco” no mar de elétrons, pois o “lugar” que ele ocupava foi desocupado. Dirac chamou esse processo de “criação de pares”.

Na figura 20, é apresentado o mar de elétrons, e o buraco criado pela partícula que pulou de nível, e agora se encontra no lado positivo dos níveis energéticos, criou um estado de partícula de carga oposta, que para Dirac representa um pósitron, representado por um “buraco” no mar de energia negativa dos elétrons.

Figura 20 – Mar de elétrons



Fonte: Martin (2008).

O processo contrário seria o elétron que está no nível positivo de energia ser transferido para o “buraco” no mar de elétrons, lado negativo de energia. A ocupação do buraco libera energia na forma de fótons; esse resultado é chamado de par aniquilação. Dirac previu a existência dos buracos no mar de energia negativa, esses buracos seriam as antipartículas que, quando em contato com as partículas, liberam energia na forma de fótons (GRIFFITHS, 2013).

As antipartículas previstas por Dirac foram verificadas experimentalmente em agosto de 1932 (GRIFFITHS, 2013). Carl Anderson realizou um registro histórico, o traço de uma partícula positiva passando através de uma câmara de Wilson, uma câmara de nuvem modificada para funcionar sob ação de um campo magnético e contém um vapor supersaturado que forma gotas criando uma espécie de rastro no caminho das partículas. Esses rastros são ocasionados pela ionização dos átomos do meio pela presença das partículas carregadas eletricamente. O campo magnético faz as partículas carregadas curvarem-se, de tal forma que, as partículas positivas curvam-se para um lado e as negativas curvam-se para o outro. Anderson colocou uma placa de chumbo na câmara de nuvens e, analisando os traços das partículas, detectou o pósitron, a quarta partícula elementar a ser descoberta. Pode-se pensar que as partículas neutras não possuem suas antipartículas associadas, já que sua carga elétrica é zero, porém, a antipartícula difere da partícula não só pela carga elétrica, mas também por outros parâmetros quânticos, como spin, número bariônico, número leptônico, dentre outros.

O múon, já descrito no tópico anterior, foi a quinta partícula elementar a ser descoberta, em 1937 (GRIFFITHS, 2013). Com massa 207 vezes maior do que o elétron, é produzido massivamente em raios cósmicos atingindo a superfície da Terra. Acreditou-se que o múon era a partícula mediadora da interação forte, proposta por Yukawa em 1935. O tau forma a terceira geração de partículas dos léptons, em 1975, descoberto a partir do processo de aniquilação elétron-pósitron, cuja massa é quase duas vezes maior que a do próton (GRIFFITHS, 2013).

A hipótese da existência dos neutrinos foi postulada por Pauli a partir do problema identificado no estudo do decaimento β , em 1930 (NAMBU, 1985). Um núcleo radioativo A é transformado em outro núcleo mais leve B , emitindo um elétron: $A \rightarrow B + e^-$. A interação fundamental associada é o decaimento de nêutrons: $n \rightarrow p + e^- + \nu$. Os antineutrinos do elétron são liberados nesse processo e, por conservação do número leptônico, eles não foram detectados experimentalmente, mas foram postulados devido a conservação de energia e momentum angular. Até 1950 existia evidência teórica para existência dos neutrinos, mas nenhuma verificação experimental, muitos argumentaram que o neutrino foi proposto apenas para resgatar as leis de conservação, mas sua existência era improvável (MARTIN, 2008). A dificuldade na detecção do neutrino é devido a sua fraca interação com a matéria, o neutrino não carrega cor, e, portanto, não participa da interação forte; o neutrino não possui carga elétrica, e por isso, não participa da interação eletromagnética. Porém, utilizando o decaimento beta inverso, experimento conduzido pelo reator nuclear Savannah River na Carolina do Sul, foi possível a detecção dos antineutrinos. A distinção entre neutrino e antineutrino foi testada experimentalmente; se o neutrino não possui carga elétrica, o antineutrino seria exatamente

igual ao neutrino, então a reação $\nu + n \rightarrow p^+ + e^-$ deveria ocorrer na mesma taxa da análoga com antineutrinos $\bar{\nu} + n \rightarrow p^+ + e^-$, o resultado do experimento revelou que, na verdade, o processo acima com antineutrinos não ocorre na natureza. Desse modo, neutrinos e antineutrinos são diferentes, e por isso, deveria existir algum outro número quântico, além da carga elétrica, que pudesse distinguir partícula de antipartícula. Dessa forma, em 1953, introduz-se o número leptônico: $L = +1$ para os elétrons, múons, taus e neutrinos; $L = -1$ para o pósitron, anti-múon, anti-tau e antineutrino. Em qualquer processo físico, o número leptônico deve ser conservado e, na reação $\nu + n \rightarrow p^+ + e^-$ temos do lado esquerdo $L = +1$ do neutrino e do lado direito $L = +1$ do elétron, conservando o número leptônico; entretanto, na reação $\bar{\nu} + n \rightarrow p^+ + e^-$ do lado esquerdo $L = -1$ e do lado direito $L = +1$, não conservando o número leptônico, justificando o porquê desse decaimento não ter sido identificado experimentalmente.

A família de léptons é constituída de 6 partículas: elétron, múon, tau, neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau e as suas correspondentes antipartículas, como ilustrado no quadro 2:

Quadro 2 – Família de léptons do modelo padrão de partículas

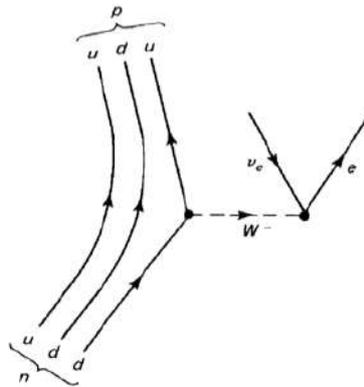
LÉPTON	SÍMBOLO	CARGA ELÉTRICA	Nº LEPTÔNICO L_e	Nº LEPTÔNICO L_μ	Nº LEPTÔNICO L_τ
ELÉTRON	e	-1	+1	0	0
MÚON	μ	-1	0	+1	0
TAU	τ	-1	0	0	+1
NEUTRINO DO ELÉTRON	ν_e	0	+1	0	0
NEUTRINO DO MÚON	ν_μ	0	0	+1	0
NEUTRINO DO TAU	ν_τ	0	0	0	+1

Fonte: Elaborado pela autora.

A interação eletromagnética é descrita pela QED, a interação forte pela QCD, já a teoria da interação fraca, foi primeiro apresentada por Fermi em 1933, aperfeiçoada por Lee, Yang, Feynman e Gell-Mann e sua formulação final dada por Weiberg-Salam; a teoria da interação

fraca ficou conhecida como teoria WS (NAMBU, 1985). As partículas mediadoras, o *quantum* da interação fraca, são chamadas de bósons W^\pm e Z^0 , e o decaimento beta $d + \nu_e \rightarrow u + e$, apresentado para explicar a hipótese do neutrino, pode ser descrito de uma maneira mais fundamental utilizando os bósons W^\pm . Para o nêutron, que possui dois quarks down com carga de $-\frac{1}{3}$ e um quark up com carga $\frac{2}{3}$, se transformar em um próton, um de seus dois quarks down deve se transformar em um quark up. Para que um quark down de carga $-\frac{1}{3}e$ se transforme em um quark up com carga $\frac{2}{3}e$, deverá ser emitido uma partícula cuja carga seja de $-1e$, pois $-\frac{1}{3}e + 1e = \frac{2}{3}e$, e dessa forma ele perde $-1e$ de carga elétrica, resultando em uma carga $\frac{2}{3}e$. A figura 21 apresenta o decaimento beta, em que o quark down emite o bóson W^- , via interação fraca.

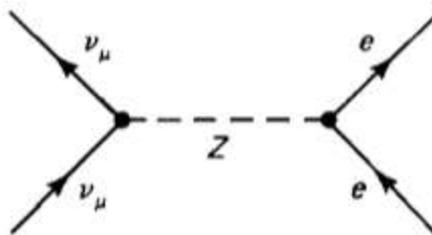
Figura 21 – Decaimento beta via troca de bóson W^-



Fonte: Griffiths (2013).

O decaimento do múon é descrito na interação fraca pela troca do bóson W^- , e o bóson Z^0 é mediado quando não há mudança na carga elétrica das partículas, ou seja, quando há o espalhamento e não decaimento. Na figura 22, é apresentado o diagrama de Feynman que descreve o espalhamento neutrino-elétron $\nu_e + e^- \Rightarrow \nu_e + e^-$:

Figura 22 – Espalhamento neutrino-elétron



Fonte: Griffiths (2013).

Em 1983, o experimento de aniquilação próton e antipróton, levaram a confirmação dos bósons W^\pm e Z^0 , com massas de $81 \frac{GeV}{c^2}$ e incerteza de $\pm 5 GeV$ para os bósons W^\pm e massa igual à $91 \frac{GeV}{c^2}$ para o Z^0 .

4 METODOLOGIA

Neste capítulo descrevemos a qualificação da pesquisa, o ambiente da pesquisa, os elementos de composição da pesquisa e os procedimentos metodológicos das atividades pedagógicas, que se organizaram em uma sequência de ensino para desenvolver o conteúdo de Física de Partículas. Dessa forma, o percurso metodológico seguido teve como objetivo aplicar e relatar uma sequência de ensino de Física de Partículas inserida no conteúdo de ondulatória utilizando o SCALE-UP em atividades híbridas.

4.1 Procedimentos metodológicos

Todo ensino deve ser executado por alguma técnica ou conjunto de técnicas e, por trás de toda instrução é indispensável o uso de uma proposta metodológica. Para Zabala (1998), a proposta metodológica deve possuir outras competências. Além dos conteúdos conceituais, deve existir valor atribuído ao ensino, deve-se fazer uso das competências procedimentais e as atitudinais. Zabala (1998) destaca que é importante para a formação humana o saber, o saber fazer e o ser.

Nesse contexto, a sequência didática, elemento do percurso metodológico, é uma ferramenta importante que tem como objetivo trabalhar os conteúdos de forma contextualizada. Na metodologia desta proposta, especialmente, espera-se que o aluno adquira um papel mais ativo, que participa, interage e seja o principal agente responsável na busca do seu próprio conhecimento.

Quanto à natureza, a pesquisa é aplicada, pois busca aplicar os conhecimentos a problemas específicos. O conceito de pesquisa para Gil (2018) mostra que:

Pode-se definir pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo fornecer respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema (GIL, 2018 p. 1).

Gil (2018), nesse sentido, define pesquisa aplicada como aquela voltada à aquisição de conhecimentos para aplicação em uma situação específica. Dessa forma, a presente pesquisa busca inserir a Física de Partículas no conteúdo de ondulatória utilizando a sala de aula invertida e o método do SCALE-UP.

Considerando que na técnica SCALE-UP há um vínculo entre professor e aluno de forma que o conhecimento é um processo construído pelas interações entre os sujeitos (ANDRÉ, 2013), há uma relação inerente entre o mundo objetivo e a objetividade do sujeito (SILVA e MENEZES, 2001). Diante disto, a análise trabalhada tem cunho qualitativo, caracterizada pelo fato do ambiente estudado ser a fonte direta de dados e informações com objetivo compreender os processos de aprendizagem por meio da interação entre os estudantes e o professor, levando em consideração as transformações que esse processo sofreu ao longo da aplicação. Como afirma BOGDAN e BIKLEN:

Para todos os efeitos, o investigador faz interpretações, devendo possuir um esquema conceptual para as fazer. Os investigadores qualitativos pensam que o fato de abordarem as pessoas com o fito de compreenderem o seu ponto de vista ainda que não constitua algo de perfeito é o que menos distorce a experiência dos sujeitos (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 54).

Para BOGDAN e BIKLEN (1994) a observação tem um papel fundamental na pesquisa, como: a formulação do problema, construção de hipóteses, coleta, análise e a interpretação de dados. Para Chizzotti (2010) a pesquisa qualitativa caracteriza-se pelo fato do ambiente ser a fonte direta de dados e informações de forma a ser atribuído significado aos fenômenos observados:

A abordagem qualitativa parte do fundamento de que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, uma interdependência viva entre o sujeito e o objeto, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito. O conhecimento não se reduz a um rol de dados isolados, conectados por uma teoria explicativa; o sujeito-observador é parte integrante do processo de conhecimento e interpreta os fenômenos atribuindo-lhes um significado. O objeto não é um dado inerte e neutro; está possuído de significados e relações que sujeitos concretos criam em suas ações (CHIZZOTTI, 2010, p. 79).

Como Chizzotti (2010) afirma, o observador é sujeito do processo e, também, gera resultados. Assim, a técnica executada foi a observação participante, em que o professor atua diretamente com o objeto de estudo e por isso, a interferência foi inevitável. No mestrado profissional o pesquisador deve conectar toda base teórica desenvolvida com a sua prática profissional; com objetivo de produzir conhecimento e sugestões a outros profissionais da área. A respeito disso, Almeida, Fernandes e Francesconi (2018), concluem:

Podemos, então, dizer que a metodologia utilizada em cursos profissionais é uma ferramenta que parte do relato da experiência do pesquisador e a identificação do problema/oportunidade. Em seguida, ele estuda as teorias e práticas que possam contribuir para solucionar a sua questão prática. Quando o pesquisador alcança uma

maturidade teórica a respeito de sua pesquisa, ele pode ir a campo para completá-la, empregando outros métodos e instrumentos para estudar a solução (Almeida, Fernandes e Francesconi 2018, p. 21).

Isso sugere que o relato de experiência tem papel relevante em contribuir com a construção do conhecimento na área de atuação do pesquisador.

4.2 Delineamento da pesquisa e a construção da sequência de ensino

A investigação iniciou-se com a escolha do tema de pesquisa: Física de Partículas; da técnica de ensino a ser utilizada: o SCALE-UP; também a caracterização do objeto de estudo: alunos da 2ª série do ensino médio.

A escolha do tema: Física de Partículas, teve como motivação o decaimento radioativo e a aplicação da antimatéria na medicina; conceitos que podem ser desenvolvidos no conteúdo programático de ondulatória. O SCALE-UP possui uma sequência de aplicação que divide a sala de aula em três momentos:

- 1) Atividades tangíveis: os alunos realizam uma atividade de simulação computacional ou atividade experimental simples para verificação do fenômeno. Exemplo: determinar a espessura de uma folha do caderno do aluno e utilizar o resultado para determinar o diâmetro de um ponto final ao final de uma frase no livro (BEICHNER *et al.*, 2007, p. 14).
- 2) Atividades ponderáveis: correspondem a problemas que os alunos devem solucionar e discutir entre si. As soluções podem ser compartilhadas para toda a turma. Exemplo: Quão longe uma bola de boliche percorre a pista antes de parar de deslizar e apenas rolar? Quantos passos são necessários para cruzar o Brasil? (BEICHNER *et al.*, 2007, p. 15). Os problemas envolvem os assuntos estudados em casa previamente e as atividades tangíveis já realizadas no primeiro momento da aula.
- 3) Discussões e momentos de fechamento: essa etapa da aula é o momento de formalização e fechamento do conteúdo visto em sala, ocorrendo uma integração dos experimentos e problemas.

O planejamento de cada encontro foi desenvolvido seguindo as três etapas acima e, como suporte à nossa sequência de ensino, utilizaremos as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), exclusivamente empregando recursos de simulação computacional apoiados à plataforma digital *moodle*.

As simulações computacionais são recursos importantes que buscam facilitar a observação do fenômeno em questão, possibilitando ao aluno modificar as condições iniciais do experimento para análise e investigação. Utilizaremos o PhET do inglês *Physics Educational Technology*: Simulações Interativas da Universidade do Colorado em Boulder; projeto criado em 2002 por Carl Wieman, com acesso aos simuladores de forma gratuita que podem ser executados no navegador no modo online, através de aparelhos celulares, tablets ou computadores; também é possível o acesso no modo offline.

O *moodle*, do inglês *Modular Object Oriented Distance Learning*, é uma plataforma online desenvolvida na Austrália, em 1999, com o objetivo de conduzir disciplinas de cursos à distância, oferecendo o acompanhamento necessário pelos professores aos alunos. O *moodle* pode ser utilizado para modalidade de ensino à distância, e, também, desempenhar suporte ao ensino presencial ou híbrido. A plataforma possibilita a criação de um espaço virtual de interação e colaboração, facilitando a distribuição do conteúdo pelo professor, a realização de avaliações online, de questionários e atividades diversas, permitindo, também, a atribuição de notas e relatórios de atividades.

A sequência de ensino, nos três primeiros encontros, utiliza simuladores computacionais do PHET colorado: a geração de ondas eletromagnéticas; o efeito fotoelétrico e o decaimento nuclear. Os alunos investigaram a natureza desses fenômenos apoiados no simulador. Após a utilização dos simuladores no primeiro momento da aula, a sequência segue com discussões sobre os temas e desenvolvimento de problemas conceituais. No quarto e último encontro, foi realizada uma atividade experimental da construção de um detector de partículas - a câmara de Wilson ou câmara de nuvens, seguido de discussão sobre os raios cósmicos. Os simuladores computacionais e experimentos foram operados e desenvolvidos por cada equipe, contribuindo para interação e discussão, pois, à luz da metodologia utilizada, os alunos devem participar de forma ativa em cada atividade executada. O quadro 3 apresenta o escopo geral da sequência de ensino a ser aplicada:

Quadro 3 – Quadro sintético dos momentos da SD

ENCONTROS	MOMENTOS
<p style="text-align: center;">1º ENCONTRO DURAÇÃO 250 MINUTOS</p>	<p>1º momento - Atividade investigativa de simulação computacional: laboratório de Faraday.</p> <p>Duração: 60 minutos.</p>
	<p>2º momento – Apresentação dos resultados da investigação do 1º momento com as rotações entre equipes.</p>

	<p>Duração: 20 minutos.</p> <p>3º momento - Atividade experimental investigativa: determinar a espessura de um fio de cabelo e o tamanho das ranhuras de um CD.</p> <p>Duração: 100 minutos.</p> <p>4º momento - Debate sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● A geração das ondas eletromagnéticas; ● Características das ondas eletromagnéticas; ● Fenômenos ondulatórios: difração e interferência. <p>Duração: 70 minutos.</p>
<p>2º ENCONTRO DURAÇÃO 150 MINUTOS</p>	<p>1º momento - Atividade investigativa de simulação computacional: efeito fotoelétrico.</p> <p>Duração: 60 minutos.</p> <p>2º momento - Apresentação dos resultados da investigação do 1º momento com as rotações entre equipes.</p> <p>Duração: 20 minutos.</p> <p>3º momento - Discussão sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Efeito fotoelétrico; ● Efeito Compton; ● A dualidade onda partícula. <p>Duração: 35 minutos.</p> <p>4º momento - Discussão sobre partículas elementares: o zoológico das partículas; A interação forte e a classificação das partículas e o modelo padrão.</p> <p>Duração: 35 minutos.</p>
<p>3º ENCONTRO DURAÇÃO 250 MINUTOS</p>	<p>1º momento - Atividade investigativa de simulação computacional: fissão nuclear e o decaimento radioativo.</p> <p>Duração: 60 minutos.</p> <p>2º momento - Apresentação dos resultados da investigação do 1º momento com as rotações entre equipes.</p> <p>Duração: 20 minutos.</p> <p>2º momento - Discussão sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● A bomba nuclear; ● A interação fraca; ● A antimatéria. <p>Duração: 70 minutos.</p> <p>3º momento - Momento de pesquisa: aplicações das partículas na medicina.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Aparelho de raios-X;

	<ul style="list-style-type: none"> ● Tomografia por emissão de pósitron – PET scan; ● Radioterapia; ● Protonterapia. <p>Duração: 100 minutos.</p>
4º ENCONTRO DURAÇÃO 200 MINUTOS	<p>1º momento - Discussão sobre os raios cósmicos.</p> <p>Duração 50 minutos.</p>
	<p>2º momento - Pesquisa sobre o experimento da câmara de nuvens.</p> <p>Duração: 30 minutos.</p>
	<p>2º momento - Atividade experimental: montagem de uma câmara de Wilson e detecção de partículas.</p> <p>Duração: 90 minutos.</p>
	<p>3º momento – Discussão sobre a obtenção de dados.</p> <p>Duração: 30 minutos.</p>

Fonte: Autoria própria.

O produto está inteiramente disponível no apêndice A para análise e na subseção correspondente haverá uma discussão sobre os questionários pré-aula como uma ferramenta de levantamentos de dados e identificação de fragilidades, sendo esse um procedimento comum ao SCALE-UP.

4.3 Campo e sujeitos da pesquisa

A sequência de ensino foi aplicada em uma turma da 2ª série do ensino médio de uma instituição de ensino privada Sistema de Ensino Top, localizada na cidade de João Pessoa na Paraíba, com duração de quatro encontros: dois encontros com quatro aulas e dois encontros com cinco aulas, totalizando dezoito aulas de 50 minutos cada. Nessa instituição, o ano letivo é dividido em três trimestres, em que cada mês corresponde a um eixo; cada eixo desenvolve aulas com as disciplinas em comum, totalizando três eixos.

O eixo ciências da natureza e suas tecnologias possui aulas de química, biologia e física; o eixo ciências humanas e sociais aplicadas corresponde às disciplinas de filosofia, sociologia, história e geografia; o último eixo é o de linguagens e matemática e suas tecnologias com aulas de geometria, álgebra, gramática, literatura e redação. O método dos eixos é aplicado a três turmas do ensino médio, a 1ª série e duas 2ª séries, de forma que para a terceira série todos os eixos são simultâneos. A turma da 2ª série A, a qual foi executada o presente trabalho, com 20

alunos, tem em um ano, ao todo, três meses com o eixo de natureza, respeitando a quantidade de aulas necessárias para a duração mínima do trabalho escolar tratada na LEI Nº 13.415, DE 16 DE FEVEREIRO DE 2017. Por consequência de o eixo ter apenas aulas de física, química e biologia, a carga horária é preenchida com as três disciplinas ao longo da semana de forma que física possui 9 aulas semanais, 4 aulas nas terças-feiras e 5 aulas nas quintas-feiras.

A configuração da sala de aula é um importante aliado na técnica SCALE-UP, pois propõe facilitar a comunicação entre os estudantes e o professor, na figura 23 é apresentado esse arranjo com carteiras individuais substituídas por mesas circulares que acomodam os alunos, criando um espaço de equipes, de forma que cada mesa comporta 5 estudantes. Como a sequência de ensino foi aplicada no ensino híbrido, dos 20 alunos da turma da 2ª série, certa quantidade esteve no remoto, enquanto o resto da turma no formato presencial.

Figura 23 – Sala de aula disposta de mesas circulares



Fonte: Autoria própria.

O ensino híbrido desenvolve-se há muitos anos, aceleradamente. Porém, foi durante a pandemia do novo coronavírus, que as escolas foram impostas a dominar esse conceito, visto que o impacto da pandemia na educação provocou o caráter de urgência da implementação da tecnologia na escola. Em consequência da situação pandêmica, muitos professores tiveram que se adaptar à nova realidade educacional: o ensino à distância. Assim, as aulas foram repensadas para se adequar ao ambiente virtual e os professores passaram a utilizar ferramentas digitais como aliados às suas aulas (PASINI; CARVALHO; ALMEIDA, 2020). Mesmo os professores que nunca utilizaram tecnologias em sala foram impelidos a aprendê-las e aplicá-las em aula. De acordo com Moran (2018), o ensino híbrido proporciona a ressignificação da educação, pois permite que o aluno possa ter aulas online e presenciais:

No entanto, muitos professores ainda veem a tecnologia em sala de aula como mais uma ferramenta de ensino onde por muitas vezes, aplicam a mesma metodologia

tradicional de ensino o que pode significar um retrocesso diante dos avanços tecnológicos no qual vivemos. (CORDEIRO, 2020. p. 4)

O ensino híbrido não está limitado somente a cursos que possuem aulas online, mas também cursos que utilizam as tecnologias digitais para proporcionar atividades que facilitam a aprendizagem (PASINI; CARVALHO; ALMEIDA, 2020). Com a pandemia do novo coronavírus, a situação de ensino no decorrer desta pesquisa é o híbrido, onde parte da turma se encontra em casa, no formato remoto, e a outra parte se encontra em sala de aula presencial. No sistema de ensino a qual essa pesquisa foi aplicada, não houve impacto significativo com a implementação do ensino híbrido, uma vez que já se utilizava muitos recursos dessa metodologia. Logo, o ensino híbrido não constitui somente a aula ter dois formatos: presencial e remoto; mas também no fato da utilização da plataforma virtual do *moodle* para compartilhar materiais e vídeos para os alunos acessarem remotamente.

Dessa forma, o ensino híbrido é utilizado nas instituições de ensino para contemplar os alunos que possuem alguma comorbidade e, por isso, não podem estar presentes na sala de aula física, optando por assistir a aula remota. Na aplicação da sequência de ensino, as atividades em sala de aula foram adequadas aos alunos que optaram pelo remoto, essas adaptações estão apresentadas no apêndice A.

4.4 Coleta de dados

Cada atividade realizada em sala teve como objetivo gerar uma discussão entre os participantes e essas informações foram coletadas em cada mesa por captação de áudio, autorizado pelos estudantes, que auxiliou na produção do relato de experiência. Questionários foram aplicados após o acesso aos materiais na plataforma *moodle*, ainda em casa, de forma remota com o objetivo de verificar se os alunos se prepararam previamente para a aula. As perguntas seguiram o que foi abordado no vídeo e no texto de apoio, de tal forma que o objetivo não é a realização de um teste tradicional avaliativo, e sim, a verificação da adaptação da proposta. A professora teve acesso às respostas dos alunos e os dados coletados serviram como base para compreensão da dinâmica da turma, bem como se os alunos conseguiram adaptar-se à metodologia proposta. Todos os meios foram utilizados para o relato de experiência. Desta forma, é apresentado no quadro 4 os procedimentos de coleta de dados:

Quadro 4 – Procedimentos de coleta de dados

Procedimentos de coleta de dados	Justificativa
Captação de áudio.	Para compreender as discussões entre os integrantes da equipe em cada atividade realizada em sala.
Questionários antes da aula.	Verificação da adaptação à metodologia proposta.

Fonte: Autoria própria.

A captação de áudio deu-se de forma presencial, enquanto os questionários foram realizados de forma online pela plataforma *moodle*, plataforma oficial utilizada pela instituição a qual essa sequência de ensino foi aplicada.

4.4.1 Questionários pré-aula

Para guiar a discussão em sala, o(a) professor(a) pode se embasar no relatório dos questionários executados pelos alunos previamente. Os questionários são ferramenta comum ao SCALE-UP e instrumentos de pesquisa constituídos por perguntas sobre um determinado tema (SILVA; MENEZES, 2001, p. 33); têm um papel importante para o(a) professor(a), pois permite identificar quais alunos estudaram o material previamente e responderam às perguntas disponibilizadas na plataforma; desse modo, o(a) professor(a) desenvolve, em sala de aula, miniaulas expositivas para fortalecer os conteúdos que ficaram fragilizados, consistindo um momento de passividade dos estudantes focado no entendimento mais estruturado do professor. Abaixo apresentamos os questionários que os alunos responderam, pela plataforma online do *moodle*, após cada material estudado, de forma remota e antes do encontro presencial. O questionário pôde ser executado apenas uma vez por aluno, pois refazê-lo poderia ocasionar fragilidade aos dados adquiridos.

4.4.2 1º Encontro

No primeiro encontro, após a atividade de simulação do PhET colorado: laboratório de Faraday; e a atividade experimental: determinar a espessura do fio de cabelo utilizando um laser, classificados por Beichner *et al.* (2008) por atividades tangíveis, foi discutido sobre conteúdo de eletromagnetismo como motivação para introdução das ondas eletromagnéticas, e então, sobre a natureza das ondas, foram discutidos os fenômenos ondulatórios.

- **Questionário sobre corrente elétrica e diferença de potencial:**

O material proposto para o primeiro encontro, exhibe a natureza da eletricidade explicando o que é carga elétrica, corrente elétrica e mostrando as situações em que há diferença de potencial, também demonstra como a corrente elétrica é gerada devido às variações do campo elétrico e magnético. O questionário é apresentado no quadro 5:

Quadro 5 – Questionário sobre corrente elétrica e diferença de potencial

Pergunta 1	O que é um átomo?
Pergunta 2	Em qual situação um átomo fica neutro?
Pergunta 3	O que são os elétrons livres?
Pergunta 4	O que é uma diferença de potencial?
Pergunta 5	O que acontece com os elétrons quando há uma diferença de potencial?
Pergunta 6	O que é uma corrente elétrica?
Pergunta 7	O que é uma corrente elétrica alternada? Como ela é produzida?
Pergunta 8	O que acontece quando aproximamos e afastamos um ímã de um fio de cobre?

Fonte: Autoria própria.

- **Questionários sobre as ondas eletromagnéticas, sua natureza, fenômenos e aplicações:**

O material para o segundo momento do primeiro encontro introduz as equações de Maxwell e a importância da sua contribuição para o eletromagnetismo, com a unificação da óptica aos fenômenos elétricos e magnéticos. Também é discutido como Maxwell consegue concluir que a luz é uma manifestação de campos elétricos e campos magnéticos oscilantes no tempo, bem como o conceito de onda; em seguida faz a classificação das ondas com relação à sua natureza e direção de propagação; elucida as características das ondas definindo comprimento de onda, velocidade da onda, frequência e período; e por fim, aborda os fenômenos ondulatórios. Também discute sobre os tipos de radiação: eletromagnética e nuclear, indicando suas diferenças, bem como onde são aplicadas - em um arco-íris ou em um exame de Raio-x, por exemplo. Os questionários encontram-se nos quadros 6 e 7:

Quadro 6 – Questionário texto sobre as ondas eletromagnéticas

Pergunta 1	Qual foi a contribuição de Maxwell para o eletromagnetismo?
Pergunta 2	O que são ondas eletromagnéticas?
Pergunta 3	Qual evidência experimental sustentou a teoria de Maxwell?
Pergunta 4	Como Newton, usando o modelo corpuscular da luz, explicou os fenômenos da reflexão e refração? É possível explicar a difração e a interferência utilizando esse modelo?

Pergunta 5	Como Huygens, usando o modelo ondulatório da luz, explicou os fenômenos da reflexão e refração?
Pergunta 6	O que foi o experimento de Young?
Pergunta 7	Qual foi a influência do experimento de Young no século XIX para o conceito da luz?
Pergunta 8	Como funciona o sistema no qual transmitimos as ondas de rádio?

Fonte: Autoria própria.

Quadro 7 – Questionário sobre os fenômenos ondulatórios

PERGUNTAS	ALTERNATIVAS
O que são ondas?	a) Ondas são perturbações que se propagam de um lugar para outro através de um meio ou até mesmo no vácuo, transportando matéria.
	b) Ondas são perturbações que se propagam de um lugar para outro através de um meio ou até mesmo no vácuo, transportando energia.
	c) São perturbações que sempre necessitam de um meio para se propagar, por exemplo as ondas do mar.
Quanto à natureza, as ondas podem ser classificadas em:	a) Mecânicas e longitudinais.
	b) Eletromagnéticas e transversais.
	c) Mecânicas e eletromagnéticas.
	d) Eletromagnéticas e longitudinais.
Frequência de onda: representada pela letra (f), no sistema internacional a frequência é medida em hertz (Hz) e corresponde ao número de oscilações da onda em determinado intervalo de tempo. A frequência de uma onda não depende do meio de propagação, apenas da frequência da fonte que produziu a onda.	a) Verdadeiro
	b) Falso
Comprimento de onda é a distância entre valores repetidos sucessivos num padrão de onda. É usualmente representado pela letra grega lambda (λ). Em uma onda senoidal, o comprimento de onda “é a distância (paralela à direção de propagação da onda) entre repetições da forma de onda.	a) Verdadeiro
	b) Falso

Quanto à direção de propagação:	a) As ondas podem ser eletromagnéticas e mecânicas: eletromagnéticas são ondas que não necessitam de um meio para se propagar, e as mecânicas necessitam de meio de propagação.
	b) As ondas podem ser transversais e longitudinais. transversais: aquelas em que a direção de propagação da onda é perpendicular a direção de vibração. Ondas longitudinais: aquelas em que a direção de propagação da onda coincide (é paralela) a direção de vibração.
	c) As ondas podem ser transversais e longitudinais. As ondas longitudinais são aquelas em que a direção de propagação da onda é perpendicular a direção de vibração. d) As ondas transversais são aquelas que a direção de propagação da onda coincide (é paralela) a direção de vibração.
Todo sistema físico possui uma frequência própria, uma frequência natural de movimento devido às suas moléculas e vibra de acordo com esta. Existe a possibilidade de um sistema físico ser excitado (ganhar energia) por um agente externo através de vibrações de frequência igual a uma de suas frequências naturais. Dizemos que um sistema físico está em -----, quando esta passa a vibrar devido a influência de um agente externo, que vibra em uma de suas vibrações naturais.	a) Refração
	b) Ressonância
	c) Polarização
	d) Difração
Amplitude da onda: corresponde à frequência da onda, marcada pela distância entre o ponto de equilíbrio (repouso) da onda até a crista. Note que a “crista” indica o ponto máximo da onda, enquanto o "vale" representa o ponto mínimo.	a) Verdadeiro
	b) Falso
O fenômeno da ----- ocorrerá quando as dimensões do obstáculo ou fenda forem da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda, essa onda irá contornar os obstáculos. Assim, a onda irá sofrer maior espalhamento. O som sofre esse fenômeno facilmente, é por isso que podemos ouvir pessoas falando mesmo com as portas fechadas. A luz também sofre esse fenômeno, mas não com os mesmos obstáculos que o som e sim, obstáculos muito menores, da ordem de grandeza do comprimento de onda da luz, como por exemplo, as ranhuras dos CDs e DVDs.	a) Polarização
	b) Ressonância
	c) Reflexão
	d) Interferência
	e) Difração

4.4.3 2º Encontro

No segundo encontro foi discutido sobre a natureza dual da luz, investigando o efeito fotoelétrico e o efeito Compton como motivação para introdução do conceito de fóton. Em seguida, foi abordado sobre a dualidade onda partícula proposta por de Broglie e definido o que são partículas, suas escalas de tamanho e as interações fundamentais que regem o comportamento dessas partículas. Os questionários são apresentados nos quadros 8 e 9:

Quadro 8 – Questionário sobre a natureza da luz e suas propriedades

Pergunta 1	Qual a diferença entre onda e partícula?
Pergunta 2	A luz é onda ou partícula?
Pergunta 3	Cite partículas que você conhece.
Pergunta 4	O que é o efeito fotoelétrico?
Pergunta 5	Cite duas consequências importantes para o efeito fotoelétrico.
Pergunta 6	O que é um fóton?
Pergunta 7	O que são ondas de matéria?
Pergunta 8	Por que não vemos objetos macroscópicos se propagando como ondas?
Pergunta 9	Quais as condições necessárias para que o elétron se comporte como onda?

Fonte: Autoria própria.

Quadro 9 – Questionário sobre introdução às partículas e o modelo padrão

Pergunta 1	O que nós encontramos se dividíssemos um copo ao meio, a metade do meio na metade, e assim sucessivamente dividindo os pedaços restantes pela metade?
Pergunta 2	O átomo é a menor quantidade de matéria? Explique.
Pergunta 3	Tente descrever o que é uma partícula elementar.
Pergunta 4	Qual foi a primeira partícula elementar descoberta?
Pergunta 5	Prótons e nêutrons são as partículas fundamentais?
Pergunta 6	Se os prótons e nêutrons se encontram no núcleo atômico, por que os prótons não se repelem? O que os mantém juntos?
Pergunta 7	Quais partículas podemos combinar para constituir um átomo?
Pergunta 8	O que é o modelo padrão? Quais são as forças e partículas descritas por ele?

Pergunta 9	Quais são os mistérios, ainda não solucionados, da Física de Partículas?
------------	--

Fonte: Autoria própria.

4.4.4 3º Encontro

No terceiro encontro foi abordado o conceito da instabilidade nuclear: fissão e fusão; discutido a geração de energia a partir do decaimento atômico; o decaimento nuclear é associado à interação fraca e como seu comportamento pode ser explicado a nível fundamental; introduzido o conceito de antimatéria e discutido as suas características, dificuldade na produção e na detecção.

- **Questionário sobre a antimatéria e suas propriedades**

O material sobre a antimatéria introduz o pósitron como partícula elementar, a primeira antipartícula a ser descoberta; apresenta as características das antipartículas e suas diferenças com as partículas; expõe a dificuldade na sua criação em laboratório e justifica o porquê é o material mais caro produzido no mundo.

Quadro 10 – Questionário sobre a antimatéria e suas propriedades

Pergunta 1	O que são as antipartículas?
Pergunta 2	Como detectar antipartículas? e qual foi a primeira a ser detectada?
Pergunta 3	No decaimento beta vimos a produção do antineutrino? Como é possível sua existência se o neutrino não possui carga elétrica?
Pergunta 4	O que é a assimetria matéria e antimatéria?
Pergunta 5	É possível armazenar antimatéria?
Pergunta 6	A antimatéria segue as mesmas regras da matéria?
Pergunta 7	Onde é possível criar antimatéria?
Pergunta 8	Quais são as aplicações da antimatéria na tecnologia?
Pergunta 9	Por que utilizar um desacelerador de antipartículas ao invés de usar um acelerador?
Pergunta 10	O que acontece quando a matéria encontra sua antimatéria?

Fonte: Autoria própria.

4.4.5 4º Encontro

No quarto encontro foi discutido sobre a radiação cósmica, desde sua definição até sua detecção.

- **Questionário sobre a radiação cósmica.**

O material sobre a radiação cósmica apresenta a origem dessas partículas, demonstrando em que lugar no universo essa radiação pode ter sido criada; expõe os perigos dessa radiação para as telecomunicações e para os astronautas; e qual sua importância no entendimento da estrutura do universo.

Quadro 11 – Questionário sobre a radiação cósmica

Pergunta 1	O que sabemos sobre o universo além da nossa galáxia?
Pergunta 2	O que são os raios cósmicos?
Pergunta 3	Os raios cósmicos influenciam nossa vida? Até que ponto estamos seguros?
Pergunta 4	Os raios cósmicos carregam energia? Se sim, podemos inferir algo sobre sua natureza e de onde eles são gerados a partir dessa energia?
Pergunta 5	Quais são as hipóteses sobre a produção dos raios cósmicos?

Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo será apresentado o relato de experiência da aplicação da proposta de ensino que transcorreu entre os dias 04 de novembro a 16 de novembro de 2021, na instituição de ensino privada Sistema de Ensino Top em uma turma da segunda série do ensino médio com 20 alunos, ao longo de 4 encontros com total de 17 aulas de 50 minutos cada. Durante os encontros, a turma foi dividida em 4 grupos que se posicionaram em mesas circulares e, em cada mesa, foi disposto um microfone para realizar a captação de áudio. Para cada mesa obteve-se 900 minutos de áudio, totalizando 3600 minutos totais de áudio da sequência de ensino.

Além das atividades realizadas em sala de aula, para cada encontro havia questionários que os alunos responderam, após terem acesso às vídeo aulas e materiais propostos na plataforma digital, antes das aulas presenciais. Os questionários tinham como função fornecer dados de erros e acertos de cada aluno, para que a professora, a partir dos resultados obtidos, pudesse realizar uma discussão mais direcionada. A porcentagem de participação dos questionários estará detalhada no final dos resultados.

No primeiro encontro, a aula é separada em momentos: o primeiro momento reservado para o uso da simulação computacional PHET colorado com discussão em grupo sobre o fenômeno investigado no simulador; no segundo momento os grupos sofrem uma rotação com integrantes dos outros grupos para realizar um debate conectando a atividade de simulação com os materiais estudados em casa e os questionários, além de responder os problemas propostos pela professora; no terceiro momento é executada uma atividade experimental; por fim, no quarto e último momento é realizada uma discussão geral de fechamento relacionando a atividade de simulação e o experimento em sala com os conteúdos estudados em casa sobre as ondas. A técnica é flexível e pode sofrer alterações na ordem desses momentos, por isso, cada encontro teve sua particularidade e alguns foram divididos em apenas dois momentos, enquanto outros foram divididos em quatro momentos como detalhado acima. Com isso, relatamos cada um dos encontros em que a técnica SCALE-UP foi aplicada, bem como uma breve apresentação dos resultados coletados.

1º encontro:

Tema: A luz como onda eletromagnética e fenômenos ondulatórios.

Duração: 5 aulas de 50 minutos cada.

Objetivo: Apresentar o conceito de onda eletromagnética como oscilação de campos elétricos e magnéticos e discutir os fenômenos ondulatórios de interferência e difração.

1º momento - Atividade investigativa de simulação computacional: laboratório de Faraday (60 minutos):

No primeiro encontro, foi explicado como transcorreria a aula e o funcionamento do método SCALE-UP em termos da configuração dos grupos em sala; em seguida, a professora pediu que os alunos definissem seus grupos. A proposta SCALE-UP busca melhorar a interação entre os estudantes, por isso, nesse momento, a professora não interfere na escolha dos grupos para evitar qualquer desentendimento entre os alunos. Em seguida, foi iniciada uma investigação utilizando o simulador computacional PHET colorado – laboratório de Faraday, com o propósito de identificar as características do fenômeno apresentado e, então, descrevê-las, em sala de aula; para isso, alguns alunos utilizaram seus computadores pessoais, mesmo que dispensável, uma vez que o simulador utilizado na proposta pode ser acessado apenas pelo smartphone. Na imagem 24 é apresentada a configuração em sala de aula:

Figura 24 – Arranjo da sala de aula no SCALE-UP



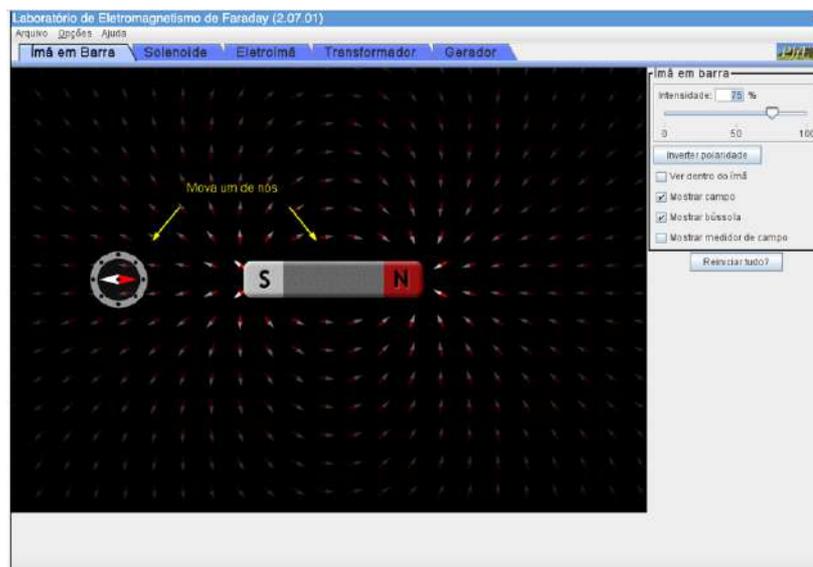
Fonte: Autoria própria.

Os alunos tiveram acesso aos materiais didáticos previamente para estudo, bem como responderam aos questionários pré-aula, com o interesse de fomentar uma preparação para esta investigação. Embora o tema eletricidade não esteja presente no conteúdo programático da segunda série, o acesso ao simulador visava o entendimento do conceito de onda eletromagnética. Diante disso, o principal objetivo foi descrever o fenômeno e não a apresentação de um modelo acabado, tal que agora os alunos pudessem seguir na investigação. Essa etapa demandou mais tempo que o esperado, pois os alunos estavam livres para investigar

por diferentes caminhos, que foi fundamental na proposta para que pudessem compartilhar entre si diferentes observações e conclusões do mesmo fenômeno. Essa divergência é importante para que haja discussão e engajamento coletivo na busca de uma explicação em comum. Então, no primeiro momento foi solicitado que eles descrevessem o fenômeno observado no simulador e, em seguida, pudessem associá-lo com a geração de ondas eletromagnéticas. A professora optou por não compartilhar qualquer tutorial, pois atrapalharia a investigação no cerne de alcançar diferentes observações e conclusões do mesmo fenômeno. O único comando solicitado pela professora, a ser discutido pós simulador, nas rotações entre os grupos, no segundo momento, foi relacionar o simulador às ondas eletromagnéticas, com objetivo de investigar: 1) o que é campo elétrico e campo magnético? 2) Há outra forma de gerar campo elétrico e magnético? 3) O que são as ondas eletromagnéticas e como são geradas?

O simulador possui várias opções, como mostrado na figura 25, em que os alunos puderam explorar o ímã de barras, solenoide, eletroímã, transformador e gerador:

Figura 25 – Simulador computacional laboratório de Faraday



Fonte: Captura da tela do PHET colorado.

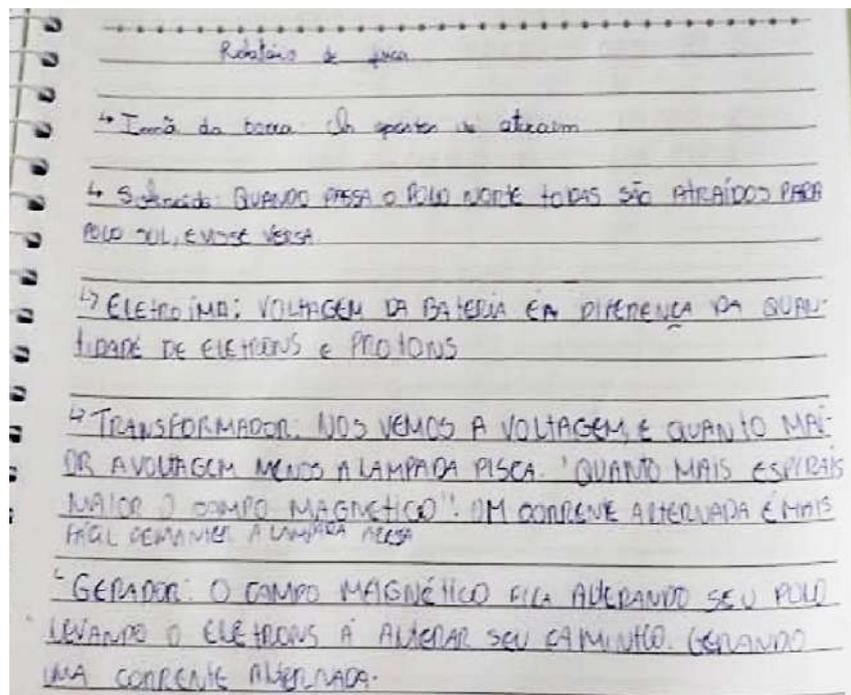
Dos 19 alunos presentes nessa aula, 16 estavam no formato presencial e foram organizados nas 4 mesas circulares, que denominaremos de A, B, C e D. A mesa A, B e C estavam ocupadas por 4 integrantes, enquanto a mesa D por apenas três integrantes.

Dos 19 alunos, 3 estavam participando da aula no formato remoto e a solução para incluí-los nas atividades foi adicioná-los em suas respectivas mesas por meio de uma chamada

de vídeo no *google meet*. Dessa forma, eles puderam participar da investigação com seu respectivo grupo.

As considerações da mesa A, antes de responderem aos problemas propostos, estão apresentadas na figura 26, portanto, há muitos conceitos equivocados que foram sanados durante as discussões entre as mesas através das rotações, da mesma forma como nas outras equipes.

Figura 26 – Anotações do simulador realizados pelo grupo A



Fonte: Integrantes do grupo A.

O grupo A fez anotações sobre o ímã de barra, solenoide, eletroímã, transformador e gerador e perceberam que os “opostos” se atraem, fazendo menção às cargas negativas e positivas; também detectaram que a voltagem da bateria cria uma diferença entre elétrons, e então, constataram que, quanto maior o número de espiras no solenoide, maior será o campo magnético e que esse campo magnético que muda de polaridade, no gerador, resulta em uma corrente alternada.

Figura 27 – Anotações do simulador realizados pelo grupo B

Anotações do Simulador (Phet Colorado) / Investigação dos experimentos:

1.Ímã de Barra

- Notamos que no ímã de dois polos diferentes a agulha da bússola é atraída de acordo com seu polo oposto, assim, em relação ao magnetismo, se torna claro que os opostos se atraem e os iguais se repelem.

2.Solonóide

- Nesse experimento, é demonstrado a forma que as ondas eletromagnéticas são geradas a partir de uma corrente alternada, na qual, de acordo com a mudança de polos a corrente elétrica vai gerando energia sendo explicada por conta da oscilação de ondas.
- As ondas nesse experimento são geradas através oscilação de ondas, ou seja, por conta da movimentação nos campos elétricos e magnéticos.

3.Eletoímã

- Nesse simulador vimos uma corrente contínua, onde os elétrons percorriam todos em uma mesma direção devido a bateria de polo positivo e negativo. Após colocarmos a corrente sobre a fonte de alimentação, a corrente tornou-se alternada, ou seja, ondas oscilantes. Por isso, o gráfico formou uma senóide.

4.Transformador

- Nesse caso tínhamos duas correntes a analisar: uma corrente contínua, conectada a uma bateria e outra conectada a uma lâmpada, onde seus elétrons encontravam-se nulos, os chamados elétrons livres, ou seja, por estarem em movimento desordenado não geram energia, não são úteis. E justamente por não existir um constante movimento entre os elétrons para gerar energia, a lâmpada encontrava-se apagada.
- Frente a isso, usamos uma corrente em função da outra. Onde ao unirmos ambas, os elétrons que agora estarão em grande quantidade, precisarão se agitar e se comprimir ao mesmo tempo para passarem pelo filamento da lâmpada e então acendê-la.

5.Gerador

- Nesse caso, fizemos relação da situação apresentada ao funcionamento de uma usina hidrelétrica. Ou seja, a energia elétrica gerada a partir da força da água.

Fonte: Integrantes do grupo B.

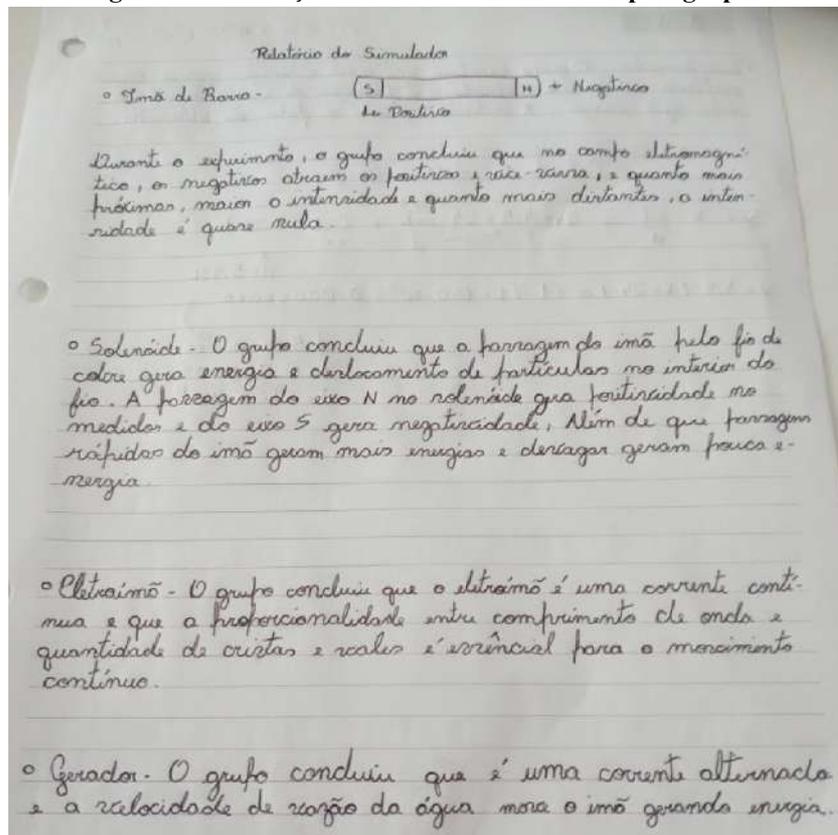
O grupo B chegou a conclusões semelhantes ao grupo A, apresentada na figura 27, a exemplo dos “opostos” se atraem, mas também chegou à conclusão de que a “movimentação” (oscilação) dos campos elétricos e magnéticos geram as ondas eletromagnéticas; constataram, também, que a lâmpada, na opção do transformador, acende em consequência dos elétrons se “comprimirem” ao passar pelo filamento e na opção de gerador, o grupo fez uma associação com o funcionamento de uma usina hidrelétrica para geração de energia elétrica.

O grupo C, de forma semelhante ao outras equipes, analisou o ímã de barra e constatou que a bússola se atrai pelo sul do ímã, assim como o sul da bússola se atrai pelo norte do ímã. Outra observação foi no solenoide, o norte do ímã, quando aproximado a um fio de cobre, atrai elétrons e quando o sul do ímã é aproximado ao cobre, elétrons são repelidos, os alunos perceberam também que, quanto maior a frequência de oscilação da corrente alternada, menor

será a percepção da oscilação da luz da lâmpada e que corrente alternada são elétrons mudando de direção, enquanto a corrente contínua da bateria forma um campo magnético na espira e é necessário mudar a posição dessa bateria para acender a lâmpada; já com um gerador de corrente alternada não é necessário mover o dispositivo, uma vez que a lâmpada acende, embora fraca, sendo mais fácil acender a lâmpada usando a corrente AC que a DC. A última conclusão sobre o gerador foi perceber que a força da água faz girar uma roda com o ímã que acende a lâmpada, devido a corrente alternada.

Já o grupo D concluiu que o polo negativo atrai o polo positivo e vice-versa, e, quanto mais próximos estiverem os ímãs, maior será a intensidade da força de atração ou repulsão, as anotações estão apresentadas na figura 28.

Figura 28 – Anotações do simulador realizados pelo grupo D



Fonte: Integrantes do grupo D.

O grupo D também constatou que a passagem do ímã pelo fio gera deslocamento de partículas no interior do fio, e quanto mais rápido essa movimentação do ímã mais energia elétrica é gerada. Ao aproximar o polo Norte do solenoide, foi observado uma positividade no medidor e ao aproximar o polo Sul gerou uma negatividade. Diante disso, para o eletroímã, foi

concluído que a corrente contínua tem relação com comprimento de onda, e com a quantidade de cristas e vales do medidor de ondas.

2º momento - Apresentação dos resultados da investigação do 1º momento com as rotações entre equipes (20 minutos):

Após os integrantes de cada mesa debateram entre si sobre o simulador, iniciou-se a primeira rotação, agregando 4 (quatro) mesas em apenas 2 (duas), com o objetivo de compartilhar entre si suas conclusões em busca de esclarecer as possíveis divergências para, então, chegar a uma conclusão em comum, e, após esse tempo, todos os grupos foram unidos, para realizar o mesmo procedimento, executando, assim, uma discussão geral para compartilhar as conclusões finais sobre o fenômeno. A rotação de grupos teve como objetivo compartilhar experiências e conclusões entre os estudantes, com argumentos em concordância ou não, além de solucionarem os problemas propostos pela professora: 1) o que é campo elétrico e campo magnético? 2) Há outra forma de gerar campo elétrico e magnético? 3) O que são as ondas eletromagnéticas e como são geradas?

Na figura 29 é apresentada a configuração da primeira rotação unificando o grupo A com o grupo D:

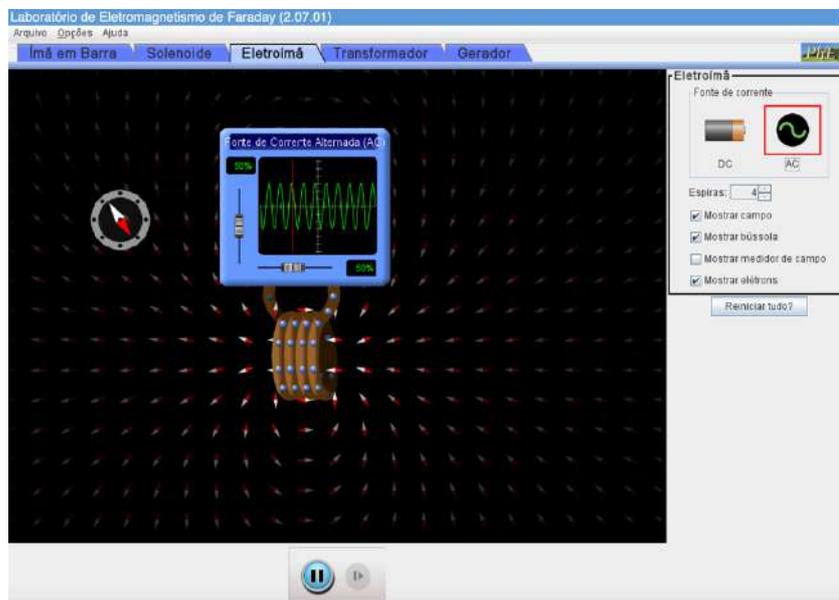
Figura 29 – Arranjo da primeira rotação entre os grupos A e D



Fonte: Autoria própria.

As conclusões entre os grupos A e D foi perceber que no simulador só havia movimentação de elétrons quando houvesse movimentação do ímã e, a partir disso, associaram esse evento as hidrelétricas, onde há a transformação de energia mecânica em elétrica. As equipes também constataram que as ondas eletromagnéticas são geradas através da oscilação da corrente elétrica, pois, no primeiro exemplo da bateria, cuja corrente é contínua, não havia oscilação, diferente da corrente alternada, em que havia oscilação. A mesa D percebeu que a fonte de corrente alternada mostrada na figura 30 era o gerador de onda eletromagnética:

Figura 30 – Simulador laboratório de Faraday eletroímã



Fonte: Captura da tela do simulador PHET colorado.

Essa corrente gera um padrão oscilatório, que na verdade é uma modelagem matemática para descrever uma corrente alternada e não uma onda física eletromagnética. Portanto, a mesa confundiu a onda eletromagnética com a onda gerada pelo oscilador AC, gerando resultados equivocados sobre a origem de ondas eletromagnéticas. Esse resultado do grupo D influenciou o grupo A que aceitou essa conclusão e, esse equívoco só foi solucionado na segunda rotação em que todos os grupos A, B, C e D foram unidos.

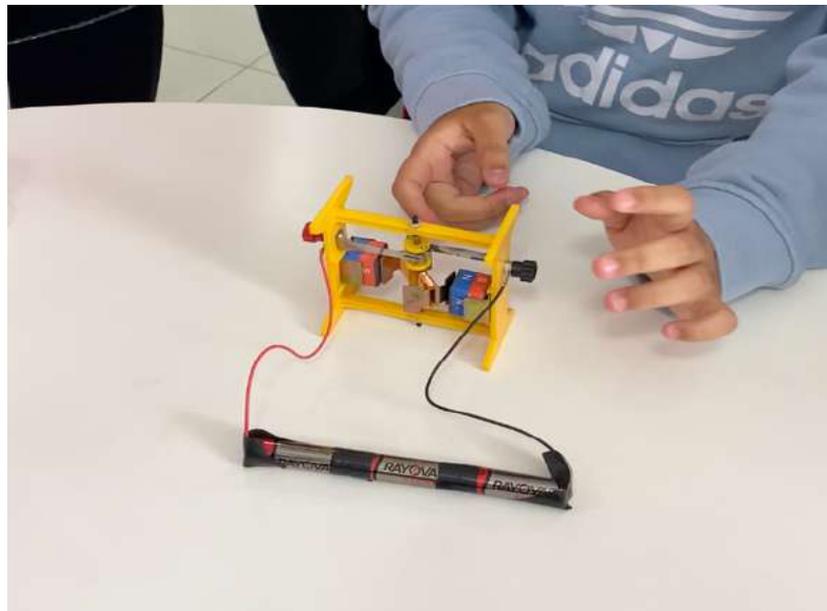
O grupo B e o grupo C se juntaram, ainda na primeira rotação e diferentes conclusões foram verificadas; para o grupo B: quanto mais vezes o ímã girava, mais intensa é a luz, e a origem das ondas eletromagnéticas surge da oscilação dos polos do ímã e movimento dos elétrons; para o grupo C: a alternância dos polos do ímã fez acender a lâmpada e quanto mais rápido o movimento do ímã mais a luz piscava, e se fosse rápido o suficiente, não perceberíamos a oscilação da lâmpada. O grupo também observou que, a corrente alternada é mais fácil de se

manter que a contínua e quando a corrente muda de sentido, o campo magnético, gerado pela corrente, também muda e, por fim, a geração de ondas eletromagnéticas está associada a essas variações do campo elétrico e campo magnético.

Após a primeira rotação foi realizada a segunda rotação em que todos os grupos se juntaram e discutiram suas conclusões e, foi somente na segunda rotação, que os grupos A e D constataram seu equívoco e puderam mudar suas conclusões sobre a geração das ondas eletromagnéticas.

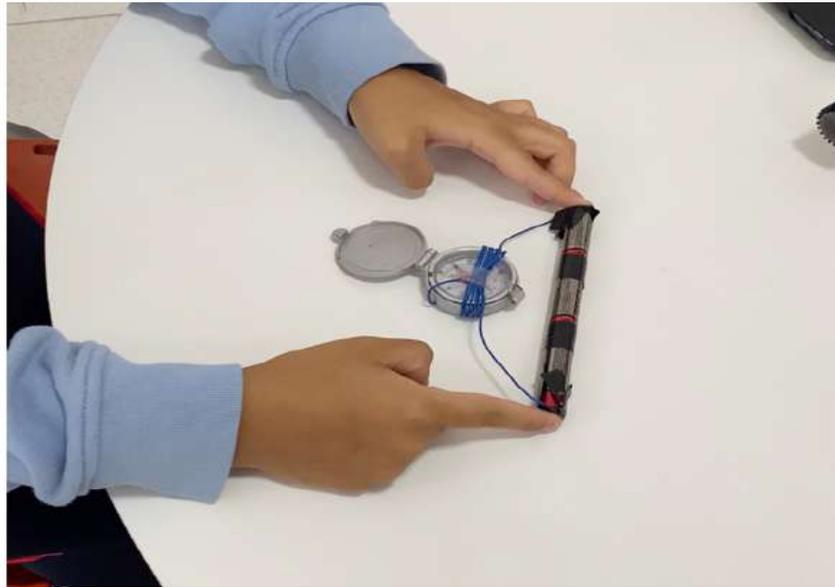
Após as rotações, foi realizada uma demonstração do experimento de Oersted e do experimento do motor elétrico, como apresentado nas figuras 31 e 32:

Figura 31 – Demonstração de um motor elétrico



Fonte: Autoria própria.

A professora pediu aos alunos que descrevessem o que estavam observando utilizando os conceitos físicos já investigados e uma estudante respondeu que as pilhas geram uma corrente elétrica na espira que é influenciada pelos ímãs, que alteram a direção da corrente elétrica fazendo com que a espira gire. No experimento de Oersted, destacado na figura 32, foi demonstrado que a corrente elétrica gera um campo magnético que influencia a orientação da bússola:

Figura 32 – Experimento de Oersted

Fonte: Autoria própria.

Por meio dos experimentos, foi possível verificar que uma corrente elétrica gera um campo magnético capaz de alterar a direção da agulha na bússola e que o contrário também é possível: um campo magnético gera uma corrente elétrica. Essas oscilações de campo elétrico e campo magnético se sustentam pelo espaço independente da fonte que as gerou. Essa conclusão foi importante para entender as ondas eletromagnéticas e prosseguir a discussão sobre os fenômenos decorrentes dessas ondas.

3º momento - Atividade experimental investigativa: determinar a espessura de um fio de cabelo (100 minutos):

No terceiro momento foi realizada a atividade experimental de determinação da espessura de um fio de cabelo, tendo por base o material estudado em casa, previamente. Na sequência de ensino, além do experimento do fio de cabelo, foi proposto medir a distância entre as ranhuras de um CD ou DVD, porém, não foi possível sua realização devido ao curto tempo, dessa forma, a professora realizou em sala apenas o primeiro experimento proposto. Nenhum tutorial foi disponibilizado pois o objetivo da tarefa foi de investigação utilizando apenas quatro materiais – LASER, régua, fita adesiva e o fio de cabelo, e a partir disso, os alunos deveriam pensar em soluções para o problema. Para participar da tarefa, os três alunos que estavam no formato remoto fizeram uma chamada de vídeo com os alunos que estavam em sala presencial, e, após a distribuição dos materiais, iniciaram as discussões em grupo para a resolução do

problema. Os grupos A, C e D sugeriram, inicialmente, medir a espessura do fio de cabelo usando a régua, mas logo perceberam que não haveria precisão suficiente, já que a régua não possui escalas suficientemente pequenas, além disso, constataram que usariam apenas a régua, enquanto a proposta da professora sugeria a utilização de todos os equipamentos. O grupo B, em seguida, constata que o experimento é de interferência da luz, pois relaciona esse problema proposto a um dos vídeos que foi compartilhado previamente na plataforma online; o grupo, no entanto não conseguiu associar o fenômeno com os materiais recebidos para resolver o problema. Após um tempo, os integrantes do grupo B posicionaram o laser deitado no centro da mesa e colocaram o fio de cabelo no final da mesa, percebendo, então, que a luz projetada na parede mudava de formato exibindo o padrão de interferência ondulatória, mas o grupo estava com dificuldade de conseguir deixar o feixe parado, pois qualquer pequena perturbação na mesa fazia o LASER se mover e, por isso, o padrão de interferência sumia da parede. Após alguns minutos refletindo, uma integrante do grupo B teve a ideia de prender o fio de cabelo no próprio LASER e grudá-lo na mesa com a fita adesiva, assim, o LASER ficaria estável na mesa, e o padrão de interferência fixo na parede. Como os outros grupos estavam com muita dificuldade para conseguir deixar o feixe parado, os integrantes do grupo B se prontificaram para auxiliá-los, indo de mesa a mesa mostrando qual era o arranjo mais eficiente. A figura 33 mostra o arranjo experimental desenvolvido pela mesa C:

Figura 33 – Arranjo experimental da mesa C



Fonte: Autoria própria.

Os alunos trabalharam em equipes auxiliando os seus colegas de classe que apresentaram dificuldades no entendimento do fenômeno e no cálculo matemático, assim, foi possível a todos os grupos, relacionar a interferência da luz com a equação de Young, e em seguida, calcular a espessura do fio de cabelo, resultado matemático apresentado abaixo.

Figura 34 – Resultado matemático da mesa A

Fonte: Integrantes do grupo A.

No cálculo da espessura do fio de cabelo, apresentado na figura 34, o grupo A decidiu utilizar os dados na unidade de centímetros e obteve como distância entre as duas franjas consecutivas 3 cm e entre o laser e o anteparo 83 cm e, substituindo na equação da interferência, forneceu o resultado de $0,179 \text{ mm}$ ou $1,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}$, o laser vermelho, utilizado nesse experimento tem comprimento de onda de 650 nm , informação apresentada no próprio laser. O grupo cometeu o equívoco de escrever a distância entre o laser e o anteparo como 830 cm , por isso, o resultado correto deveria ser $1,79 \cdot 10^{-5} \text{ m}$.

Figura 35 – Resultado matemático da mesa B

Fonte: Integrantes do grupo B.

O grupo B utilizou o laser verde com comprimento de onda de 532 nm e medindo a distância entre franjas consecutivas encontraram o valor de 1 cm e a distância entre a parede e o laser foi de $35,1 \text{ cm}$, então, o grupo optou por utilizar os valores na unidade de centímetros. O resultado da espessura do fio de cabelo, apresentado na figura 35, teve como valor $1,867 \cdot 10^{-5} \text{ m}$.

Figura 36 – Resultado matemático da mesa C

Calculo da espessura do fio

$$y = R \cdot \frac{m\lambda}{d} \rightarrow 4,5 = \frac{24 \cdot m\lambda}{d} \rightarrow \frac{24 \cdot L}{4,5} = 5,33 \cdot L$$

$$d = 5,33L$$

$$y = 4,5 \quad R = 24 \quad m = 1 \quad \lambda = 650 \cdot 10^{-9} = 0,00000065$$

$$d = 5,33 \cdot 0,00000065$$

$$d = 0,0000034645$$

$$d = 3,4645 \cdot 10^{-13}$$

Fonte: Integrantes do grupo C.

O cálculo realizado pelo grupo C, apresentado na figura 36, utilizou o laser vermelho com comprimento de onda de 650 nm e os valores foram medidos na unidade de centímetros, detectou-se, em seguida, que a distância entre o laser e o anteparo foi de 24 cm , e a distância entre duas fendas consecutivas foi de $4,5 \text{ cm}$. O grupo cometeu um erro matemático ao chegar no resultado de $3,4 \cdot 10^{-13} \text{ m}$, quando na verdade deveria ser $3,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

Figura 37 – Resultado matemático da mesa D

$$y_m = R \cdot \frac{m\lambda}{d}$$

$$m = 1$$

$$y_m = 2 \text{ cm} \rightarrow 0,02 \text{ m}$$

$$R = 130 \text{ cm} \rightarrow 1,30 \text{ m}$$

$$\lambda = 532 \text{ nm}$$

$$0,02 = \frac{1,30 \cdot 5,32 \cdot 10^{-9}}{d}$$

$$d = 345,8 \cdot 10^{-9}$$

$$d = 3 \cdot 10^{-9} \rightarrow \text{nosso resultado}$$

$$7 \cdot 10^{-5} \rightarrow \text{comprimento real do fio}$$

Fonte: Integrantes do grupo D.

O grupo D utilizou a luz verde com comprimento de onda de 532 nm e os dados na unidade de medida metros, resultado apresentado na figura 37. Os integrantes detectaram a distância entre o laser e o anteparo com $1,3 \text{ m}$ e a distância entre duas fendas consecutivas com $0,02 \text{ m}$. O grupo errou na conversão de nanômetros para metros, obtendo $3,45 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ e não $3,45 \cdot 10^{-9} \text{ m}$. Devido ao erro, o grupo encontrou $345,8 \cdot 10^{-9} \text{ m}$, mas o resultado correto é

$34580.10^{-9} m$ ou $3,45.10^{-5} m$, muito próximo ao valor do comprimento real do fio que o grupo consultou na internet, lembrando que cada fio possui uma espessura própria e esse valor é apenas uma referência média.

Verifica-se que os grupos A, B e D chegaram a resultados com a mesma ordem de grandeza do valor estipulado da espessura do fio de cabelo humano, eliminados os erros matemáticos que foram constatados. O grupo C foi o único cujo resultado sofreu um desvio maior, comparado aos demais grupos. A professora solicitou que os grupos pesquisassem a espessura do fio de cabelo médio para comparação e o quadro 12 apresenta os valores determinados por cada grupo:

Quadro 12 – Medidas das espessuras do fio de cabelo

Grupo A	$1,79. 10^{-5} m$
Grupo B	$1,867. 10^{-5} m$
Grupo C	$3,4.10^{-6} m$
Grupo D	$3,45.10^{-5} m$

Fonte: Autoria própria.

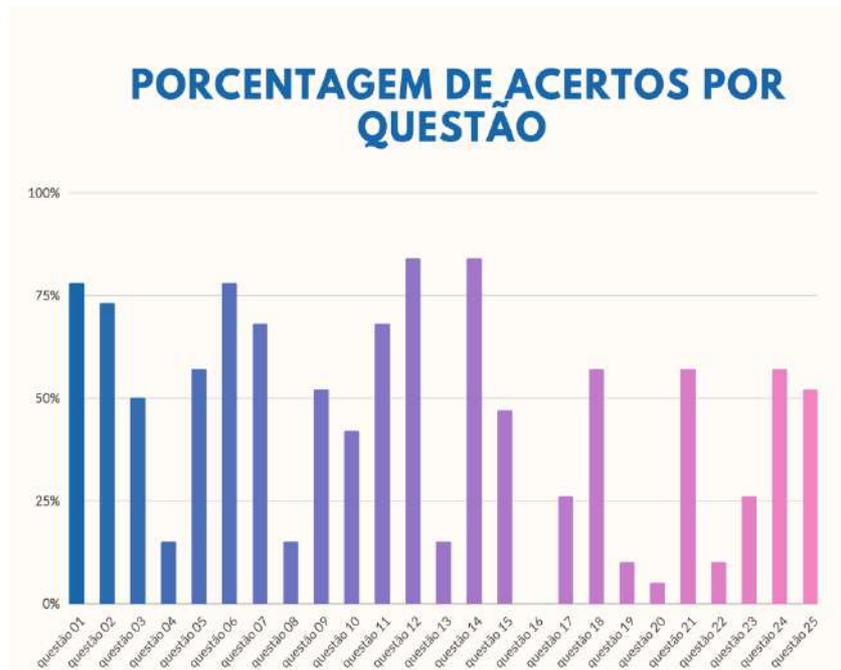
Esse momento de discussão foi importante para detecção dos erros matemáticos dos grupos A, C e D e também na divergência do grupo C, associada a pouca precisão ao determinar a distância entre as duas franjas consecutivas, em decorrência da distância do LASER ao anteparo ser pequena e, quanto mais próximo do anteparo o LASER estiver, menor será a distância entre as franjas, por esse motivo, os grupos A, B e D dispuseram seus dispositivos o mais distante possível da parede, para que pudessem, com a régua, ter uma melhor precisão na medida.

4º momento - Debate sobre: A geração das ondas eletromagnéticas; Características das ondas eletromagnéticas; Fenômenos ondulatórios: difração e interferência (70 minutos):

O quarto e último momento foi de integralização e conclusão, relacionando o simulador e o experimento explorado em aula com as os materiais estudados em casa, previamente. A discussão foi voltada às ondas eletromagnéticas e os fenômenos ondulatórios associados a essas ondas; utilizou-se o programa *quizizz* (em nota de rodapé consta o *html* do site da apresentação, em que o leitor pode analisar o layout dos questionários e testá-lo ou em pasta no *google drive*

o acesso a todas as apresentações em PDF)²³, que combina apresentações em slides com questionários a serem respondidos pelos estudantes através de seus smartphones. Dessa forma, participaram da discussão 19 alunos - os 16 que estavam presentes em sala e 3 alunos de forma remota, e, com 25 questões sobre ondulatória, o *quizizz* teve 63% de aproveitamento médio; a porcentagem de acertos por questão é apresentada na figura 38:

Figura 38 – Porcentagem de acertos por questão do quizizz



Fonte: Autoria própria.

O tempo de cada questão foi em média 30 segundos, e, caso as fizesse de forma incorreta, um relatório com os erros de cada aluno era gerado a professora, que, a partir disso, pôde direcionar melhor a discussão sobre os temas mais sensíveis. Além disso, a professora propôs que, mesmo após todos os alunos responderem o *quizizz* individual, a pergunta deveria ser respondida por algum voluntário na sala. A exemplo no questionamento da definição de comprimento de onda, uma das alunas do grupo B respondeu que comprimento de onda é “a distância entre uma crista e um vale”, enquanto um aluno do grupo A respondeu “altura da onda”, mas, em seguida, uma integrante do grupo C corrigiu seus colegas afirmando que “o comprimento de onda é a distância entre duas cristas ou entre dois vales” e não a altura da onda, que é associada a amplitude da onda. Em seguida, outra colega do grupo D respondeu “distância

²³ <https://quizizz.com/admin/presentation/6182a59e6a3c26001d5c99dd>.
https://drive.google.com/drive/folders/1xb6erGAVdbVc2C1DNIMTU_LY6cd09RIX?usp=sharing.

percorrida pela onda”, mas a mesma colega do grupo C corrigiu, novamente, afirmando que isso teria relação com a velocidade da onda. Essa interação entre os alunos é muito importante pois há uma rede de assistência para o entendimento do conceito correto. Diante disso, alguns questionamentos foram introduzidos com o objetivo de aumentar a atenção na discussão. O exemplo apresentado na figura 39 mostra o layout de uma pergunta que poderia gerar um equívoco comum entre os estudantes:

Figura 39 – Questionamento sobre ondas mecânicas



Fonte: Autoria própria.

A imagem do rádio, apresentada na figura 39, sugere um equívoco, pois o estudante pode associar o funcionamento do rádio por meio da recepção de ondas sonoras; alguns estudantes marcaram essa alternativa como exemplo de onda mecânica. Esse tipo de questionamento foi importante para trazer uma discussão mais aprofundada em sala, de modo que esses alunos pudessem detectar seus erros e compreender melhor o conceito associado. Em seguida, finaliza-se o primeiro encontro com as discussões sobre os questionamentos do *quizizz* a respeito dos fenômenos eletromagnéticos, conectando o simulador utilizado no primeiro momento da aula com o experimento do fio de cabelo, que envolve a interferência ondulatória; esse momento da aula foi fundamental para a integralização e formalização dos conteúdos trabalhados em sala e, dessa forma, conectar as atividades tangíveis com as ponderáveis, propostas no SCALE-UP.

2º encontro:

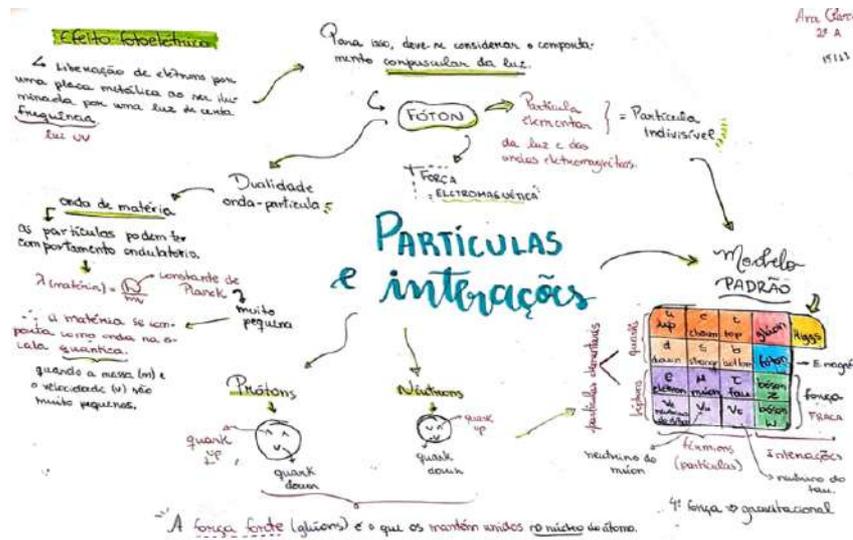
Tema: A luz como partícula.

Duração: 3 aulas de 50 minutos cada.

Objetivo: Reconstruir o conceito de onda eletromagnética inserindo o fóton como partícula mediadora.

O segundo encontro teve duração de três aulas de 50 minutos cada e foi separado em três momentos: o primeiro momento foi o uso do simulador PHET colorado – efeito fotoelétrico; o segundo momento foi de rotação e discussão sobre os problemas propostos; o terceiro momento foi de integralização e fechamento sobre o efeito fotoelétrico; o quarto e último momento foi discutido sobre a física das partículas elementares e suas interações. Dos 20 alunos em aula, 18 estavam no formato presencial e 2 alunos no formato remoto. Além dos materiais estudados pelos alunos em casa e os seus respectivos questionários, os alunos montaram um resumo sobre as partículas elementares e suas interações fundamentais, a partir de vídeos propostos sobre o tema, previamente, de modo que poderia ser produzido um mapa mental ou mapa conceitual, a critério do estudante, abaixo alguns exemplos são apresentados:

Figura 40 – Mapa mental feito à mão 1



Fonte: Autoria própria.

Ficou a critério do aluno escolher a melhor forma de produzir seu resumo, a exemplo dos mapas das figuras 40 e 41, elaborados à mão, enquanto outros alunos utilizaram programas online para produzir mapas conceituais, apresentado na figura 42.

Figura 41 – Mapa mental feito à mão 2



Fonte: Autoria própria.

O mapa conceitual apresentado na figura 42 utilizou um programa online, indicando os principais tópicos sobre as partículas e suas interações.

Figura 42 – Mapa conceitual feito em programa online



Fonte: Autoria própria.

De uma turma de 20 estudantes, 15 entregaram o resumo no prazo estabelecido, ou seja, 75% do total da turma executou a atividade prévia. Já em sala de aula, esses tópicos foram discutidos no segundo momento.

1º momento - Atividade investigativa de simulação computacional: efeito fotoelétrico (60 minutos):

Após o acesso aos materiais de estudo para realizar os questionários e o resumo realizado por meio do mapa mental ou mapa conceitual, o objetivo da primeira atividade foi fazer uma análise do simulador em busca de descrever e entender o fenômeno apresentado; da mesma forma que no primeiro encontro, nenhum tutorial foi entregue, para deixá-los livres na investigação. Dessa forma, a atividade foi iniciada às 7:40h da manhã e finalizada às 8:40h. Cada mesa discutiu por 40 minutos e após esse período foi iniciado as rotações, em que cada grupo compartilharia suas conclusões com outro grupo para responder os problemas propostos. A figura 43 apresenta um dos grupos utilizando o simulador no dispositivo eletrônico:

Figura 43 – Grupos discutindo sobre o simulador PHET colorado – efeito fotoelétrico

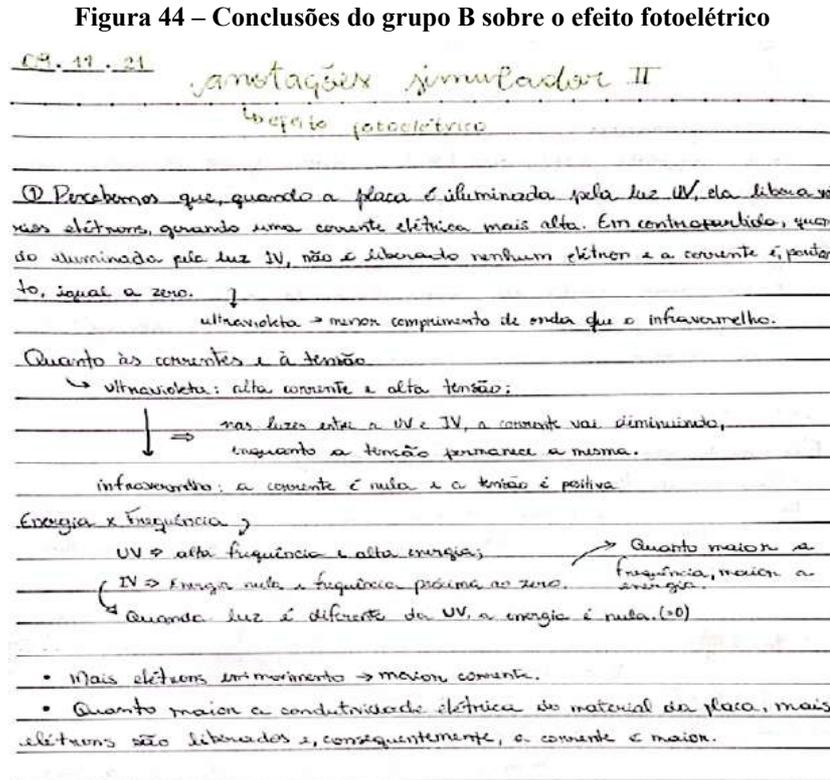


Fonte: Autoria própria.

Os alunos acessaram a plataforma PHET colorado através do *tablet*, celular ou computador, porém alguns estudantes alegaram preferir utilizar o computador e *tablet*, pois afirmam que o celular é muito pequeno e, por isso, surge dificuldade para clicar nas opções do simulador.

Para essa atividade, os alunos que estavam no formato remoto entraram em chamadas de vídeo com seus respectivos grupos em sala presencial. O primeiro resultado a ser discutido foi obtido pelo grupo B, que constatou que a luz ultravioleta era a responsável por retirar elétrons da chapa produzindo uma corrente elétrica. Porém, quando a luz infravermelha era testada, não era observado elétrons liberados pela chapa. Dessa forma, o grupo afirmou que a luz ultravioleta gerava uma alta corrente elétrica e possui alta energia enquanto a luz

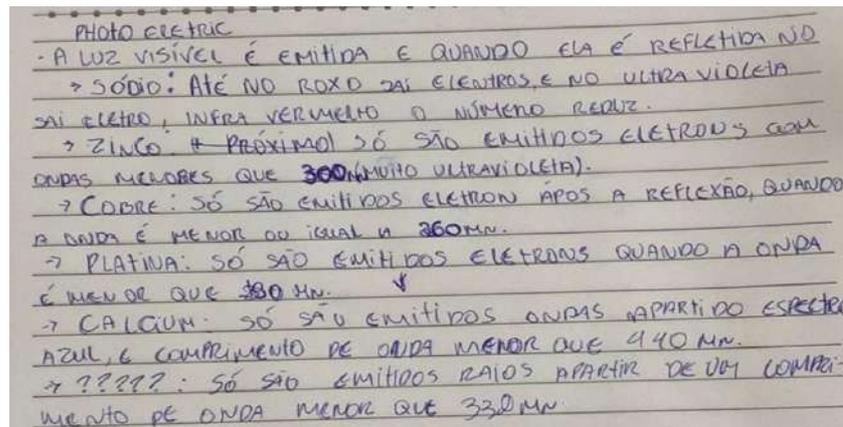
infravermelha possui tensão e energia nula, também foi constatado que, quanto maior o número de elétrons ejetados, maior a corrente elétrica e que a condutibilidade elétrica do material influencia na quantidade de elétrons liberados, a figura 44 apresenta o relatório produzido pelo grupo B:



Fonte: Integrantes do grupo B.

Enquanto o grupo B testava as diferentes frequências da luz em uma única chapa, o grupo A executou vários testes com diferentes materiais para comparar a quantidade de elétrons ejetados, resultado apresentado na figura 45. Inicialmente testaram o sódio e concluíram que a luz ultravioleta ejeta elétrons, mas no infravermelho esse número é reduzido; já no zinco, apenas luz com comprimento de onda menor que 300 nanômetros ejetava elétrons da chapa; no cobre os elétrons só são liberados com comprimentos de onda menores que 360 nanômetros; na platina os elétrons são emitidos a partir do espectro azul com comprimento de onda menor que 180 nanômetros e, por fim, no cálcio, o comprimento de onda da luz deveria ser menor que 330 nanômetros para haver o efeito fotoelétrico. O grupo chegou à conclusão que para diferentes materiais era necessário diferentes frequências de luz para liberar elétrons da chapa.

Figura 45 – Conclusões do grupo A sobre o efeito fotoelétrico



Fonte: Autoria própria.

O grupo D concluiu que, quando a luz emitida é a ultravioleta, elétrons são ejetados da chapa, fenômeno que não acontece com a luz infravermelha, pois essa radiação possui frequência de onda menor que a ultravioleta. O grupo analisou, também, os gráficos de frequência \times energia do elétron que mostra que, quanto maior a frequência da luz, maior a energia do elétron, porém, há uma frequência mínima na qual a emissão de luz com frequências menores que essa resulta em energia zero. O grupo também obteve como resultado que, aumentar a intensidade da luz, para certas frequências específicas da luz ultravioleta, aumenta a corrente elétrica de forma proporcional e que para materiais com melhor condução elétrica, mais corrente será produzida. O relatório produzido pelo grupo D é apresentado na figura 46.

Figura 46 – Conclusões do grupo D sobre o efeito fotoelétrico

ANOTAÇÕES DE FÍSICA ((EFEITO FOTOELÉTRICO))

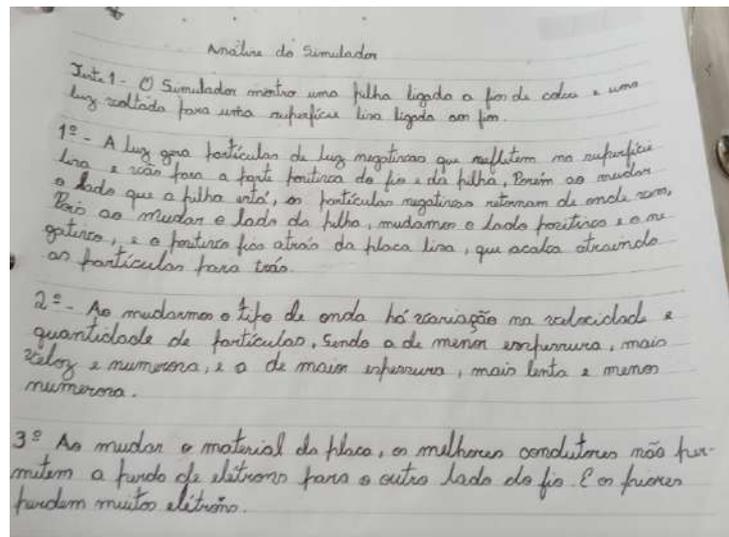
- Notamos que quando a luz emitida usada era ultravioleta os elétrons eram liberados, mas quando era infravermelho isso não acontecia, pois não era possível mesmo.
- Vimos através da simulação que o infravermelho tem uma frequência de ondas menor que a do ultravioleta.
- Percebemos que no gráfico light frequency \times electron energy (frequência da luz \times energia do elétron) ao colocarmos qualquer outra luz que não fosse UV, o ponto ficava sobre o eixo x, ou seja, o eixo y representava zero. Isso quer dizer que quanto maior a frequência da luz, maior a energia do elétron.
- Analisamos também que aumentando a intensidade da luz, a corrente aumentava proporcionalmente (em relação a luz UV).
- Por fim, concluímos que quanto melhor for a condutividade elétrica do material, maior vai ser a quantidade de elétrons liberados.

Fonte: Autoria própria.

O grupo C relatou que, quando uma luz direcionada para uma superfície é ligada a um fio conectado a uma pilha, partículas negativas são geradas e quando atingem a superfície sofrem reflexão sendo levadas para o lado positivo da pilha, quando a polaridade da pilha é invertida, é constatado que essas partículas percorrem o caminho oposto em direção a chapa

metálica. O grupo percebeu que, a modificação da frequência da onda acarreta uma mudança na velocidade e na quantidade das partículas, e que ao mudar o material da chapa metálica, para condutores, por exemplo, não há perda de elétrons para o outro potencial, enquanto maus condutores liberam elétrons. O relatório feito pelo grupo C está apresentado na figura 47.

Figura 47 – Conclusões do grupo C sobre o efeito fotoelétrico



Fonte: Autoria própria.

Os equívocos do grupo foram solucionados durante as rotações, em que tiveram contato com as conclusões de outros grupos e puderam verificar seus erros.

2º momento - Apresentação dos resultados da investigação do 1º momento com as rotações entre equipes (20 minutos):

Após as discussões individuais de cada grupo, o momento seguinte foi de rotação, em que os grupos foram unidos. Na primeira rotação, houve a junção do grupo A com o grupo C e ambos os integrantes constataram que, quando selecionavam outro material para a chapa, a quantidade de elétrons ejetados mudava; para bons condutores verificava-se uma maior quantidade de elétrons emitidos na chapa. Foi observado que, independente da mudança de material da chapa, quando a luz estava na frequência do infravermelho, não havia ejeção de elétrons; perceberam que isso tinha relação com a frequência da luz e não com a escolha do material e que quando uma frequência diferente era selecionada, havia uma alteração no número de elétrons ejetados, mas para a luz infravermelha, não havia ejeção de elétrons. A explicação para o fenômeno, na visão desses alunos, era que os prótons compõem esse feixe de luz (eles

não lembraram do nome correto da partícula – fóton) e esses “prótons” quando atingiam a chapa metálica colidiam com os elétrons, desprendendo-os do material de forma mecânica, ou seja, os alunos acreditavam que as partículas eram expulsas do material através de colisões. Esses estudantes relacionaram a intensidade da luz com a quantidade de “prótons” que eram liberados por essa luz e justificaram, induzidos pela associação equivocada, que o que atrai os elétrons são os prótons, pois a carga negativa é atraída pela carga positiva, uma assertiva verdadeira, mas que não corresponde a ejeção de elétrons no efeito fotoelétrico.

Simultaneamente, os grupos B e D foram unidos e, uma integrante do grupo D inicia a discussão afirmando “notamos que, quando a luz emitida é ultravioleta, os elétrons eram liberados da chapa, mas quando emitíamos a luz infravermelha não tinha elétrons” uma integrante do grupo B afirma que o grupo chegou na mesma conclusão e acrescenta “quando a placa é iluminada pela luz infravermelha podemos notar que no gráfico da corrente é atribuído zero, ou seja, não há corrente, então não há liberação de elétrons” a discussão segue com o grupo D “o infravermelho tem uma frequência menor que o ultravioleta, enquanto que o comprimento de onda é maior” e “no gráfico energia do elétron pela frequência da luz, quando a gente colocava qualquer outra luz que não fosse ultravioleta, o eixo Y sempre apresentava zero, e no caso, a gente percebeu que quanto maior a frequência da luz maior a energia dos elétrons”, a professora interrompeu a discussão para fazer uma pergunta sobre intensidade da luz “onde ela se encaixa na discussão?” e uma das integrantes do grupo B afirmou “quanto maior a intensidade da luz maior a corrente”, então, a professora segue perguntando se essa resposta é válida para todas as frequências e todos os integrantes do grupo juntos responderam “não”, uma das integrantes complementa, afirmando que “a corrente aumenta com a intensidade somente para a luz ultravioleta”. Em seguida, uma integrante do grupo D concluiu a discussão afirmando que “dependendo da placa que escolhemos, ele muda a quantidade de elétrons liberados” e um integrante do grupo B afirmou que não havia percebido nenhuma diferença com a mudança de material, então, nesse momento eles acessaram o site do PHET para fazer as últimas verificações mudando os materiais disponíveis e a resposta foi: a condutibilidade elétrica. Para o grupo, quanto maior a condutibilidade da chapa mais elétrons livres na camada de valência comparado aos outros materiais.

Na segunda rotação em que todos os grupos foram unidos uma integrante do grupo B sintetizou as conclusões discutidas na primeira rotação “quando a luz era ultravioleta, os elétrons eram liberados, mas a luz infravermelha não tem a capacidade de ejetar elétrons” outra aluna do mesmo grupo reiterou “essa liberação de elétrons é o que faz ter mudança na corrente, então quanto maior a quantidade de elétrons em movimento, percebemos também um aumento

na corrente elétrica” outra aluna afirma “quando a gente colocava qualquer outra luz que não fosse a ultravioleta, no gráfico da energia do elétron pela frequência da luz, tínhamos o resultado que a energia é igual a zero”, a aluna do grupo B segue o argumento afirmando que “esse resultado indica justamente o que notamos no início com a questão dos elétrons, já que no infravermelho não tem elétrons sendo liberados, a energia será zero, portanto, a frequência da luz tem papel fundamental na energia dos elétrons” uma aluna do grupo D continua “outro gráfico que nos auxilia é da corrente pela a tensão, que mostra que, independente do material da chapa, para a luz infravermelha, esse gráfico também aponta para o zero”. Em seguida, a professora pergunta “então, o que faz com que os elétrons sejam ejetados da chapa?”, um integrante do grupo A responde “os prótons que constituem a luz estão colidindo com os elétrons e isso os faz ser liberados da chapa”, então, os alunos do B e D contestam esse argumento afirmando que “os prótons não saem do núcleo do átomo e que na verdade o nome da partícula que constitui a luz é fóton, são os fótons que são liberados e quando atingem a chapa ejetam os elétrons, se tiverem energia suficiente, por isso, somente os fótons com frequência ultravioleta possuem essa energia, os elétrons absorvem a energia dos fótons e por isso são liberados da chapa”. O grupo A e C afirmaram que se confundiram no nome da partícula e que não queriam dizer prótons e sim fótons. Então, um integrante do grupo A seguiu o argumento dizendo que “constatamos que os materiais da chapa têm influência na liberação dos elétrons, a chapa mais condutora libera mais elétrons pois essas partículas estão mais livres e disponíveis”. Essa discussão final entre os estudantes foi de suma importância para rebater os argumentos entre os grupos, a mesa A e C chegaram as mesmas conclusões sobre o fenômeno, mas utilizando o nome próton no lugar de fóton, além do argumento incorreto que essa partícula se choca com os elétrons mecanicamente, os liberando da chapa; enquanto o grupo B e D chegaram a conclusão que, na verdade, os fótons – partículas de luz, quando atingem a chapa metálica são absorvidos pelos elétrons que, então, pulam de nível sendo liberados da chapa, e isso só acontece para frequências específicas da luz e para chapas com certos tipos de átomos.

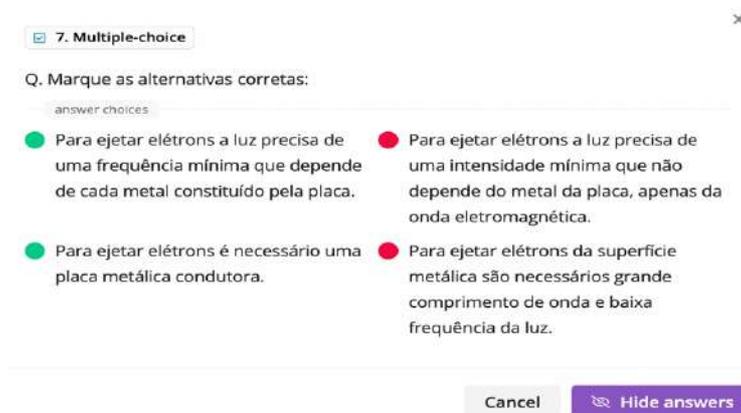
3º momento – Discussão sobre: Efeito fotoelétrico; Efeito Compton; A dualidade onda partícula (35 minutos):

O terceiro momento foi voltado para a integralização e formalização do conteúdo, conectando os conceitos estudados em casa com a simulação computacional realizada em sala

de aula. Diante disso, a professora executou duas apresentações no *quizziz*²⁴: uma sobre o efeito fotoelétrico, que descreve o comportamento da luz como partícula e a outra apresentação sobre as partículas elementares do modelo padrão e suas interações fundamentais. A primeira apresentação sobre o efeito fotoelétrico contém 7 perguntas (vide nota de rodapé), em que a turma teve percentual de 62% de acerto e todas as alternativas marcadas incorretamente eram imediatamente relatadas a professora, que, a partir disso, elaborou uma discussão direcionada aos conteúdos sensíveis. A professora instruiu aos alunos que, após marcarem a alternativa no aplicativo, pudesse compartilhar oralmente sua resposta para a turma, seguindo assim, a discussão e, caso algum conceito não fosse desenvolvido corretamente por eles, a professora poderia expor o conteúdo a fim de sanar os equívocos da turma.

Na figura 48 é apresentado um questionamento que teve uma porcentagem maior de erro e, por isso, recebeu mais atenção. A pergunta trabalha conceitos sobre o efeito fotoelétrico, investigado por eles no momento anterior.

Figura 48 – Questionamento sobre o efeito fotoelétrico



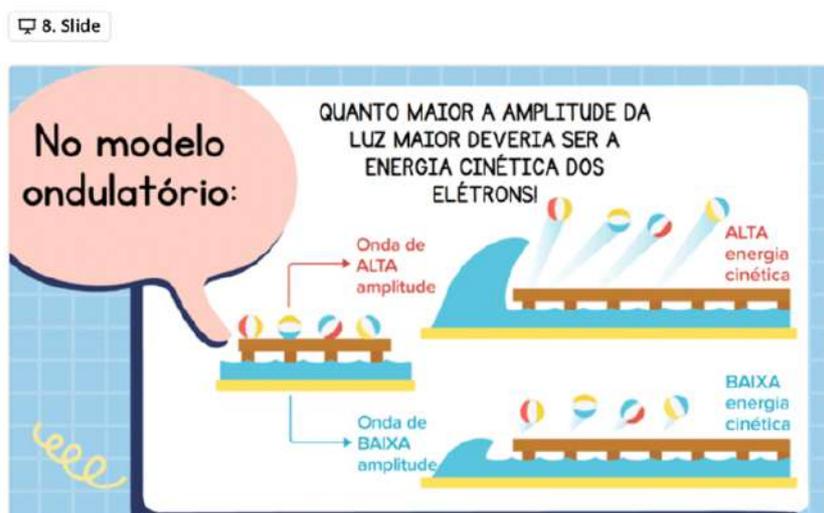
Fonte: Captura de tela do site *quizziz*.

A professora pede para a turma responder qual das alternativas está correta e uma integrante do grupo B afirma que “quando a frequência mínima para ejetar elétrons é atingida, aumentar a intensidade da luz aumenta a quantidade de elétrons liberados pela placa, porém, se emitida uma luz cuja frequência não é a mínima para liberar elétrons daquela placa específica, a intensidade da luz não terá influência e aumentar a intensidade da luz não aumenta o número de elétrons ejetados, pois não há elétrons ejetados em consequência da frequência” a professora, em seguida, pergunta o porquê de ser necessário uma placa condutora e não uma isolante, e, então, uma integrante do grupo D responde que “os elétrons na placa isolante estão equilibrados

²⁴ <https://quizziz.com/admin/presentation/61882d70c6c64e001dc4988c>.

na camada de valência”. Diante disso, o slide seguinte da apresentação, apresentado na figura 49, foi pensado para dar uma perspectiva sobre o questionamento anterior, a professora escolheu uma imagem que pudesse representar o fenômeno e fazer uma analogia com as ondas do mar, pois altas amplitudes libera elétrons com altas energias cinéticas, enquanto baixas amplitudes libera elétrons com baixas energias cinéticas, para a mesma frequência mínima atingida.

Figura 49 – Slide sobre o efeito fotoelétrico



Fonte: Adaptado de *khan academy* efeito fotoelétrico.

O próximo questionamento, apresentado na figura 50, foi de múltipla escolha, mas os estudantes não se atentaram e a maioria marcou somente a alternativa que afirma que a corrente elétrica aumenta com a amplitude da luz, mas esqueceram que a energia cinética dos elétrons ejetados aumenta com a frequência.

Figura 50 – Questionamento sobre o efeito fotoelétrico

9. Multiple-choice

Q. Sobre o efeito fotoelétrico, marque as alternativas corretas

answer choices

- O efeito fotoelétrico depende da intensidade da radiação incidente sobre a placa metálica.
- Não há frequência mínima necessária para a ocorrência desse fenômeno.
- A energia cinética dos fotoelétrons aumenta com a frequência luminosa.
- A corrente elétrica aumenta com a amplitude da luz.

Cancel Show answers

Fonte: Captura de tela do site *quizizz*.

Após o equívoco na interpretação, grande parte dos alunos recordaram do gráfico apresentado no simulador, da energia dos elétrons em função da frequência da luz e que, quanto maior a frequência, maior a energia que esses elétrons eram liberados. A pergunta seguinte teve um caráter subjetivo: como podemos mudar o número de elétrons ejetados da superfície? O que você acha que afeta a quantidade de elétrons ejetados? A maioria dos estudantes respondeu da mesma forma, indicando que, dada uma frequência mínima, aumentar a intensidade causa o aumento da quantidade de elétrons ejetados da placa. Diante disso, a discussão foi muito importante para reforçar o que já havia sido debatido entre grupos a partir da observação do fenômeno do efeito fotoelétrico e chamar atenção, também, sobre a natureza dual da luz.

Em seguida, dando continuidade ao questionário, a última pergunta foi: já que a luz é onda e partícula, será que uma partícula pode se comportar como onda? Após os alunos marcarem a alternativa no site do *quizizz*, a professora abre o debate em sala e uma aluna do grupo B responde “sim, é possível as partículas se comportarem como onda, por conta da relação da massa, porém com objetos macroscópicos o comprimento de onda será muito pequeno e na equação de de Broglie a massa é inversamente proporcional ao comprimento de onda, então a gente não consegue enxergar os objetos como onda”. Após essa resposta, a professora pergunta se algum aluno tem dúvidas sobre esse tema, que foi encaminhado no material pré-aula, e ninguém se manifesta. A professora, então, encerra a discussão sobre a natureza dual da luz sintetizando os principais pontos debatidos e, devido ao tempo reduzido da aula, prossegue imediatamente para o quarto momento do dia.

4º momento – Discussão sobre partículas elementares: o zoológico das partículas; A interação forte e a classificação das partículas no modelo padrão (35 minutos).

A segunda apresentação no *quizzizz*²⁵ teve como tema a física das partículas, para discutir os tópicos que os alunos já haviam estudado previamente, propostos pela professora na plataforma digital. O percentual de acertos da turma foi de 63%, e será comentado apenas algumas das perguntas do *quizizz* que geraram uma discussão mais prolongada. A apresentação possui 18 questionamentos e o primeiro que levantou um debate importante sobre a palavra “fundamental”, apresentado na figura 51, gerou dúvidas, já que alguns alunos selecionaram a primeira alternativa, que possui próton e nêutron - partículas que eles já conheciam, mas que, na realidade, não são fundamentais.

²⁵ <https://quizizz.com/admin/presentation/618974f25a7e1d001d6e52ce>.

Figura 51 – Pergunta sobre as partículas elementares

5. Multiple-choice

Q. Marque a alternativa correta que contém exemplos de partículas elementares:

answer choices

próton, quark down, elétron e nêutron. quark up, quark down, elétron e neutrino.

quark up, quark down, hidrogênio e hélio. hélio, elétron, próton e nêutron.

Fonte: Captura de tela do site *quizizz*.

Após os alunos responderem o questionário acima, a professora pergunta a turma: o que é elementar? Então, uma aluna da mesa D responde “que forma um elemento”, em seguida, sua colega também do grupo D complementa “não necessariamente que forma um elemento, pois os prótons e nêutrons formam vários elementos, mas não são exemplos de partículas elementares, então minha definição de elementar é qualquer partícula que constitui a matéria e não pode ser dividida” em seguida, uma colega do grupo B responde “são partículas que formam outras coisas”. A partir dessas respostas a professora questiona “o próton e nêutron são partículas elementares?”, uma aluna do grupo A responde “já foram um dia, professora, mas hoje sabemos que há dentro delas partículas menores chamadas de quarks”. A professora pergunta a turma se há alguma dúvida e como ninguém se manifesta, é dado continuidade para a próxima pergunta: onde a força eletromagnética age? Uma aluna da mesa C responde “tem efeito sobre as coisas que possuem carga elétrica”, então a professora pergunta “a força eletromagnética age no nêutron?”, e os alunos respondem em uníssono “não, pois não possui carga elétrica”, em seguida, a professora pergunta “onde a interação forte e fraca age?”, alguns alunos respondem “no núcleo atômico”. A professora reitera que dentre as quatro interações fundamentais, a gravitacional age com muitas ordens de grandeza inferior, em comparação a interação eletromagnética, fraca e forte, nas partículas fundamentais, portanto, a gravitação é desconsiderada nos processos de interação na Física de Partículas. Diante disto, a figura 52 apresenta a pergunta sobre o que é o modelo padrão das partículas.

Figura 52 – pergunta sobre o modelo padrão das partículas

9. Multiple-choice

Q. O que é o modelo padrão das partículas?

answer choices

Teoria que descreve as três interações (eletromagnética, fraca e forte) bem como as partículas elementares.

Teoria que descreve todas as quatro interações (eletromagnética, fraca, forte e gravitacional) bem como todas as partículas elementares.

Teoria que descreve apenas a interação forte e fraca.

Fonte: Captura de tela do site *quizizz*.

A professora, após os alunos responderem à pergunta no aplicativo, faz o questionamento para a turma “o que é o modelo padrão das partículas?”, uma aluna do grupo B responde “a teoria que descreve a interação entre as partículas elementares”. O debate segue com a divisão das partículas em bósons e férmions, em que é discutido quais partículas do modelo padrão são bósons e quais partículas são classificadas como férmions; observado que os estudantes já tiveram contato com esse conteúdo nas vídeo aulas e com os questionários realizados em casa. A discussão se encerra conectando os conceitos estudados em casa com a utilização do simulador computacional, em sala, sobre o efeito fotoelétrico e sua importância na introdução do mundo das partículas elementares.

3º encontro:

Tema: Fissão nuclear, a antimatéria e a interação fraca.

Duração: 5 aulas de 50 minutos cada.

Objetivo:

- Introduzir a interação fraca que rege o decaimento radioativo, discutir sobre a fissão nuclear, a radiação ionizante e não ionizante.
- Explorar as aplicações das antipartículas na medicina.
- Determinar como a antimatéria é utilizada no PET SCAN.
- Entender como antimatéria gera energia.

A professora inicia o terceiro encontro apresentando as atividades do dia: investigação utilizando o simulador PHET colorado – decaimento beta, em que os alunos teriam que descrever o fenômeno observado; logo após a investigação por grupo, seria realizada a primeira

rotação unindo duas mesas e, logo em seguida, a segunda rotação que une a turma toda com o propósito de chegar a uma conclusão em comum sobre o fenômeno descrito no simulador, além de solucionar os problemas propostos; após as rotações, segue o momento de discussão sobre a antipartícula utilizando o *quizizz*, acessado pelo smartphone dos estudantes para responder aos questionários; e por último, o momento de pesquisa com objetivo de investigar sobre a física médica e, então, desenvolver um vídeo sobre as aplicações das partículas no diagnóstico de doenças na medicina. Para o terceiro encontro, os alunos acessaram o material prévio para o estudo na plataforma digital, bem como resolveram os questionários online.

1º momento - Atividade investigativa de simulação computacional: fissão nuclear e o decaimento radioativo (60 minutos):

Antes de iniciar a investigação do simulador, alguns alunos revelaram que o questionário do 3º encontro estava muito difícil e assistir aos vídeos compartilhados não foi suficiente para responder as perguntas do questionário. Diante disso, a professora justifica que, não necessariamente as respostas deveriam estar corretas, mas que as perguntas eram importantes para guiá-los no estudo, com a liberdade de consulta em livros e materiais disponibilizados na internet. A professora segue afirmando que a pergunta “é possível armazenar antimatéria?”, por exemplo, tinha como objetivo captar a noção intuitiva do aluno, fazê-lo pensar em um possível caminho da resposta, um exemplo seria armazenar a antimatéria em um pote, mas, assim que ela colidisse com a matéria, haveria uma aniquilação, por isso, o estudante deveria pensar em outros dispositivos de armazenamento, que não necessariamente precisam existir ou estar corretos fisicamente, mas que têm como papel estimular a curiosidade do estudante e fazê-lo pensar em uma possível solução para o problema e, então, levar essa solução para ser avaliada pela turma e professora. Após essa interrupção da aula, a professora pede aos alunos que iniciem a investigação do simulador, e, da mesma forma dos encontros anteriores, não foi compartilhado nenhum manual de instrução, deixando-os livres para investigar.

A investigação do grupo A, apresentada na figura 53, identifica o isótopo H3 e o átomo C14 como instáveis, em que, no caso do H3, dos 2 nêutrons disponíveis, um se transforma em um próton após interação com o bóson W. O grupo desenha um esquema do motivo por trás do decaimento, o quark *down* interage com o W^- e decai no quark *up*, o W^- decai em um elétron e um antineutrino.

Figura 53 – Anotação 1 simulador grupo A

DECAIMENTO BETA
 H₃: A NÚCLEO É INSTÁVEL E TEM UMA IDADE MÉDIA

DECAIMENTO BETA
 H₃: - NÚCLEO INSTÁVEL
 - IDADE MÉDIA DE 12 ANOS
 - 2 NEUTRONS, 1 PRÓTON → APÓS LIBERAR E RECEBER O W, SE TORNA
 - 1 NEUTRON, 2 PRÓTON E HE₃.

CH: - NÚCLEO INSTÁVEL
 - IDADE MÉDIA 5.500×10^9 ANOS
 - LIBERA UM ELÉTRON E ANTI NEUTRINO, (TORNA-SE UM PRÓTON)
 - NO FINAL SE TORNA UM K⁺.

Fonte: Integrantes do grupo A.

As figuras 54 e 55 apresentam as conclusões realizadas pelo grupo B, que investigou a origem do decaimento do nêutron ser da interação de um quark com o bóson W, capaz de mudar a carga elétrica da partícula, transformando-a em outra. O grupo apresentou o exemplo do decaimento do hidrogênio em hélio, processo que ocorre quando um dos nêutrons se transforma em um próton, mudando a estrutura que constitui o átomo. O grupo B também construiu um diagrama demonstrando como ocorre a troca dos quarks: o triângulo constitui um próton e o triângulo invertido constitui um nêutron.

Figura 54 – Anotação 1 simulador grupo B

Anotações simulador III 17.09.29

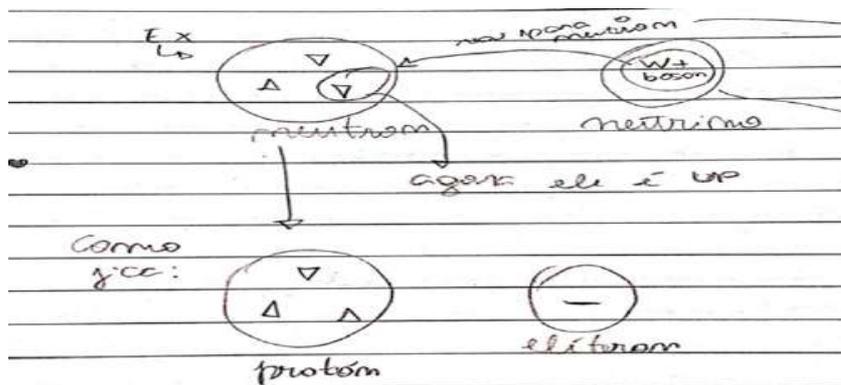
2 nêutrons + 1 próton = 1 nêutron + 2 prótons
 hidrogênio → hélio
 ↳ decaimento ↳ libera um elétron e um antineutrino.

Carbono 12 → hidrogênio 14
 ↳ libera um elétron e um antineutrino.
 ↳ quando o bóson W sai do nêutron ele vira elétron.

decaimento
 ↳ procuramos de que um próton ou um nêutron é um nêutron.
 ↳ com um bóson W (positivo)
 ↳ um próton nêutron pode virar um próton, quando o bóson W interage com um dos quarks.
 ↳ mudando a sua direção.

Fonte: Integrantes do grupo B.

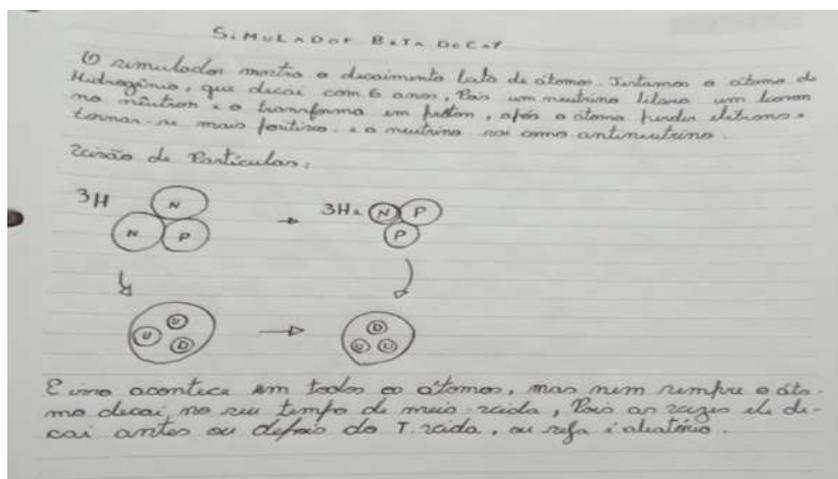
Figura 55 – Anotação II simulador grupo B



Fonte: Integrantes do grupo B.

Enquanto isso, o grupo C fez um diagrama do decaimento do isótopo H3, apresentado na figura 56, e afirmou que um nêutron se transforma em um próton liberando o elétron e o antineutrino. O grupo elucida que basta uma perturbação na energia da partícula, para fazê-la interagir com o W e se transformar em outra partícula.

Figura 56 – Anotação simulador grupo C



Fonte: Integrantes do grupo C.

A figura 57 apresenta as conclusões do grupo D, que afirma que o decaimento beta negativo é a emissão de elétrons e o beta positivo é a emissão de pósitrons; também afirma que quando o nêutron sofre decaimento, ele se transforma em um próton, um elétron e um antineutrino. Já na figura 58, o grupo D complementa a explicação sobre a natureza do decaimento, afirmando que o nêutron pode virar um próton quando o bóson W interage com o quark mudando sua direção:

Figura 57 – Anotação 1 simulador grupo D

Do DECAIMENTO:

exemplo: neutrino, nêutron

Decaimento beta negativo > é o decaimento de elétrons

Decaimento beta positivo > é o decaimento de pósitrons

Decaimento beta inverso > captura de elétrons

Nos reatores nucleares:

O nêutron livre sofre DECAIMENTO em um próton, elétron e antineutrino.

Fonte: Integrantes do grupo D.

Figura 58 – Anotação 2 do grupo D

RELATÓRIO SIMULADOR DECAIMENTO DE BETA

Relatório simulador decaimento de Beta (Layza, Maria Clara, Sabrina, Gustavo e Eva)

Sobre Força fraca (capaz de mudar a natureza das partículas) / o que percebemos:

- Funciona em uma extensão muito pequena
- Mas ao mesmo tempo em distância minúsculas
- Uma partícula passa a se decompor em outra

Hidrogênio > Hélio — Libera um elétron e um antineutrino —
2 nêutrons e 1 próton > 1 nêutron e 2 prótons

Um nêutron pode virar um próton, quando o *b* w interage com um dos Quarks mudando sua direção.
(Bórão *w* = neutrino)

Sobre o decaimento

- Vimos que era necessário de ou um próton ou um nêutron é um neutrino. (Com bóson, sendo W^+)
- E concluímos que um nêutron pode virar um bóson, quando o bóson W (neutrino) interage com um dos Quarks. (Mudando a sua direção)

Fonte: Integrantes do grupo D.

Após as discussões dos grupos, foi iniciada a rotação entre as ilhas e a professora compartilhou no quadro três questionamentos que deveriam ser respondidos:

- 1) Explique o fenômeno da fissão nuclear.
- 2) Descreva como é possível o nêutron dar energia ao núcleo para causar a fissão nuclear.
- 3) O que significa o termo instável, quando usado para descrever o átomo de urânio?

2º momento - Apresentação dos resultados da investigação do 1º momento com as rotações entre equipes (20 minutos):

Para a primeira rotação, que durou 10 minutos, a professora fez a junção dos grupos B e D e os grupos A e C. Dessa forma, relatamos uma síntese dos principais pontos discutidos entre os grupos: um integrante do grupo B responde a primeira pergunta sobre a fissão nuclear “o carbono-14 é formado por 8 nêutrons e 6 prótons, com massa 14, então quando um dos quark

down do nêutron interage com o bóson W, sua carga é alterada, dessa forma, o que era um nêutron vira próton, então, antes, o carbono-14 possuía 8 nêutrons e depois de um deles se transformar em próton, fica 7 nêutrons e 7 prótons que é a característica do nitrogênio-14, ou seja, mudou o elemento químico, isso é fissão nuclear, é a transformação de um elemento em outro”; em seguida, uma aluna do grupo D complementa “átomos instáveis liberam nêutrons e esses nêutrons podem colidir com outros átomos, gerando energia para causar a fissão nuclear”, por fim, outra aluna do grupo B responde a terceira pergunta “instável é o átomo não possuir mesmo número de prótons e nêutrons.”

Os grupos A e C foram unidos e a primeira pergunta foi respondida pelo integrante do grupo A “o núcleo do átomo é feito de prótons e nêutrons e aí quando ele tá chegando perto do tempo de meia vida dele”, um aluno do grupo C interrompe o colega para complementar “o nêutron passa a ser próton”, então o aluno do grupo A responde “isso, porque ele libera um elétron e um antineutrino, um nêutron do trítio é transformado em um próton, dessa forma o trítio vira o hélio, o mesmo acontece com o carbono-14 que vira o nitrogênio-14”, outro aluno do grupo C afirma “isso é a fissão nuclear, é a transmutação de elementos em consequência do nêutron se transformar no próton”, já outro aluno do grupo C complementa afirmando “o que acontece é que o nêutron tem dois quarks down e um quark up e daí quando um quark down se transforma em um quark up, o nêutron vira o próton, liberando o elétron e o antineutrino do elétron, que é a partícula verde no simulador”, outra aluna do grupo A complementa “um átomo instável é esse que possui muitas partículas e seus nêutrons começam a decair, decair é essa transformação de partículas que libera elétrons que podem colidir com outros átomos e fazer uma reação em cadeia”. Outros tópicos foram discutidos, mas reiteramos que fizemos o relato apenas dos mais importantes, por uma questão de espaço.

Na segunda rotação, os grupos constataram que chegaram exatamente nas mesmas conclusões ao responder as 3 perguntas propostas pela professora. A aluna do grupo B se prontificou para expor as soluções ao resto da turma e os integrantes de todos os grupos concordaram com as respostas. Dessa forma, a duração desse momento foi de apenas 5 minutos, pois não houve divergências entre as respostas dos estudantes.

3º momento - Discussão sobre a bomba nuclear; a interação fraca e a antimatéria (70 minutos):

O terceiro momento do encontro foi a integralização e formalização do conteúdo, associando os tópicos desenvolvidos a partir do simulador com os materiais estudados em casa.

Para esse momento, utilizou-se uma apresentação no *quizizz* com 14 perguntas e 18 participantes e porcentagem de acertos de 75%. Devido ao número alto de perguntas do *quizizz*, será relatado apenas algumas perguntas que provocaram discussões mais aprofundadas. Diante disso, a primeira pergunta a ser discutida foi “o que são as antipartículas?” com 80% de acerto, a professora pede para algum estudante compartilhar sua resposta em voz alta, para que possam debater entre si e atingir principalmente os alunos que marcaram a opção incorreta e não se manifestaram, dessa forma, uma das alunas do grupo B afirma “a antipartícula possui as mesmas características da partícula, exceto a carga elétrica, que é oposta, a exemplo do elétron, que possui carga elétrica negativa e já sua antipartícula, o pósitron, possui carga elétrica positiva”. A próxima pergunta “o que acontece quando uma partícula encontra sua antipartícula?” com 93% de acertos, foi respondida por uma aluna do grupo B “elas se aniquilam gerando energia na forma de raios gama”, em seguida, a professora pergunta a turma “o que são esses raios gama?” e uma aluna do grupo D responde “raios gama são ondas eletromagnéticas que possuem alta frequência e faz mal a saúde”, lembrando o conteúdo de ondulatória; então, um aluno do grupo C complementa “esses raios gama podem ser utilizados para matar células cancerígenas, por exemplo”, em seguida, a professora pergunta a turma se há alguma dúvida antes de prosseguir; como ninguém se manifestou, a próxima pergunta no *quizizz* foi “por que a antimatéria é o material mais caro do mundo?”, pergunta subjetiva com resposta de uma aluna do grupo B “porque é muito difícil de criar a antimatéria artificialmente, uma vez que ela é aniquilada facilmente”; outro aluno do grupo C afirma “É difícil de produzir”; uma aluna do grupo D “porque é muito difícil de ser produzida, visto que necessita de um acelerador de partículas e mesmo com uma quantidade grande de matéria usada se produz pouquíssima antimatéria”; aluna do grupo A “pois precisa ser produzida em um acelerador/desacelerador de partícula, e não existe ao mesmo tempo que a matéria”. A professora compartilhou algumas dessas respostas no *quizizz* e solicitou para alguém da turma sintetizá-las e a aluna do grupo D responde “A antipartícula é o material mais caro do mundo, porque é necessária uma quantidade absurdamente grande de energia para produzir pouca quantidade de antipartícula em um acelerador de partículas”. Finalizado o debate sobre o valor da geração da antipartícula, a aula prossegue com uma curiosidade norteadora: mesmo a antipartícula sendo um material muito caro, ela é produzida naturalmente por alguns objetos, como a banana. A figura 59 apresenta o layout da pergunta no *quizizz* sobre o material que produz antimatéria naturalmente:

Figura 59 – Pergunta sobre qual material produz antimatéria espontaneamente



Fonte: Captura de tela da apresentação do *quizizz*.

Apenas 33% da turma respondeu corretamente e, enquanto o tempo corria no *quizizz*, e os alunos escolhiam uma opção correta, um aluno do grupo C fez o seguinte comentário rindo e ironizando “com certeza é a banana” sendo a última opção escolhida por ele, imediatamente sua colega do grupo B afirmou “mas é a banana” e, então o tempo encerrou e a resposta da pergunta apareceu na TV e o colega do grupo B respondeu “eu não acredito que é a banana”, então a colega do grupo B afirmou “um dos vídeos que a professora passou no *moodle* mostrava que a banana possui potássio que decai liberando pósitrons” e nesse momento a professora perguntou a turma “por que a banana não faz mal a saúde, já que produz antimatéria que colidiria com a matéria liberando radiação gama?”, uma aluna do grupo D responde “porque a quantidade produzida é muito pouca e logo ela se aniquila gerando uma quantidade de energia quase que desprezível”.

Esse debate foi fundamental, pois conduziu a conclusão de que, mesmo a antimatéria sendo um material tão difícil e caro de ser produzido, pode ser observado no nosso dia a dia em objetos ordinários como a banana. Então, a pergunta seguinte, de caráter subjetivo, também gerou discussão “podemos usar a antimatéria como fonte limpa de energia? Cite ao menos dois problemas enfrentados hoje na geração de energia com antimatéria”. Um aluno do grupo A respondeu “você gasta mais dinheiro produzindo a antimatéria que recebe com a geração de energia por ela”, outra aluna do grupo B complementa “é possível, mas não é viável, até pela questão do armazenamento dessa antimatéria, seria necessário muito controle”, uma aluna do grupo D reitera que “a energia produzida pela antimatéria seria muito útil para as viagens espaciais”, um aluno do grupo B responde “se não tiver controle sobre essa antimatéria, ela vai virar uma super bomba capaz de acabar com a humanidade”. Dessa forma, o debate despertou

o interesse nos estudantes à curiosidade sobre a utilização da antimatéria como combustível nuclear limpo, já que toda a partícula é transformada em energia.

A pergunta seguinte “o que é o decaimento radioativo?”, foi utilizada pela professora para iniciar uma discussão “pessoal, dois alunos responderam que o decaimento radioativo é uma partícula se dividindo em outras duas, alguém pode refutar essa afirmação?”, uma aluna do grupo C responde “o decaimento radioativo acontece quando o nêutron se transforma no próton, trocando o seu quark down pelo quark up”; uma aluna do grupo A complementa “um exemplo é o carbono-14 se transformando no nitrogênio-14”, em seguida uma aluna do grupo D responde “o carbono-14 perde um próton e se transforma no nitrogênio”, mas, então, uma aluna do grupo B corrige “ele não perde um próton, se não sua massa seria diferente, o nêutron se transforma no próton, o bóson W troca a carga do quark down em quark up”. Assim, encerra-se o 3º momento, reiteramos que nem tudo discutido foi relatado e todas as perguntas foram importantes para formalizar os conceitos de decaimento radioativo e antimatéria, já estudados pelos estudantes e verificados no simulador.

4º momento - Pesquisa: aplicações das partículas na medicina (100 minutos):

O quarto momento do encontro foi realizar uma pesquisa sobre física médica, pois, como o assunto é muito extenso, foi preferível que, no lugar do estudo prévio em casa, cada mesa selecionasse um tópico de física médica, para então, consultar o material e estudar sobre o tema em sala e, em seguida, desenvolver um roteiro de um vídeo para ser gravado em contraturno. O grupo A selecionou o aparelho de Raio-X; o grupo B a Tomografia por emissão de pósitron PET Scan; o grupo C a Protonterapia e o grupo D a Radioterapia. No primeiro momento, os alunos tiveram acesso aos materiais na plataforma online para que pudessem construir o roteiro de preparação do vídeo com as ideias e separação dos temas entre os grupos.

Os alunos do grupo A tiveram a ideia de simular um indivíduo que acredita que os aparelhos de Raio-X permitem ver pessoas sem roupa, dessa forma, o grupo criou um roteiro, apresentado na figura 60, com personagens e suas falas, com objetivo de explicar como funcionam os aparelhos de Raio-X e quais suas finalidades na medicina.

Figura 60 – Roteiro da produção de vídeo grupo A

Helena- Nossa aí queria saber tanto como é Daniel pelado 😊 começa propaganda na tv
<https://youtu.be/mQJRKfXAM0E>
 Helena- Vou instalar
 3 minutos depois
 Helena- Nossa mais isso daqui não funciona mesmo
 Ana luiza- claro que não filhinha, o raio X na vdd funciona da seguinte forma
 Ana luiza-explica como funciona o raio x, e o aparelho
 Helena- então no final não dá pra ver ninguém pelado 😊
 Helena- caramba agora quero saber mais sobre esses tipos de radiação ai
 Helena- digita no computador e abre vídeo de emanuel falando sobre os tipos de radiação
 Emilly-explica tipos de radiação

Helena- clica em vídeo com capa sensacionalista, falando Emanuel falando sobre a radiação ionizante, radioproteção
 Niethya- Explica o céσιο 137, efeitos biológicos da radiação
 Helena- Incrível

Tópicos - que devem pesquisar para suas respectivas partes

- Ana luiza:
 - O que é o raio X?, Como funciona o aparelho raio X?
- Emilly:
 - A física por trás dos tipos de radiação: alfa, beta e gama.
- Emanuel:
 - Radiação ionizante: por que faz mal à saúde? Qual das radiações citadas acima são ionizantes? Existe emissão espontânea de radiação?
 - Os princípios da radioproteção: dose absorvida, dose equivalente e dose efetiva.
- Niethya
 - Efeitos biológicos da radiação nos seres humanos e animais
 - O maior acidente radioativo do mundo fora de usinas nucleares; acidente céσιο 137 em Goiânia.

Fonte: Integrantes do grupo A.

Já o grupo D decidiu criar uma animação sobre o PET scan, roteiro apresentado na figura 61, explicando a importância desse exame na medicina, seus conceitos físicos e como funciona esse exame diagnóstico.

Figura 61 – Roteiro da produção de vídeo grupo D

→ PET scan

→ Tomografia computadorizada.
 → Exame de imagem.
 → Utilidade para diagnosticar precisamente o câncer. Verificar o desenvolvimento do tumor e as metástases.
 → mostra o funcionamento do corpo através da administração de uma substância radiativa.
 → Tracer: emite radiação que é captada pelo equipamento e transformada em imagem.

→ não causa dor, mas pode causar desconforto se a pessoa for claustrofóbica.
 → Doenças neurológicas: Alzheimer e epilepsia.
 → Não é disponível em planos de saúde

→ para que serve: - problemas neurológicos.
 - problemas cardíacos.
 - avaliação de cânceres.
 - monitorar respostas à terapia.
 - processos metastáticos.

→ Como é feito: - administração oral, através de líquidos, ou diretamente na veia.
 - Tracer: glicose com substância radiativa.
 - jejum de 4 a 6 horas.
 - duração de 1 hora.

Fonte: Integrantes do grupo D.

A figura 62 apresenta o roteiro dos alunos do grupo B, que decidiram fazer uma animação em forma de mapa mental sobre a radioterapia, com o objetivo de explicar o que é, como funciona, quais as finalidades e a física associada a radioterapia.

Figura 62 – Roteiro da produção de vídeo grupo B

Roteiro Radioterapia

Grupo: Eva Cristina, Gustavo Paulino, Layza Borges, Maria Clara e Sabrina Dantas.

Estilo: Vídeo animado em forma de mapa mental (DESCOMPLICA).

Objetivo que o grupo pretende alcançar: Explicar de forma dinâmica e clara os processos físicos por trás da radioterapia.

Esqueleto da estrutura: dividir os pontos, pesquisar e desenvolver em texto, juntar e formar roteiro.

Duração média do vídeo: 10:00min

Assuntos a tratar:

Gustavo

- O que é radioterapia;
- Radioterapia de intensidade modulada.

Layza

- O que é acelerador linear;
- O que é histograma dose-volume.

Sabrina

- Como a radioterapia funciona; modalidades da radioterapia; teleterapia e braquiterapia; vantagens e desvantagens;
- Como exterminar o tipo de radiação.

MClara

- Aplique e espalhamento dos fótons;
- O que auxilia a apontar o feixe.

Eva

- Importância para a saúde;
- Procedimentos necessários;
- Efeitos biológicos;
- Tecidos saudáveis.

Fonte: Integrantes do grupo B.

Já o grupo C não entregou o roteiro escrito, mas a ideia central do vídeo foi criar uma entrevista, em que eram realizadas perguntas sobre a Protonterapia, com foco em explicar para que serve, como funciona e os conceitos físicos por trás desse exame diagnóstico.

Cada grupo produziu seu vídeo com aproximadamente 5 minutos de duração e, em seguida, foi compartilhado com outras turmas do colégio, com o objetivo de atingir mais pessoas.

O terceiro encontro foi importante para relacionar a física de partículas com a tecnologia atual, revelando sua importância na medicina, além de resgatar os conceitos de ondulatória aplicados nesses equipamentos hospitalares.

4º encontro:

Tema: Construção de uma câmara de nuvens para detectar os traços das partículas vindas dos raios cósmicos.

Duração: 4 aulas de 50 minutos.

Objetivo: Discutir sobre as partículas de radiação cósmica e, em seguida, construir uma câmara de nuvens para detectá-las, capturando-as na câmara do celular e, em seguida, classificá-las.

O quarto e último encontro da sequência de ensino foi separado em quatro momentos: o primeiro momento foi de discussão usando o *quizizz*²⁶ (se encontra em nota de rodapé), com objetivo de conectar os conteúdos desenvolvidos em casa, com o experimento reproduzido em sala de aula; o segundo momento foi de pesquisa sobre a câmara de nuvens para detecção de partículas dos raios cósmicos; o terceiro momento foi a construção da câmara de nuvens e a detecção das partículas; o quarto momento foi voltado a identificação das partículas detectadas no experimento. Esse encontro teve o total de 4 aulas, com duração de 50 minutos cada. Foi o único encontro em que estavam presentes todos os 20 alunos matriculados na turma da 2ª série, no formato presencial.

1º momento - Discussão sobre os raios cósmicos (50 minutos):

O primeiro momento iniciou com os questionários do *quizizz* sobre os raios cósmicos baseado nos vídeos que foram compartilhados na plataforma online, o *quizizz* possui o total de 7 perguntas e a turma teve 76% de aproveitamento; iremos relatar apenas as perguntas que geraram maiores discussões. Dessa forma, a primeira pergunta foi “É possível armazenar a energia dos raios cósmicos? explique” teve como resposta de uma aluna do grupo A “sim, a partir das placas solares”, em seguida uma aluna do grupo B complementa “não é possível armazenar raios cósmicos usando placas solares, visto que as placas solares funcionam a partir do efeito fotoelétrico gerado pela luz – fótons, mas os raios cósmicos são outras partículas energéticas como pósitrons, múons, etc.”, outro colega do grupo C responde “seriam outros tipos de placas, não seria usando o mesmo mecanismo das solares”, um aluno do grupo D responde “acho que não é possível armazenar os raios cósmicos pela gigantesca energia que é liberada”, outro aluno do grupo C complementa “seria possível nos aceleradores de partícula gerar as mesmas partículas dos raios cósmicos, e daí poderia ser criado um desacelerador que as deixassem mais devagar e então armazenar a energia delas”, então a professora questiona

²⁶ <https://quizizz.com/admin/presentation/618c37ca022ca7001e441360>.

“mas as partículas geradas em um acelerador estão controladas, sabemos bem a direção que elas estão viajando, qual seria mais um problema no armazenamento dos raios cósmicos?”, então uma aluna do grupo B responde “porque não sabemos a direção que essas partículas caem na Terra, não temos como adivinhar, por isso seria mais difícil posicionar o equipamento que armazenaria a energia dessas partículas, pois elas não vem na mesma direção, é totalmente aleatório”, em seguida, a professora pergunta “uma vez que detectamos essas partículas, seria possível determinar a que direção elas vieram?” uma aluna do grupo A respondeu “sim, a radiação que vem do sol, ou de outros lugares do universo colidem com os átomos da atmosfera da Terra e se transformam em outras partículas que vão decaindo até chegar na superfície da Terra, em uma espécie de chuva de partículas; detectando a partícula final é possível fazer cálculos usando a conservação da energia para descobrir de qual direção ela veio”. Finalizado a discussão gerada no questionamento anterior, a pergunta seguinte, de múltipla escolha, teve 63% de aproveitamento da turma “os raios cósmicos são partículas que viajam próximo a velocidade da luz, se fosse possível se agarrar a um deles, o que aconteceria?” uma aluna do grupo B responde “por consequência da teoria de Einstein, comparado a um observador que estivesse na Terra, o seu tempo passaria muito rápido e o seu espaço iria diminuir”, um colega do grupo C complementa “quanto mais rápido você viajar mais devagar o tempo passa pra você, isso já apareceu no filme interestelar”. A pergunta seguinte “os raios cósmicos podem afetar aparelhos eletrônicos?” foi respondida por um aluno do grupo C “a energia dos raios cósmicos é muito alta e por isso podem afetar dispositivos eletrônicos”, em seguida uma aluna do grupo B responde “os aparelhos eletrônicos funcionam por meio de cargas positivas e negativas representadas pelos códigos binários, então quando partículas energéticas passam por esses dispositivos, elas tem a capacidade de trocar a carga e mudar de 0 para 1, por exemplo”, outra colega do grupo B reiterou “não necessariamente partículas só de raios cósmicos geram interferência nos eletrônicos, por exemplo, materiais que compõem esses dispositivos podem ser fonte de alteração também, então seria ideal não utilizar materiais que possui elementos que decaiam”, uma aluna do grupo D complementa “seria ideal, para evitar a interferência dos raios cósmicos, revestir melhor os materiais que compõem os eletrônicos”, a professora pergunta “e para a saúde humana, esses raios são prejudiciais?” um aluno do grupo A responde “sim, os raios podem ser prejudiciais a saúde pois são fonte de energia a altas velocidades, mas aqui na superfície da Terra, há pouca quantidade; para pessoas que andam muito de avião e estão a altas altitudes, podem ter mais prejuízos, assim como astronautas”. Toda a discussão foi importante para que os alunos entendam o que são os raios cósmicos e de onde eles vêm, se fazem mal a

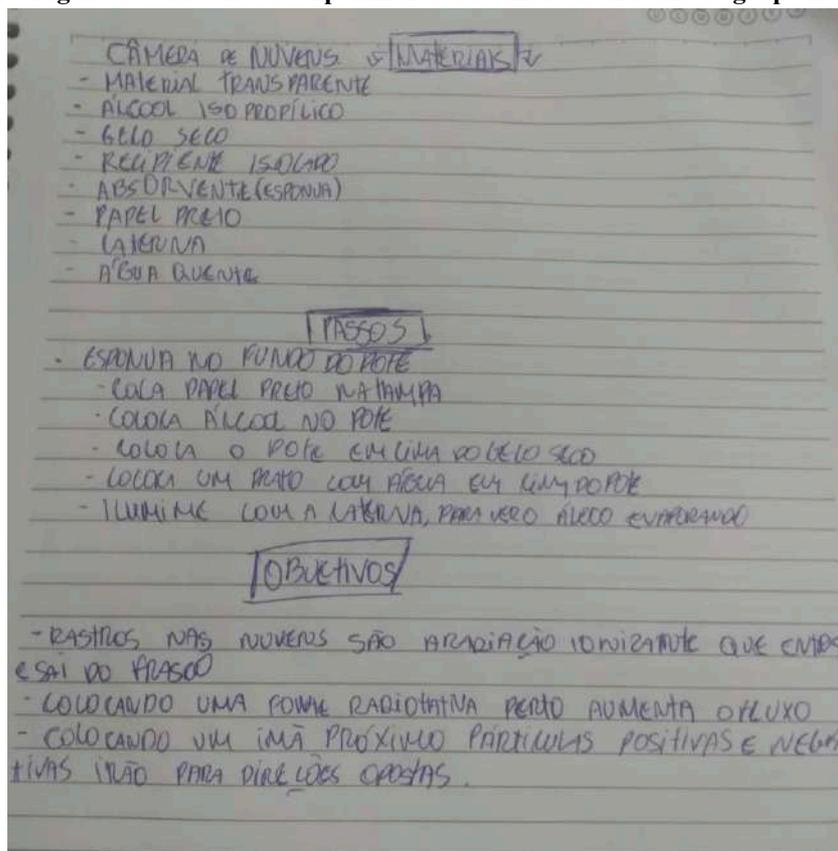
saúde e se são fonte de interferência para equipamentos eletrônicos; conceitos propostos nos materiais disponíveis na plataforma digital.

2º momento – Pesquisa sobre o experimento da câmara de nuvens (30 minutos):

Após a discussão sobre a radiação cósmica, os alunos tiveram 30 minutos para o segundo momento, em que puderam pesquisar como detectar essa radiação, além de buscarem entender o que fazer com os materiais entregues a cada mesa e qual o melhor arranjo que possibilite observar a radiação cósmica. Os materiais entregues foram: copo de acrílico, papel vinílico preto, massinha de modelar, esponja, pote para colocar o gelo seco e papel alumínio. Os alunos inicialmente não receberam o gelo seco, mas deveriam pensar no que fazer com ele, o motivo foi que o gelo seco quando em contato com temperaturas mais altas inicia o processo de sublimação, então foi preferível deixá-lo “protegido” dentro da caixa térmica para somente utilizá-lo no momento terceiro momento. Cada grupo teve um tempo para realizar sua própria pesquisa e discutir entre si como funciona o experimento, como é possível detectar as minúsculas partículas, quais são os objetivos de cada material e, por fim, a física por trás desse dispositivo e, nesse momento de realização de pesquisas, cada grupo criou um roteiro de preparação do experimento.

O grupo A, roteiro apresentado na figura 63, afirma que os rastros observados na câmara têm origem na ionização do meio e, ao adicionar uma fonte radioativa próxima ao dispositivo, será detectado um aumento na quantidade de partículas observadas na câmara, o grupo também afirma que, colocando um ímã próximo ao dispositivo, será possível observar a deflexão de partículas carregadas.

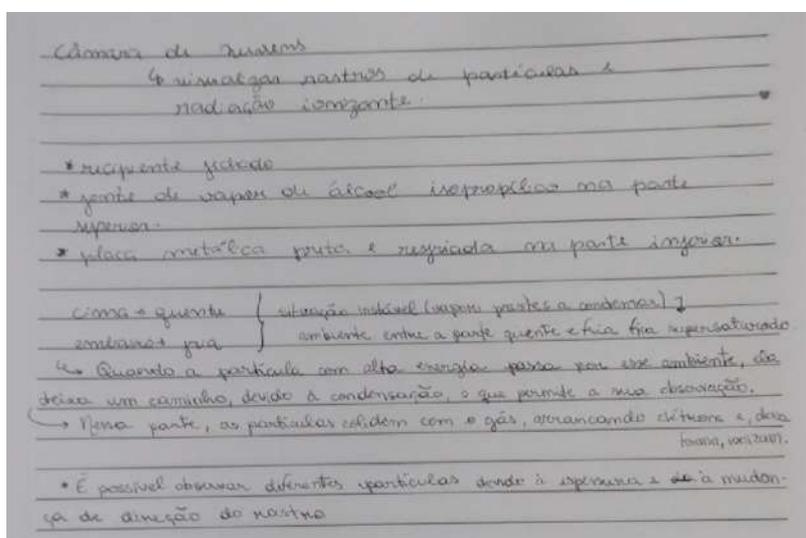
Figura 63 – Roteiro do experimento da câmara de nuvens do grupo A



Fonte: Integrantes do grupo A.

A figura 64 apresenta o roteiro do grupo C, que afirma que a câmara de nuvens permite sinalizar rastros de partículas carregadas que, quando passam com alta energia por esse ambiente, retiram elétrons do gás e produzem um caminho visível.

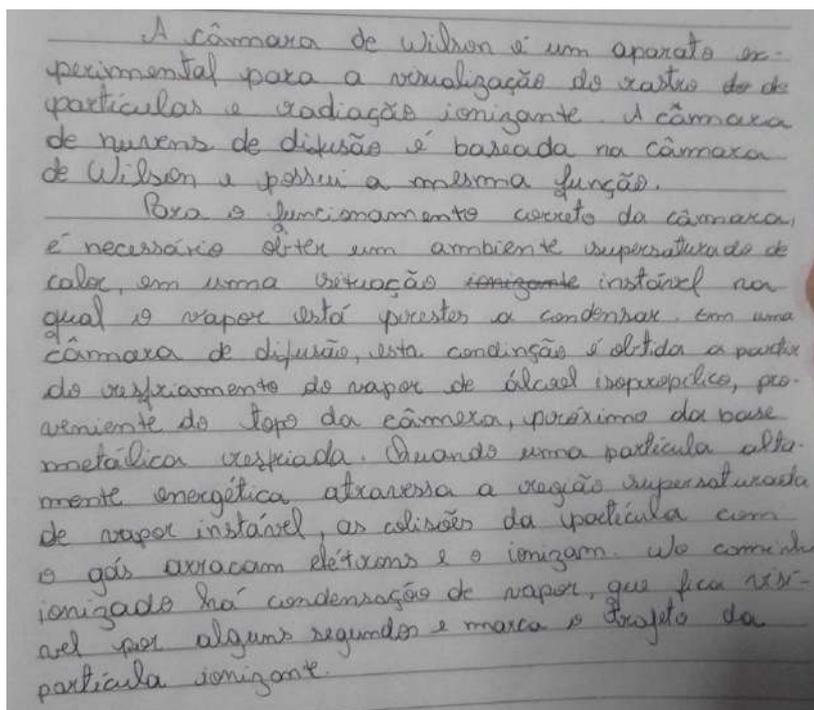
Figura 64 – Roteiro do experimento da câmara de nuvens do grupo C



Fonte: Integrantes do grupo C.

Já o grupo B, roteiro apresentado na figura 65, descreve o funcionamento da câmara de nuvens afirmando ser necessário um vapor supersaturado, condição obtida a partir do resfriamento do vapor de álcool isopropílico, e quando uma partícula atravessa esse vapor instável, é capaz de arrancar elétrons do gás que condensa o vapor, esse caminho ionizado produz um rastro visível.

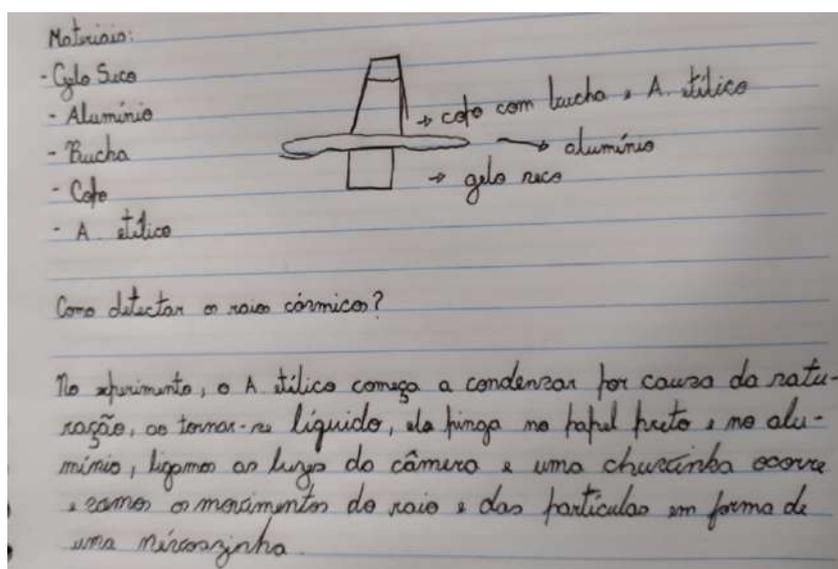
Figura 65 – Roteiro do experimento da câmara de nuvens do grupo B



Fonte: Integrantes do grupo B.

Enquanto o grupo D, roteiro apresentado na figura 66, produziu um desenho do dispositivo e descreveu o experimento afirmando que o álcool etílico (na verdade deve ser utilizado o álcool isopropílico, devido a sua baixa concentração de água), condensa e cria uma chuva que deixa um rastro, quando partículas carregadas são atravessadas nele.

Figura 66 – Roteiro do experimento da câmara de nuvens do grupo D



Fonte: Integrantes do grupo D.

Após a montagem dos roteiros, a professora discute brevemente o que foi pesquisado com objetivo de sanar possíveis dúvidas, então, é questionado em sala “o que é a câmara de nuvens?”, uma aluna do grupo A responde “um dispositivo pra observar partículas cósmicas”, em seguida, um aluno do grupo B complementa “é um experimento pra criar um ambiente que, quando as partículas passam por ele, elas irão deixar um traço no seu caminho”, a professora então pergunta “o que é necessário para que esse traço seja observado?”, uma aluna do grupo B, com ajuda das suas anotações escritas, responde “é necessário criar um ambiente onde haja um vapor supersaturado de álcool isopropílico, gerado através de baixas temperaturas, e quando as partículas de raios cósmicos atravessam esse vapor, ocorre o processo da condensação, deixando seus traço por alguns segundos”. Em seguida, a professora pergunta a turma o que seria condensação, assunto já estudado por eles na metade do ano e o aluno do grupo C responde “é a transformação do estado gasoso para o líquido”, então, a professora pergunta “como ocorre essa condensação do vapor?”, outra aluna do grupo B responde, com auxílio das suas anotações escritas, “o que acontece é que as partículas ionizam o meio, ou seja, elas retiram elétrons do gás e isso induz a condensação, daí podemos enxergar o caminho que as partículas fizeram naquele instante”. Após essa discussão foi necessário transferir os alunos para outra sala de aula, pois a utilizada pela turma possui uma grande janela, e por isso, não seria possível a observação das partículas, devido a luminosidade natural da sala.

3º momento - Atividade experimental: montagem de uma câmara de nuvens e detecção das partículas (90 minutos):

O terceiro momento foi direcionado à montagem da câmara de nuvens e, para isso, segue a lista com os materiais utilizados:

- Álcool isopropílico;
- Copo de acrílico (o mais transparente possível);
- Esponja de lavar prato;
- Papel vinílico;
- Papel alumínio;
- Gelo seco;
- Massa de modelar;
- Copo base para o gelo seco.

A figura 67 apresenta os materiais necessários para a montagem da câmara de nuvens.

Figura 67 – Materiais para a montagem da câmara de nuvens



Fonte: Autoria própria.

Os alunos de cada mesa, após a pesquisa do funcionamento da câmara de nuvens, foram compreendendo de que forma deveriam realizar a montagem, a figura 68 apresenta a primeira etapa, o desenho do molde da esponja a ser usada no fundo do copo e, as alunas do grupo B, perceberam que, retirando a parte mais abrasiva da esponja (o lado verde), seria possível utilizá-la como base no pote evitando preenchê-lo de gelo seco por completo, fazendo com que esse gelo seco fique mais próximo da superfície para maior contato com o alumínio e, também, de maneira a economizá-lo.

Figura 68 – Montagem inicial da câmara de nuvens do grupo A



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, um aluno do grupo C posiciona o lado verde da esponja dentro do pote, que então, seria preenchido de gelo seco, como apresentado na figura 69.

Figura 69 – Montagem inicial da câmara de nuvens do grupo C



Fonte: Autoria própria.

Após o corte da esponja, posicionaram-na dentro do copo de acrílico e não foi necessária nenhuma cola pois a esponja iria ser retirada com frequência para adicionar mais álcool, durante o experimento. Para isso, os alunos apenas deixaram a esponja um pouco maior que o molde, de forma que ela pudesse ficar presa no topo do copo, sem cair.

Dessa forma, os grupos continuam a montagem conectando a massinha a boca do copo, pois identificaram que o ar não poderia entrar na câmara, sendo necessário vedá-la bem, e, após acrescentado o álcool isopropílico na esponja, o copo, foi virado de cabeça para baixo colando-o no papel vinílico. Em seguida, a base é preenchida de gelo seco e envolvida no papel alumínio e o copo posicionado em cima desse arranjo, como apresentado na figura 70.

Figura 70 – Etapa da detecção das partículas usando a câmara de nuvens



Fonte: Autoria própria.

Em sala de aula, após a montagem do dispositivo, segue-se a utilização da câmara de nuvens, confeccionada por cada mesa, para detecção das partículas dos raios cósmicos ou partículas que são geradas por outros materiais ao redor da sala no próprio prédio do colégio. A professora distribuiu o gelo seco, sendo proibido o manuseio por parte dos alunos, por consequência do perigo da baixa temperatura e um aluno do grupo B perguntou a origem do barulho forte que estava se propagando na sala, assim que a professora começou a distribuir o gelo seco, a mesma explica que, quando o gelo seco entra em contato com alguma superfície metálica, como a espátula que estava sendo usada para capturá-lo, sofre sublimação instantaneamente, pois o metal está a uma temperatura muito maior que o gelo, e a pressão que o metal faz sobre o gelo causa o ruído. Após os grupos finalizarem a confecção da câmara de nuvens, as luzes da sala foram apagadas para iniciar o momento de observação

Testes foram realizados utilizando a luz branca da lanterna do celular e a luz amarela do flash da câmera e, constatou-se que a luz amarela é melhor para visualizar as partículas, pois a luz branca é forte e reflete no copo de acrílico ofuscando a visibilidade dentro do copo, dessa

forma, percebe-se que o reflexo da luz no copo de acrílico diminui significativamente comparado aos grupos que utilizaram a lanterna, como mostrado na figura 71:

Figura 71 – Utilização da lanterna para detecção das partículas usando a câmara de nuvens

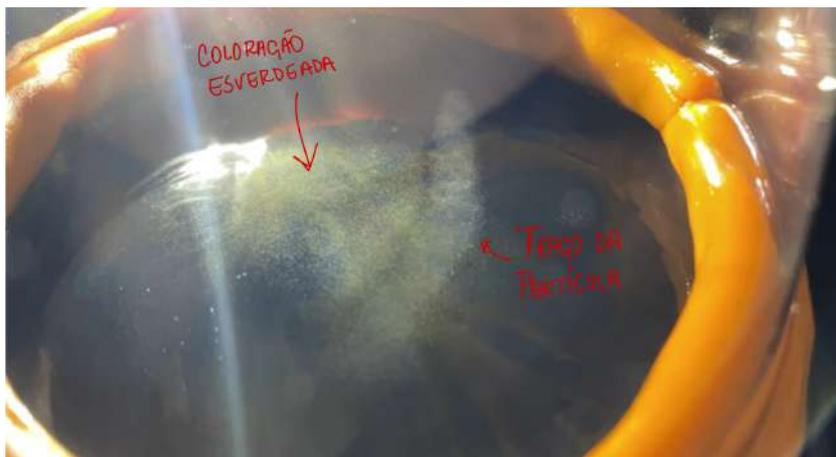


Fonte: Autoria própria.

Os alunos aproveitaram para gravar o experimento, pois o flash só é acionado durante a gravação, enquanto outros grupos preferiram utilizar a lanterna do celular pois não tinham memória suficiente para fazer longas gravações.

Foi necessário trocar o papel vinílico algumas vezes em consequência do álcool isopropílico molhá-lo e retirar a coloração preta do papel, em decorrência disso, a professora realizou testes em um ambiente pré-aula utilizando superfícies metálicas no lugar do papel alumínio, porém, o metal, mesmo que fino, levava um tempo maior para esfriar, sendo mais devagar que o papel alumínio e, também, foi difícil conseguir posicionar o copo exatamente abaixo do gelo seco, pois o metal atrapalhava a visualização. Outra vantagem do papel alumínio e o vinílico é a facilidade para encontrar e transportar, além de seu baixo custo, por esses motivos, foi preferível sua utilização, mesmo constatando que a tinta do papel vinílico geraria transtornos. Na figura 72 pode-se constatar coloração esverdeada do papel vinílico após certo tempo em contato com o álcool isopropílico e, percebe-se que não impede a visualização do traço da partícula, mas sempre que a professora percebia essa mudança na coloração, era entregue aos alunos um novo papel vinílico.

Figura 72 – Papel vinílico mudando de cor devido ao excesso de álcool



Fonte: Autoria própria.

Solucionados os transtornos gerados devido ao papel vinílico, pôde-se observar a “chuva” de álcool isopropílico, como apresentado na figura 73.

Figura 73 – Vapor supersaturado de gotículas de álcool isopropílico



Fonte: Autoria própria.

Alguns grupos constataram que não estavam conseguindo observar a “chuva” do álcool isopropílico, então, a professora abriu o dispositivo e adicionou mais álcool (sempre encharcando a esponja e espremendo em seguida para retirar o excesso), a professora também adicionou mais gelo seco para permitir que o ambiente fique saturado.

Após um tempo, os alunos conseguiram observar as gotículas de álcool isopropílico e, em seguida, foi detectado as primeiras partículas, observando seus traços, como mostrado na figura 74.

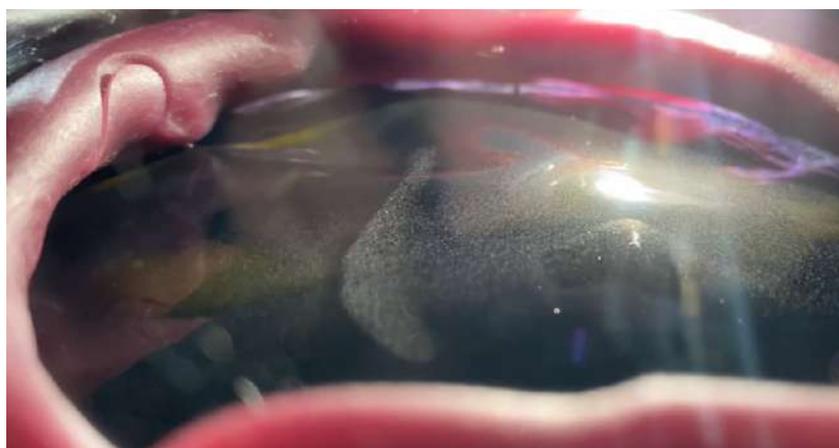
Figura 74 – Partícula com traço grosso detectada



Fonte: Autoria própria.

Porém, após um tempo de observação, um dos grupos percebeu que estavam detectando muitas e muitas partículas apenas na lateral do copo e decidiram chamar a professora, que logo percebeu que não eram partículas e sim o ar que estava entrando no copo causando interferência, pois a massinha não estava bem vedada no copo, o que permitia a entrada do ar. Após o ajuste, partículas, de fato, foram detectadas e, para ser possível a captura dos traços, foi necessário gravá-los, já que ocorrem em um intervalo de tempo muito curto, e, em consequência disso, algumas imagens não apresentam boa qualidade, pois foram capturas de tela das gravações de vídeo, como a apresentada na figura 75.

Figura 75 – Partícula com traço fino e curvilíneo detectada



Fonte: Autoria própria.

A professora, depois do ocorrido, sempre observava, em cada grupo, se a massinha estava bem vedada com o papel e, para descartar possíveis interferências do vento; foi solicitado

aos alunos que soprassem ao redor da base da câmara para verificar se havia alguma abertura. Pois, caso observadas grandes nuvens na borda da câmara, é um indicativo que está havendo entrada de ar, sendo necessário vedá-la, amassando a massinha contra o papel vinílico.

As partículas que foram capturadas por imagem, alguns exemplos apresentados nas figuras 76 e 77, foram analisadas e identificadas no momento posterior, mas não foi possível gravar todas as partículas detectadas, por consequência do curso que seus rastros marcam na câmara.

Figura 76 – Partícula com traço fino e retilíneo detectada



Fonte: Autoria própria.

Figura 77 – Partícula com traço fino e curvilíneo detectada



Fonte: Autoria própria.

Aqui estão apresentadas nas figuras 78 e 79 somente alguns exemplos das muitas partículas detectadas - para observar mais exemplos, acessar os vídeos em anexo no *google drive*²⁷.

²⁷ https://drive.google.com/drive/folders/1tCQX8juZECWIjeqm9kGOBONE93wCF9_h?usp=sharing.

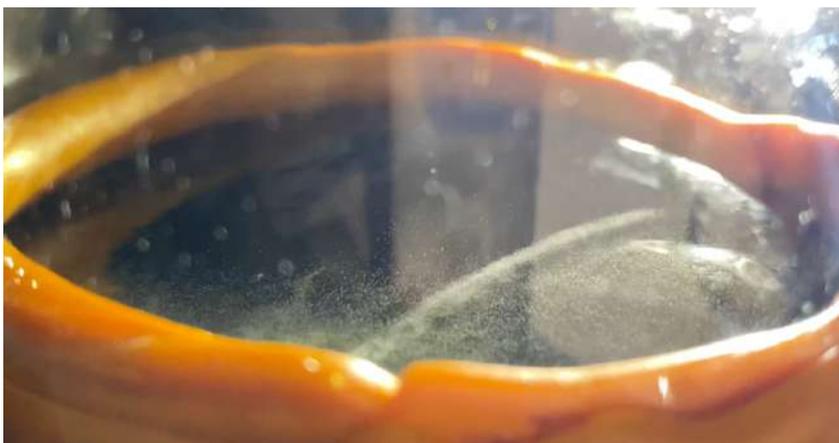
Figura 78 – Partícula com traço fino e retilíneo detectada



Fonte: Autoria própria.

Nas figuras 78 e 79, pode-se observar o reflexo da luz devido a lanterna, que, embora ofusque um pouco a imagem, não atrapalha a visualização do traço gerado pelas partículas.

Figura 79 – Partícula com traço retilíneo detectada



Fonte: Autoria própria.

Após o momento de detecção das partículas, os alunos analisaram as imagens capturadas pela professora, para revelar quais foram as partículas detectadas com auxílio de um artigo do CERN (WOITHE, 2016).

4º momento – Discussão sobre a obtenção de dados (30 minutos):

No último momento da aula, a professora compartilha com os alunos os vídeos gravados por ela e pede para que cada grupo assista e tire suas conclusões sobre as partículas detectadas. A proposta inicial era que cada grupo capturasse suas próprias imagens, porém, nem todos os estudantes possuem câmera de qualidade ou espaço na memória no celular, e, por isso, apenas

três alunos realizaram a gravação. A professora pediu que os alunos capturassem a tela da filmagem, em cada partícula analisada e mandassem para o grupo da turma em uma rede social e, após 20 minutos de análise, a professora, para economizar tempo, expõe na TV da sala as imagens (capturadas pelos alunos) no lugar da gravação, por extenso, e pede para os alunos identificarem as partículas detectadas, com auxílio do artigo da Woithe (2016). Um aluno do grupo A inicia a discussão afirmando que a maior parte das partículas detectadas tiveram trajetórias retilíneas, curvilíneas e algumas realizaram uma bifurcação; uma aluna do grupo B complementa afirmando que algumas partículas eram mais grossas que outras e essas passavam mais tempo antes de se extinguir, enquanto as partículas com traços mais finos e longos duravam pouquíssimo tempo. Diante disso, a professora mostrou na tela as partículas, aqui apresentadas somente alguns exemplos, nas figuras 80, 81, 82 e 83.

Figura 80 – Partícula que pode ser classificada como elétron ou múon



Fonte: Autoria própria.

A aluna do grupo B revela que o traço da partícula, apresentada na figura 80, foi reto e fino, resultado de uma partícula de alta energia que não sofreu espalhamento, então, ela observa a tabela do artigo da Woithe (2016) e afirma que essa partícula pode ser um elétron ou um múon. A professora, em seguida, mostra a figura 81.

Figura 81 – Partícula que pode ser classificada como alfa



Fonte: Autoria própria.

Um aluno do grupo C se manifesta, afirmando que esse é o exemplo da partícula reta e espessa que dura bem mais tempo que a partícula fina e, que no artigo da Woithe (2016), é classificada como partícula alfa, que possui dois prótons e dois nêutrons – característica do hélio que pode ter sido emitido por um núcleo instável. Outro aluno do grupo A pergunta se essa radiação não é prejudicial a saúde e a professora responde “sim, a radiação é prejudicial, se em grande quantidade, o que não configura a nossa análise, e essas existem em raios cósmicos primários ou secundários, mas que podem estar sendo formadas próximos ao detector e, por isso, conseguimos observá-las mesmo que elas interajam muito forte com a matéria”.

A figura 82 apresenta uma partícula que forma uma bifurcação (a imagem não ficou com uma boa resolução, mas a partícula viaja da parte superior da foto no sentido para baixo e de repente muda sua trajetória criando essa espécie de bifurcação):

Figura 82 – Processo que pode ser a transformação do múon em elétron



Fonte: Autoria própria.

Uma aluna do grupo B, observando o artigo da Woithe (2016), pôde constatar que essa bifurcação foi gerada, possivelmente, do múon se transformando em um elétron e um antineutrino. Em seguida, a professora pergunta “por que, então, só vemos dois traços? Um seria o elétron e o outro seria o múon, onde estaria o traço do antineutrino?” A mesma aluna do grupo B não soube responder e a turma passou um tempo pensando até que um colega do grupo C responde “talvez seja porque o neutrino não possui carga elétrica e, por isso, não iria ionizar o meio”, a professora confirma lembrando que “além dele ser neutro e não ionizar o vapor supersaturado de álcool isopropílico, interage muito pouco com a matéria”.

Figura 83 – Processo que pode ser originado da interação entre elétrons



Fonte: Autoria própria.

A trajetória da partícula apresentada na figura 83 é curvilínea, então, a professora pergunta em sala se alguém poderia informar que partícula é essa, para isso, os alunos consultam o artigo da Woithe (2016) e uma aluna do grupo B responde “talvez seja uma interação entre partículas, um elétron interage com outro elétron através da interação eletromagnética”, outro aluno complementou “esse evento foi raro, não achamos nos vídeos uma quantidade grande dessa partícula curva, a maior parte das partículas era retilínea espessa ou retilínea fina”.

Além dos exemplos apresentados aqui, houve várias outras capturas de tela em que os alunos discutiram a natureza dessas partículas, mas são repetições das mesmas detecções e, por isso, não foram exibidas e detalhadas aqui. Após essa discussão, a professora retoma os conceitos desenvolvidos sobre a natureza da onda eletromagnética; os fenômenos ondulatórios; a manifestação da luz como onda e como partícula; o efeito fotoelétrico; o modelo padrão das partículas e elucida a importância da detecção dessas partículas estudadas até então. Todas as discussões foram importantes para alcançar esse desfecho, em que partículas, não só de raios cósmicos, mas também produzidas por outros materiais, demonstraram o quanto a física pode

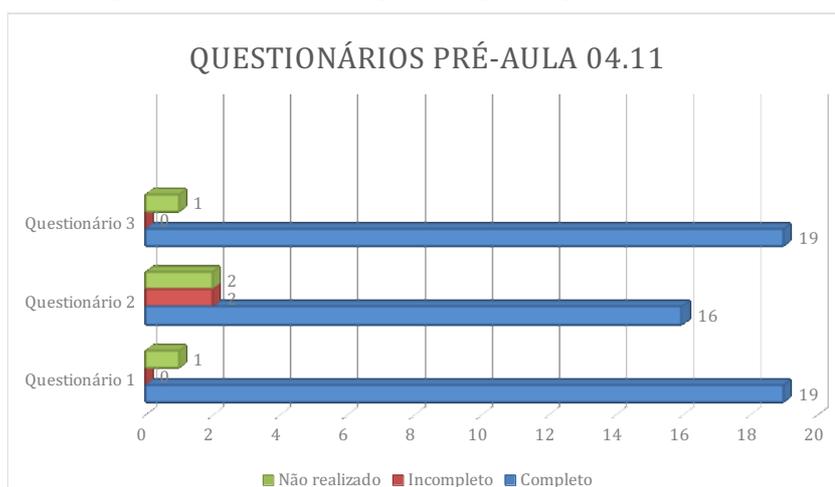
ser curiosa, e como um experimento tão simples possibilita observar indiretamente partículas que são impossíveis de serem vistas a olho nu e que foram produzidas por vários fenômenos extremos que acontecem no universo e que, embora não possamos acompanhá-los - não só por uma questão tecnológica, mas também temporal, pois esses fenômenos podem ter ocorrido há milhares de milhares de anos atrás, nós somos capazes de enxergar o resultado desses eventos catastróficos utilizando um simples equipamento em uma sala de aula no ensino médio.

Análise dos questionários:

A discussão sobre os questionários pré-aula como uma ferramenta de levantamentos de dados e identificação de fragilidades é um procedimento comum ao SCALE-UP. Diante disso, abaixo é representado um gráfico com a participação dos alunos nos questionários do *moodle*, a legenda em verde representa os alunos que não executaram o questionário no prazo proposto, antes de cada aula; em vermelho os alunos que iniciaram o questionário, mas não finalizaram e, por fim, em azul, os estudantes que iniciaram e finalizaram o questionário.

Os três questionários do primeiro encontro do dia 04.11, são apresentados na figura 84, em que os dois primeiros possuem 8 questões abertas e o último com uma questão aberta e 9 questões fechadas sobre os conteúdos propostos na plataforma digital *moodle*.

Figura 84 – Questionário pré-aula para o primeiro encontro



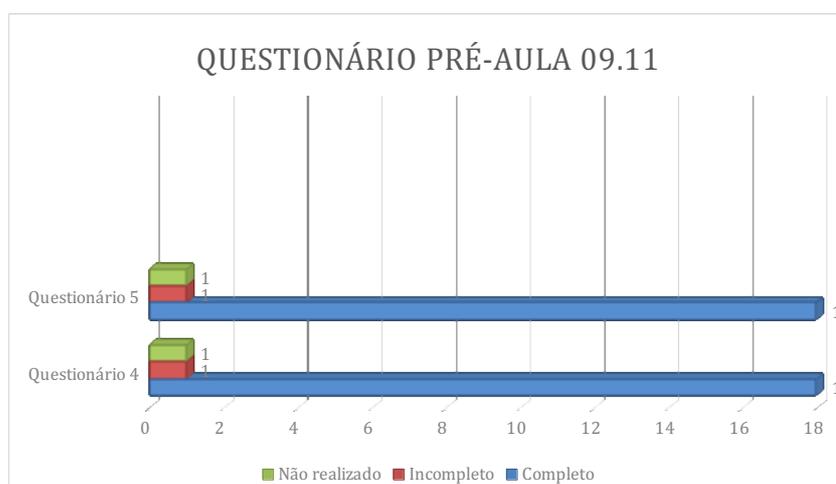
Fonte: Autoria própria.

Dos 20 alunos em sala de aula, 19 realizaram o primeiro questionário no prazo estabelecido, antes do dia 04.11, porém, um aluno entregou com atraso algumas semanas após o primeiro encontro, por e-mail; o segundo questionário teve uma diminuição da quantidade de

peças que o fizeram, com total de 16 finalizados, dois incompletos e dos dois alunos que não realizaram o questionário no prazo estabelecido, um aluno entregou algumas semanas depois via e-mail; os 19 estudantes completaram o terceiro questionário e o único que não havia realizado no prazo entregou por e-mail, posteriormente. Diante disso, pode-se concluir que o primeiro questionário foi bem aceito, bem como o último, que possuía conteúdo mais fácil, enquanto o segundo questionário teve uma maior evasão.

A participação dos alunos nos questionários 4 é apresentada na figura 85, com 9 perguntas abertas e o questionário 5, com 8 perguntas abertas:

Figura 85 – Questionário pré-aula para o segundo encontro

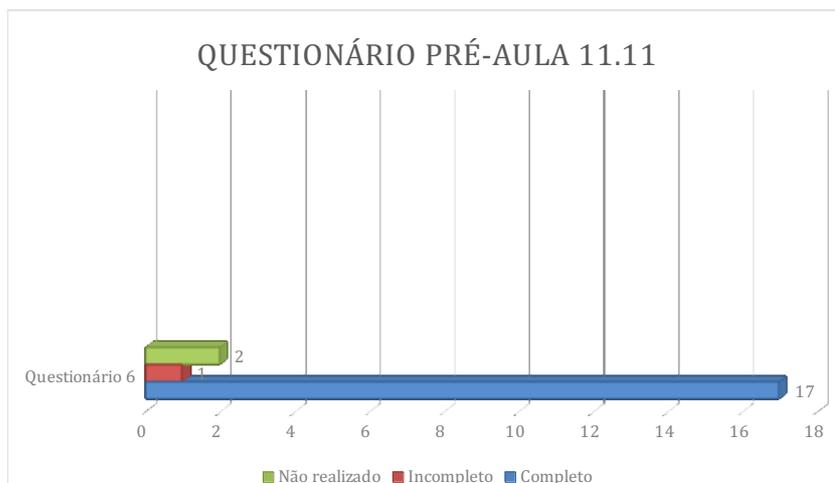


Fonte: Autoria própria.

Para o segundo encontro foi proposto dois questionários, que tiveram a mesma frequência de participação, em ambos, 18 alunos finalizaram, enquanto um aluno não completou e outro aluno não executou. Constatou-se que o mesmo aluno não estava realizando nenhum dos questionários e, por isso, a professora entrou em contato e o discente alegou erro ao acessar o *moodle*; após esse ajuste, o estudante passou a entregar por e-mail após a data estabelecida.

A participação dos estudantes no questionário 6 do dia 11.11, é apresentado na figura 86, com total de 10 perguntas, teve o total da participação de 17 alunos, dos dois alunos que não realizaram, um deles enviou as respostas via e-mail algumas semanas depois.

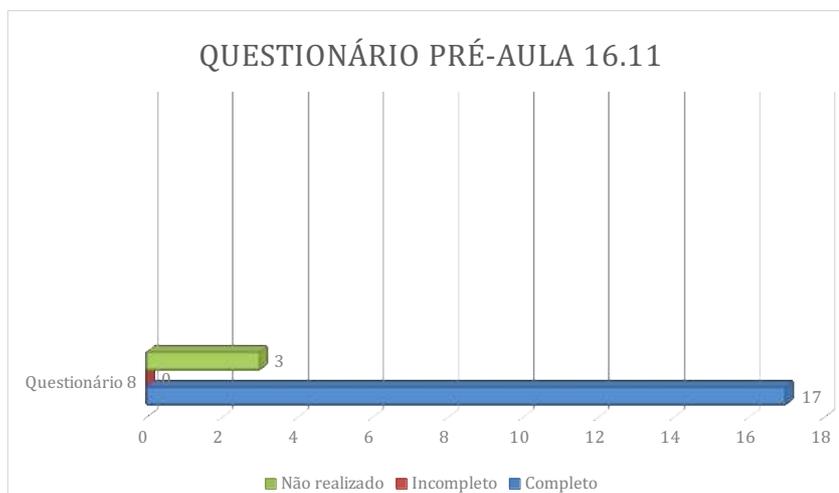
Figura 86 – Questionário pré-aula para o terceiro encontro



Fonte: Autoria própria.

A participação dos alunos no questionário 7 pré-aula do dia 16.11 com 5 perguntas abertas é apresentada na figura 87. O questionário 7 teve participação total de 17 pessoas e das três que não executaram, uma entregou por e-mail posteriormente.

Figura 87 – Questionário pré-aula para o quarto encontro



Fonte: Autoria própria.

Os dados coletados serviram como base para o entendimento da dinâmica da turma como uma forma de verificar a aceitabilidade da proposta diante dos estudantes; a média de participação na execução completa dos questionários foi de 88,5%, mostrando uma boa participação dos alunos nas atividades prévias a aula.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença da tecnologia na rotina dos estudantes está cada vez mais evidente e, em consequência desse avanço, os estudantes possuem um acesso muito rápido à informação, que possibilita, também, contribuir e compartilhar experiências com pessoas ao redor do mundo. As inovações pedagógicas buscam usar essas ferramentas tecnológicas como instrumentos facilitadores em sala de aula na tentativa de mudar a postura do estudante, permitindo uma estratégia que o leve a ampliar a sua participação nas atividades em sala de aula e torná-lo ativo no seu processo de ensino-aprendizagem, tal que intente em assumir uma postura protagonista.

A partir disso, foi proposto a criação de uma sequência de ensino, utilizando a sala de aula invertida e a técnica do SCALE-UP, desenvolvida, inicialmente, para ser aplicada em atividades no Ensino Superior, mas que nesse trabalho se procurou adaptá-la junto ao Ensino Básico, visando proporcionar ao aluno a habilidade de resolução de problemas; autonomia intelectual na busca de solucionar suas próprias dificuldades; trabalho em grupo; promovendo as atividades em equipe e, diante disso, a criação de uma rede de colaboração entre colegas para que realizem projetos, atividades, tarefas e atribuições juntos. O SCALE-UP transforma o ambiente de sala de aula para favorecer o protagonismo do estudante e facilitar a interação entre eles e o professor, além disso, propõe atividades de investigação e experimentação realizadas coletivamente e utiliza a sala de aula invertida como ferramenta.

Na abordagem do SCALE-UP é empregada a sala de aula invertida, em que os alunos devem se preparar antes das aulas, por isso, utilizou-se o programa *moodle* para adicionar os vídeos e materiais que os alunos consultaram antes dos encontros com a professora, bem como responder os questionários propostos. Em cada encontro, após o momento de estudo prévio, em sala de aula, houve a utilização do simulador computacional PhET colorado para investigar a física por trás dos fenômenos e, em seguida foi realizado um quiz no site do *quizizz*²⁸, para conectar a física do simulador aos assuntos desenvolvidos em casa. Além da utilização dos simuladores computacionais, foram executados dois experimentos em sala de aula – medir a espessura de um fio de cabelo a partir da difração de ondas e detectar partículas a partir do experimento da câmara de nuvens.

Constatou-se que, durante a aplicação da sequência de ensino, houve um aumento na participação dos estudantes nas tarefas realizadas – seja nos questionários, nas discussões e quizzes realizados em sala de aula, pois, o estudante assume responsabilidade e é auto

²⁸ <https://quizizz.com/admin/presentation/618974f25a7e1d001d6e52ce>.

direcionado na sua própria aprendizagem, em consequência ao rompimento do seu papel passivo. Dessa forma, verificou-se que, em média, 88,5% dos estudantes executaram os questionários no prazo estabelecido, prévio ao encontro presencial. Esse resultado demonstra que os estudantes, de fato, consultaram os materiais prévios, propostos pela sala de aula invertida. Além disso, resultados positivos foram identificados junto aos *quizziz* realizados em sala de aula, que em média, tiveram acima de 60% de acerto, sinalizando uma perspectiva em que os estudantes obtiveram sucesso no estudo prévio, embora, o presente trabalho não esteja avaliando o aprendizado dos estudantes, mas outrossim realizando um relato da aplicação da proposta, não obstante destacamos a porcentagem satisfatória de acertos, como um indicativo de que os estudantes se adequaram à proposta da técnica do SCALE-UP.

Considerando os resultados obtidos, pode-se identificar que o SCALE-UP é uma técnica de ensino promissora e pode ser aplicada junto à Educação Básica. Dessa forma, espera-se que esse trabalho possa trazer contribuições no entendimento do SCALE-UP, permitindo aos professores a adaptação da proposta e aplicação dessa técnica de ensino junto a sala de aula no ensino médio, visando a melhoria do Ensino de Física.

Em conclusão, o trabalho despertou o interesse na continuidade de pesquisas sobre as metodologias ativas e servirá como base para um futuro doutoramento.

REFERÊNCIAS

- AMBIENTE PEDAGÓGICO COLABORATIVO, OAC 2273. A teoria da natureza da luz. Disponível em:
<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/portal/educadores.php?PHPSESSID=200605142119582> 3. Acesso em: 28 mar. 2021.
- ALMEIDA, Martinho Isnard Ribeiro de; FRANCESCONI, Milton; FERNANDES, Priscila Pereira. Manual para Desenvolvimento de Pesquisa Profissional. São Paulo: Atlas, 2018.
- BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. M. (Org.). Ensino Híbrido: Personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre: Penso, 2015.
- BARROS, Ana Cristina Viana; ARAÚJO, Tales Vinícius Marinho de; LIMA, Renato Abreu. Uma abordagem interdisciplinar sobre o estudo da fotossíntese. **Ensino de Ciências e Humanidades**, Manaus, v. 5, n. 3, p. 426-445, jul. 2019. Disponível em:
<https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/rech/article/view/6812/4802>. Acesso em: 07 ago. 2021.
- BEICHNER, R. J. An introduction to physics education research, in Getting Started in Physics Education Research, edited by C. Henderson and K. A. Harper (American Association of Physics Teachers, College Park, MD, 2009).
- BEICHNER, R. J.; SAUL, J. M.; ABBOUTT, D. S.; MORSE, J. J.; DEARDORFF, D. L.; ALLAIN, R.J.; BONHAM, S. W.; DANCY, M. H.; RISLEY, J. S. Student-Centered Activities for Large Enrollment Undergraduate Programs (SCALE-UP) project. In: REDISH, E. F.; COONEY, E. F. (eds) Research Based Reform of University Physics. American Association of Physics Teachers, 2007.
- BEICHNER, Robert J et al. The Student-Centered Activities for Large Enrollment Undergraduate Programs (SCALE-UP) Project. Raleigh, NC: North Carolina State University, 2008. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/228640855_Student-centered_activities_for_large_enrollment_undergraduate_programs_SCALE-UP. Acesso em: 16 fev. 2021. Acesso em: 16 fev. 2021.
- BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. Flip your classroom: reach every student in every class every day. Flipped Learning Series – Ebook. Washington, DC: International Society for Technology in Education, 2012.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Editora, 1994.
- CAPONE, Roberto; SORBO, Maria Rosaria del; FIORE, Oriana. A Flipped Experience in Physics Education Using CLIL Methodology: Roberto Capone. **Eurasia Journal Of Mathematics, Science And Technology Education**, Fisciano, v. 13, n. 10, p. 6579-6582, 29 ago. 2017 Modestum Limited. <http://dx.doi.org/10.12973/ejmste/77044>. Disponível em:
<https://www.ejmste.com/article/a-flipped-experience-in-physics-education-using-clil-methodology-5048>. Acesso em: 16 fev. 2021.

CARMEAN, C.; Haefner, J. Mind over matter: Transforming course management systems into effective learning environments. *Educause Rev.* 37 (6), 26 (2002). Available online at <http://www.educause.edu/apps/er/erm02/erm026.asp>. Acesso em: 20 jun. 2021.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. Sobre a necessidade do conceito de fóton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 2-7, fev. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2021-0011>.

CORDEIRO, K. M. D. A. (2020). O Impacto da Pandemia na Educação: A Utilização da Tecnologia como Ferramenta de Ensino. Disponível em: <http://oscardien.myoscar.fr/jspui/handle/prefix/1157> . Acesso em: 12 jun. 2021.

DALE, E. *Audio-Visual Methods in Teaching* (Holt, Rinehart, & Winston, 1969).

DIFFEY, B L. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. **Physics In Medicine And Biology**, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 299-328, 1 mar. 1991. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/36/3/001/pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021.

FEYNMAN, Ricard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Lições de Física: the feynman lectures on physics**. 2. ed. Porto Alegre: Pearson Education, Inc., 2008. p. 1-572. Fonte da figura de ondas eletromagnéticas: <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/241L/emwaves/emwaves.htm>. Acesso em: 08 jan. 2021.

GERSTEIN, J. *Moving from Education 1.0 Through Education 2.0 Towards Education 3.0, Experiences in Self-Determined Learning*, (2014), p. 83-98.

GRIFFITHS, David J. *Introduction to electrodynamics*. 4th Edition, Glenview – IL: Pearson Education, Inc., 2013.

GRIFFITHS, David J. *Introduction to elementary particles*. 2. ed. [S. l.]: Wiley VHC, 2008.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física*. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 4

JUNGER, Alex Paubel; AMARAL, Luiz Henrique; LEITE, Guilherme Henrique Coiado; PETARNELLA, Leandro; LUI, Márcio de La Cruz. A geração imediatista e a comunicação audiovisual. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 7, n. 11, p. 1-24, 31 maio 2018. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v7i11.441>. Acesso em: 16 fev. 2021.

KARAMUSTAFAOGLU, Orhan. Active learning strategies in physics teaching: orhan karamustafaoglu. **Energy Education Science And Technology Part B: Social And Educational Studies**. Education Faculty, Amasya University, Amasya, Turkey, p. 27-50. 08 jan. 2009. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=ED504252>. Acesso em: 16 fev. 2021. LAGUBEAU, Guillaume; TECPAN, Silvia; HERNÁNDEZ, Carla. Active learning reduces academic risk of students with nonformal reasoning skills: evidence from an introductory physics massive course in a chilean public university. *Physical Review Physics Education Research*, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 1-6, 14 jul. 2020. American Physical Society (APS).

<http://dx.doi.org/10.1103/physrevphyseducres.16.023101>. Disponível em:
<https://arxiv.org/abs/1909.01235>. Acesso em: 16 fev. 2021.

LEA, Susan J.; STEPHENSON, David; TROY, Juliette. (2003) Higher Education Students' Attitudes to Student-centred Learning: Beyond 'educational bulimia'?, *Studies in Higher Education*, 28:3, 321-334, DOI: 10.1080/03075070309293

LENGEL, James G. *Education 3.0: Seven steps to better schools*. New York, NY: Teachers College, Columbia University, 2013.

LIMA, Marcelo Costa de. Sobre o surgimento das equações de Maxwell. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 41, n. 4, p. 1-18, jul. 2019. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2019-0079>. Acesso em: 16 fev. 2021.

MARTIN, B. R.; SHAW, G.. **Particle Physics**. 3. ed. West Sussex: A John Wiley And Sons, Ltd, Publication, 2008. 469 p.

MARTINS, Roberto de Andrade. Física e História. **Cienc. Cult.** São Paulo , v. 57, n.3, p. 25-29, Sept. 2005. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252005000300015&script=sci_arttext. Acesso em: 09 jun. 2021.

MAXWELL, James Clerk. **A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field**. London: Phylosophical Transactions Royal Society, 1865. Disponível em:
<http://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1865.0008>. Acesso em: 09 jun. 2021.

MORAN, J. M. *A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá*. 5. ed. Campinas: Papirus, 2012.

MORAN, J. M. Mudando a educação com metodologias ativas. In: *Convergências midiáticas, educação e cidadania: aproximações jovens*. 2015. Disponível em: <http://rh.unis.edu.br/wp-content/uploads/sites/67/2016/06/Mudando-a-Educacao-com-Metodologias-Ativas.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2021.

MORAN, J. M.; MASETTO, M. T.; BEHRENS, M. A. *Novas tecnologias e mediação pedagógica*. 21. ed. rev. atual. Campinas: Papirus, 2013.

MORAN, J. Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda. In: BACICH, L.; MORAN, J. (Org.). *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática*. Porto Alegre: Penso, 2018.

MOREIRA, José E; MONTENEGRO, Betânia. *Newton, Huygens e a Natureza da Luz*. Disponível em: Acesso em: 29 mar. 2021.

MORENO, M. Q. Thomas Young e a natureza da luz. *Ciência Hoje*, col 33, n. 198, p. 68-70. Disponível em:
<http://cienciahoje.uol.com.br/materia/resources/files/chmais/pass/ch198/memoria.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2021. SILVA, O. H. S. Acesso em: 16 fev. 2021.

NARDI, R. org. *Ensino de ciências e matemática, I: temas sobre a formação de professores* [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 258 p. ISBN 978-

85-7983-004-4. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

NCSU. SCALE-UP: Student-Centered Active Learning Environment with Upside-down Pedagogies, 2011. Disponível em: <http://scaleup.ncsu.edu/>. Acesso em: 23 mar. 2021.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. Curso de física básica: ótica, relatividade e física quântica. São Paulo: E. Blücher, 2002.

NUSSENZVEIG, Moysés. Curso de física básica 3 – Eletromagnetismo. 1.º Edição, São Paulo – SP: Editora Edgard Blücher LTDA, 1997. Disponível em: http://www.ufrgs.br/espmat/disciplinas/geotri2014/modulo6/prob_fisica.html. Acesso em: 07 julho 2021.

OLIVEIRA, J. L. (2018). Ensinar e aprender com as tecnologias digitais em rede: possibilidades, desafios e tensões. *Revista Docência e Ciberultura*, 2(2), 161-184. <https://doi.org/10.12957/redoc.2018.33476>. Acesso em: 06 fev. 2021.

OLIVEIRA, Muriel Batista de; SILVA, Luiz Claudio Tavares; CANAZARO, Joelmir Vinhoza; CARVALHIDO, Maria Luiza Lacerda; SOUZA, Rômulo Rodrigues C. Delfino; BUSSADE NETO, Jamil; RANGEL, Daniele Perissé; PELEGRINI, José Fernando de Menezes. O ENSINO HÍBRIDO NO BRASIL APÓS PANDEMIA DO COVID-19 / HYBRID TEACHING IN BRAZIL AFTER COVID-19 PANDEMIC. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 918-932, 2021. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n1-061>. Acesso em 17 jun. 2021.

PASINI, C. G. D.; CARVALHO, E.; ALMEIDA, L.H. C. A educação híbrida em tempos de pandemia: algumas considerações. In: Observatório Socioeconômico da COVID-19 (OSE). 2020. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/820/2020/06/Textos-para-Discussao-09-Educacao-Hibrida-em-Tempos-de-Pandemia.pdf>. Acesso em: 10 jan. 21

PESCADOR, Cristina M.. TECNOLOGIAS DIGITAIS E AÇÕES DE APRENDIZAGEM DOS NATIVOS DIGITAIS. **Congresso Internacional de Filosofia e Educação**. Caxias do Sul, p. 1-10. maio 2010. Disponível em: https://www.ucs.br/ucs/tplcinfo/eventos/cinfo/artigos/artigos/arquivos/eixo_tematico7/TECNOLOGIAS%20DIGITAIS%20E%20ACOES%20DE%20APRENDIZAGEM%20DOS%20NATIVOS%20DIGITAIS.pdf. Acesso em: 07 jan. 2021.

RAMUNNO, G. S. P. S. L. **SCALE-UP: a case study**. 2019. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. RESNICK, ROBERT, and ROBERT Eisberg. "Física Quântica-Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas." Editora Campus (1979).

SAVINI, A.; BOWERS, B. From Oersted to Ampere: 1820, Annus Mirabilis for the Electric Sciences [Historical Corner]. In: *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 62, no. 5, pp. 138-142, Oct. 2020, doi: 10.1109/MAP.2020.3012943.

SENGUPTA, D. L.; SARKAR, T. K. Maxwell Hertz the Maxwellians and the Early History of EM Waves. In: *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 45, no. 2, pp. 13-19, 2003.

SILVA, Edna Lúcia da. MENEZES, Estera M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 3ª ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SIVAN, Atara; LEUNG, Roberta Wong; WOON, Chi-Ching; KEMBER, David. An Implementation of Active Learning and its Effect on the Quality of Student Learning. **Innovations In Education And Training International**, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 381-389, jan. 2000. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/135580000750052991>. Acesso em: 16 fev. 2021.

SOARES NETO, Raimundo Nonato de Araujo. REVOLUÇÃO INFORMACIONAL, NOVAS TECNOLOGIAS E CONSUMO IMEDIATISTA. **Cadernos de Campo: Revista de Ciências Sociais**, [s. l.], v. 1, n. 16, p. 111-124, jun. 2012. Disponível em: <https://periodicos.fclar.unesp.br/cadernos/article/view/7319>. Acesso em: 08 jan. 2021.

STRUNK, Amber; GAZDOVICH, Jennifer; REDOUTÉ, Oriane; REVERTE, Juan Manuel; SHELLEY, Samantha; TODOROVA, Vesela. Model PET Scan Activity. **The Physics Teacher**, [S.L.], v. 56, n. 5, p. 278-280, maio 2018. American Association of Physics Teachers (AAPT). <http://dx.doi.org/10.1119/1.5033868>. Acesso em: 06 fev. 2021.

THOMPSON, J. (2007). Is Education 1.0 Ready for Web 2.0 Students?. *Innovate: Journal of Online Education*, 3(4),. Retrieved July 31, 2021 from <https://www.learntechlib.org/p/104227/>.

VIEIRA, Cássio Leite. História da Física - Artigos, ensaios e resenhas. 1. ed. Rio de Janeiro: CBPF, 2015. v. 1.

WILCZEK, F. QCD made simple. *Phys. Today* 53, 22–28 (2000).

WOITHE, Julia. CLOUD CHAMBER Do-it-yourself manual. S'cool Lab. Geneva, p. 1-13. out. 2016. Disponível em: https://indico.cern.ch/event/508578/contributions/2327916/attachments/1367925/2073120/SCoolLAB_CloudChamber_DIYManual_2016_v2.pdf. Acesso em: 07 mar. 2021.

WOLFE, Elizabeth Jane, Evaluating the Use of the SCALE-UP Teaching Methodology for an Undergraduate Database Systems Course. B.A., McGill University, 1998.

XUEFENG WEI. **Effect of the flipped classroom on the mathematics performance of middle school students. Educational Technology Research And Development**, [S.L.], v. 68, n. 3, p. 1461-1484, 20 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11423-020-09752-x>. Acesso em: 16 fev. 2021.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física IV - Ótica e Física Moderna. 12a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

ZABALA, Antoni. A prática educativa: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZU, Tianlong; MUNSELL, Jeremy; REBELLO, N. Sanjay. Comparing retrieval-based practice and peer instruction in physics learning. **Physical Review Physics Education Research**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 1-9, 10 jan. 2019. American Physical Society (APS). <http://dx.doi.org/10.1103/physrevphyseducre.15.010105>. Acesso em: 10 fev. 2021.

APÊNDICE A – Produto Educacional



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

LARISSA VERISSIMO DE MEDEIROS

**UTILIZANDO A TÉCNICA SCALE-UP PARA O ENSINO DE TÓPICOS DA FÍSICA DE
PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO**

PRODUTO EDUCACIONAL

CAMPINA GRANDE

2022

LARISSA VERISSIMO DE MEDEIROS

**UTILIZANDO A TÉCNICA SCALE-UP PARA O ENSINO DE TÓPICOS DA FÍSICA DE
PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física – Polo 048 da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio.

CAMPINA GRANDE

2022

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

INTRODUÇÃO

A sequência de ensino a seguir trata de uma proposta de inserção do conteúdo de Física de Partículas no ensino médio utilizando a técnica SCALE-UP (*Student-Centered Active Learning Environment with Upside-down Pedagogies*). O SCALE-UP é baseado na sala de aula invertida e divide a aula em três momentos: as atividades tangíveis, que propõe a utilização de experimentos e/ou simulações computacionais em sala de aula, para que os alunos investiguem fenômenos, obtenham dados e discutam com os colegas possíveis explicações para o evento investigado; as atividades ponderáveis que são problemas teóricos em que os alunos devem buscar a solução em conjunto; e os momentos de discussão e integralização do conteúdo trabalhado em aula, onde o(a) professor(a) irá debater sobre o conteúdo aplicado no experimento ou simulação computacional, conectado ao conteúdo estudado em casa, pelos estudantes (BEICHNER *et al.*, 2007).

Fará parte da sequência de ensino experimentos simples e de baixo custo e a utilização de simuladores computacionais para a investigação do fenômeno. Nessa metodologia, a turma é dividida em grupos que ficarão dispostos em mesas circulares e o objetivo é interagirem e trabalharem juntos de forma a fomentar a discussão entre os discentes.

JUSTIFICATIVA

A Física de Partículas é uma área em desenvolvimento com um vasto campo de pesquisa, com aplicações diversificadas e investigações de problemas ainda em abertos. Diante disto, é relevante a discussão sobre tópicos que ainda estão em desenvolvimento para que os alunos percebam a ciência como um conjunto não acabado, buscando refutar a associação da ciência como uma construção de verdades absolutas incontestáveis (CHAUÍ, 2004). Essa ponderação é reforçada especialmente para a física, quando os estudantes dubiamente a associam como uma área totalmente completa e que é possível explicar todos os fenômenos observáveis com os conhecimentos já estabelecidos.

Apresentar tópicos da Física de Partículas traz ao discente a possibilidade de investigar e se aprofundar em uma visão dinâmica da ciência, favorecendo a atividade e o engajamento do estudante, que devem ser estimulados a buscar explicações para seus próprios

questionamentos, apoiados na física, de modo a perceber que o conhecimento não é desenvolvido instantaneamente, mas que há uma construção, muitas vezes lenta e contínua por trás do desenvolvimento científico.

A construção de um produto educacional com uma proposta de inserção do conteúdo de Física de Partículas vem de um interesse em discutir a Física de Partículas e trazer as metodologias ativas na roupagem do SCALE-UP como uma ferramenta para alterar, baseado nos dados da literatura, a dinâmica da sala de aula, onde a atividade do aluno busca fazê-lo refletir de maneira mais crítica e participativa.

PERCURSO METODOLÓGICO

O planejamento de cada encontro foi desenvolvido seguindo a sequência de aplicação do SCALE-UP (BEICHNER, 2008), e como suporte à nossa sequência de ensino, utilizaremos as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), exclusivamente empregando recursos de simulação computacional e apoiados à plataforma digital *moodle*. O SCALE-UP trata de redimensionar a sala de aula, pois a turma é dividida em equipes que precisam trabalhar juntos para promover o uso das técnicas de aprendizagem em que o aluno é o centro desse processo. A configuração da sala de aula propõe facilitar a comunicação entre os estudantes e o professor, e por isso, as carteiras individuais são substituídas por mesas circulares que acomodam os alunos. Além disso, o SCALE-UP possui uma sequência de aplicação que separa a sala de aula em três momentos:

1) Atividades tangíveis: os alunos realizarão uma atividade de simulação computacional ou atividade experimental simples para verificação do fenômeno. Exemplo: determinar a espessura de uma folha do caderno do aluno e utilizar o resultado para determinar o diâmetro de um ponto final ao final de uma frase no livro (BEICHNER *et al.*, 2007, p. 14).

2) Atividades ponderáveis: correspondem a problemas que os alunos deverão solucionar e discutir entre si. As soluções podem ser compartilhadas para toda a turma. Exemplo: Quanto tempo uma bola de boliche percorre a pista antes de parar de deslizar e apenas rolar? Quantos passos são necessários para cruzar o Brasil? (BEICHNER *et al.*, 2007, p.15). Os problemas envolvem os assuntos estudados em casa previamente e as atividades tangíveis já realizadas no primeiro momento da aula.

3) Discussões e momentos de fechamento: essa etapa da aula é o momento de formalização e integralização do conteúdo visto em sala, ocorrendo uma interligação dos experimentos e problemas.

SEQUÊNCIA DE ENSINO

TEMA:

UTILIZANDO A TÉCNICA SCALE-UP PARA O ENSINO DE TÓPICOS DA FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO.

Número de aulas: 4 encontros com 17 aulas de 50 minutos cada.

Público-alvo: Alunos da 2ª série do ensino médio.

Objetivo geral:

- Discutir tópicos de física das partículas elementares utilizando a técnica SCALE-UP.

Objetivos específicos:

- Iniciar uma discussão com os alunos para introduzir novas áreas da ciência.
- Conectar conceitos físicos às tecnologias atuais.
- Criar um ambiente de aprendizagem que estimule os estudantes a colaborarem com seu grupo, questionando e ensinando uns aos outros (BEICHNER, 2008).

Utilizaremos no texto um layout personalizado, que favorece a inclusão de grafismos próprios do trabalho de sala.

1º ENCONTRO



Duração: 5 aulas de 50 minutos cada.

Objetivo:

- Apresentar o conceito de onda eletromagnética como oscilação de **campos elétricos** e **magnéticos** e discutir os fenômenos ondulatórios de **interferência** e **difração**.

Justificativa:

- Compreender o conceito de onda eletromagnética como campos elétricos e magnéticos oscilantes é essencial para abordar temas como o funcionamento de antenas de emissão e recepção de ondas, que explica como os celulares enviam e recebem mensagens/ligações, explicar, também, o funcionamento de aparelhos tecnológicos, como: forno de micro-ondas, aparelhos de Raio-X, ressonância magnética, controle remoto etc.

Desenvolvimento:

- A proposta do SCALE-UP sugere separar a aula em três atividades (BEICHNER, 2008): As tangíveis, as ponderáveis e as de discussão. As tangíveis, o professor associa experimentos físicos ou simulações computacionais ao conteúdo estudado em casa, previamente; as ponderáveis, são problemas em que os alunos devem discutir entre si,

buscando a solução em conjunto; e as discussões, que são os momentos de fechamento e de formalização dos conteúdos trabalhados em aula.

- O(A) professor(a) irá postar na plataforma digital o material que os alunos deverão acessar previamente, de maneira a prepararem-se para a discussão em sala de aula. Seguindo o método SCALE-UP os alunos terão no primeiro momento de aula o contato com um simulador computacional para discutir entre si e descrever o fenômeno observado; no segundo momento, os alunos deverão realizar as rotações de ilhas, em que os grupos são unidos para discutir possíveis equívocos na investigação do simulador e responder problemas propostos; em seguida, no terceiro momento, dois experimentos relacionados ao conteúdo de difração e interferência de ondas serão realizados; e por fim, no quarto momento, o(a) professor(a) iniciará uma apresentação pelo *quizziz* para discutir sobre os fenômenos ondulatórios estudados previamente e associá-lo com as atividades realizadas em sala de aula.

Material prévio apresentado na plataforma digital *moodle*:

- **Vídeo 1: “Viagem à eletricidade - entre o mais e o menos”**, desenvolvido por Jacques Rouxel e produzido por *Animation Art-graphique Audiovisuel*, em 1981, duração 5:09. O vídeo apresenta de forma simples a noção básica do que é a eletricidade e como gerá-la a partir de uma diferença de potencial. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=WpIGGtN5BTA&list=PLYfrhgvQ39rW_WIYQgEK04nr5rSz1rgGP&index=2. Acesso em: 10 de out. 2021.
- **Vídeo 2: “Viagem à eletricidade – corrente alternada”**, desenvolvido por Jacques Rouxel e produzido por *Animation Art-graphique Audiovisuel*, em 1981, duração 4:51. O vídeo inicia um diálogo sobre as baterias e seu funcionamento e, em seguida, explica como um ímã gera uma corrente elétrica alternada. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gUa4ub4RIHY>. Acesso em: 10 de out. 2021.
- **Vídeo 3: “Interferência e difração explicadas”**, desenvolvido por Pedro Loss, em *Ciência Todo Dia*, duração 9:23. O vídeo define o que é uma onda e apresenta suas características, em seguida, os fenômenos ondulatórios, em especial o experimento da fenda dupla de Young, que foi importante para corroborar com a teoria ondulatória da luz. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=edidweXxbqU&t=277s>. Acesso em: 10 de out. 2021.

- **Vídeo 4: “Is radiation dangerous?”**, desenvolvido por Matt Anticole e produzido por TED-Ed, com duração de 5:20. O vídeo apresenta a diferença entre radiação produzida por ondas eletromagnéticas e a radiação produzida pelo decaimento do núcleo atômico, em seguida, demonstra que nem toda radiação é perigosa, apenas as que são classificadas como ionizantes, pois são capazes de arrancar elétrons dos átomos. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zI2vRwFKnHQ&t=157s>. Acesso em: 10 de out. 2021.
- **Texto 1: “Cor estrutural, a nanotecnologia da natureza que poderá substituir os corantes e tingimento têxtil”**. O texto apresenta a origem das cores de alguns animais a partir da interferência de onda da luz, e não da coloração natural dos pigmentos, e como essa descoberta pode mudar a indústria têxtil e ser uma alternativa ecológica para a substituição de pigmentos e corantes sintéticos pela cor estrutural. Disponível em: <https://www.stylourbano.com.br/cor-estrutural-a-nanotecnologia-da-natureza-que-podera-substituir-os-corantes-e-tingimento-texil/#:~:text=A%20cor%20estrutural%20%C3%A9%20um,sustent%C3%A1vel%20na%20ind%C3%BAstria%20da%20moda>. Acesso em: 10 de out. 2021.

Recurso:

- Computador; Questionário; Texto de divulgação científica; TV; Projetor Multimídia; Sala de Leitura e Discussão; Simulador PHET colorado; Materiais de baixo custo; Exercício; Questionário.

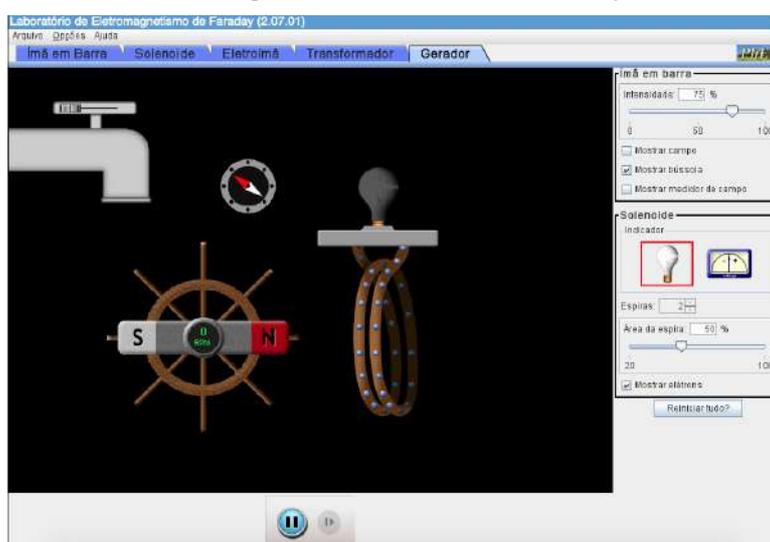
**1º MOMENTO****Atividade de simulação computacional****Tema:**

- **A geração de ondas eletromagnéticas.**

Duração: 60 minutos.

O primeiro momento será a investigação do fenômeno a partir do simulador computacional PhET colorado - Laboratório de Faraday, que será acessado por cada estudante através de computadores disponíveis nas mesas circulares, ou no próprio celular do aluno, uma vez que o PHET pode também ser utilizado pelo navegador do celular. Para essa etapa, os alunos terão 60 minutos e a partir da proposta do SCALE-UP, não será apresentada nenhuma instrução por parte do(a) professor(a). A figura 1 exibe as opções disponíveis na página do simulador.

Figura 1 – Laboratório de Faraday



Fonte: Captura da tela do simulador Laboratório de Faraday.

O objetivo do simulador é disponibilizar aos alunos uma ferramenta para que possam verificar como a variação do fluxo de campo magnético induz uma corrente elétrica na espira. A corrente é induzida quando há o movimento relativo do ímã com relação à espira e varia de sentido à medida que o polo norte ou o polo sul se aproxima ou se afasta da espira.



2º MOMENTO



rotações para discutir sobre a pesquisa



Tema:

- **Laboratório de Faraday.**

Duração: 20 minutos.

Após o uso do simulador e apoiados aos textos e vídeos entregues na preparação da aula, o objetivo do segundo momento é apresentar problemas que irão guiar uma discussão qualitativa, sem uso de expressões matemáticas, uma vez que o conteúdo de eletromagnetismo é programado para a 3ª série e a aplicação dessa sequência de ensino é para a 2ª série. A proposta das rotações dos grupos é sugerida para que os estudantes possam se unir e apresentar suas conclusões sobre o simulador para outras equipes e, a partir disso, comparar conclusões em comum, corrigir eventuais erros e responder aos problemas propostos pelo(a) professor(a). Pode ser executada mais de uma rotação, a depender do tamanho da turma, de forma que na primeira, unifica-se dois grupos, e nas demais rotações, unificam-se os grupos restantes. Abaixo são apresentados os problemas propostos nesse momento:

Problema 1:

- **O que é o campo elétrico e o campo magnético?**

O objetivo é que o estudante faça uma reflexão do campo como uma influência no espaço gerado por alguma fonte. A fonte do campo elétrico estático é uma partícula carregada eletricamente e a fonte do campo magnético estático é um ímã.

Após a discussão entre os alunos, mediada pelo(a) professor(a), partimos para o segundo problema.

Problema 2:

- **Há outra forma de gerar campo elétrico e campo magnético?**

A carga elétrica gera campo elétrico e a corrente elétrica gera campo magnético, surpreende constatar que, um campo magnético pode gerar um campo elétrico capaz de produzir uma corrente elétrica.

Problema 3:

- **O que são as ondas eletromagnéticas e como são geradas?**

No terceiro questionamento, busca-se estimular os alunos a uma discussão sobre o movimento de um dipolo acelerado, que produz um campo elétrico variável que gera um campo magnético variável, que por sua vez gera outro campo elétrico variável e assim sucessivamente.

Os campos elétricos e magnéticos se “retroalimentam”, formando uma perturbação eletromagnética que se propaga no espaço de forma independente da fonte que a gerou, sem a necessidade de admitir qualquer meio material para sustentar essa onda eletromagnética.



Atividade experimental

Tema:

- **Interferência de onda.**
- **Difração da luz.**

Duração: 100 minutos.

No terceiro momento da aula, os alunos irão solucionar dois problemas sobre difração utilizando os conhecimentos adquiridos na discussão anterior, assim como nos textos lidos em casa. São propostos dois experimentos: medir a espessura de um fio de cabelo e medir as distâncias entre as ranhuras de um CD, DVD e/ou Blu-ray. O(A) professor(a) irá disponibilizar os aparatos necessário, apresentados abaixo.

Lista de materiais para os dois experimentos:

- LASER com comprimento de onda conhecido.
- Fio de cabelo.
- Régua.
- CD, DVD e Blu-ray sem o rótulo e as camadas refletoras.

A proposta experimental sugere que os alunos solucionem os problemas utilizando unicamente os materiais disponíveis, inicialmente sem instrução por parte do(a) professor(a). O objetivo é que busquem, em conjunto descobrir quais os propósitos dos materiais nesse problema e como determinar matematicamente o que se pede. Caso os alunos precisem de

instrução, o(a) professor(a) poderá auxiliar, mas é importante que, à luz da proposta SCALE-UP, eles demandem um intervalo de tempo mínimo para mobilizar formas possíveis para solucioná-lo, a critério do docente.

PROBLEMA I:

Uma das formas mais precisas para calcular distâncias é usando a luz e o LASER em particular será a fonte de luz nesse experimento. Ao encontrar um pequeno obstáculo, ondas de luz espalham-se ao redor do obstáculo e interferem umas nas outras. Este efeito, chamado difração, é um exemplo da natureza ondulatória da luz. Diante disso, o aluno deverá coletar uma mecha grossa de cabelo e colocá-la em frente ao LASER, como apresentado na figura 2:

Figura 2 – Experimento para medir a espessura do fio de cabelo



Fonte: Autoria própria.

A figura 3 exibe o padrão de difração na parede, devido ao posicionamento do fio de cabelo em frente ao LASER.

Figura 3 – Padrão de difração produzido pela interferência de onda

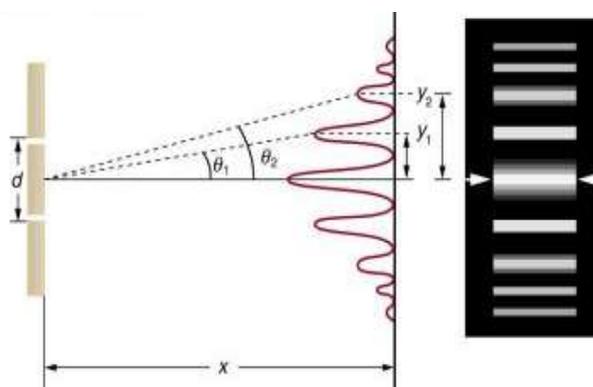


Fonte: Autoria própria.

O padrão de alternância de manchas claras e escuras que aparecem no anteparo, ocorre devido a interferências construtivas e destrutivas da luz; quando as ondas interagem de forma construtiva, a intensidade da luz aumenta. A interferência destrutiva ocorre quando as ondas estão fora de sincronia por um múltiplo ímpar de meio comprimento de onda, os picos e vales se sobrepõem perfeitamente, e efetivamente se cancelam.

Para determinar a espessura do fio de cabelo, os alunos deverão medir a distância entre o LASER, o anteparo e, também, será necessário medir a distância entre o máximo principal e o máximo secundário, como apresentado na figura 4:

Figura 4 – Medidas no padrão de difração



Fonte: Santa Rosa Junior College²⁹.

Utilizando o triângulo retângulo que envolve o ângulo θ_1 , apresentado na figura 4, os alunos poderão encontrar a relação abaixo:

$$tg\theta_1 = \frac{y_1}{x} \quad (1),$$

assumindo que $x \gg d$, o ângulo θ_1 se torna muito pequeno, e para ângulos pequenos a aproximação: $tg\theta_1 \approx sen\theta_1 \approx \theta_1$ é válida e, portanto:

$$\theta_1 = \frac{y_1}{x} \quad (2),$$

de (1) com a equação para franja de interferência: $d sen\theta_1 = \lambda$ (HALLIDAY, 2009), para primeira franja de interferência construtiva, temos:

$$d \frac{y_1}{x} = \lambda \quad (3),$$

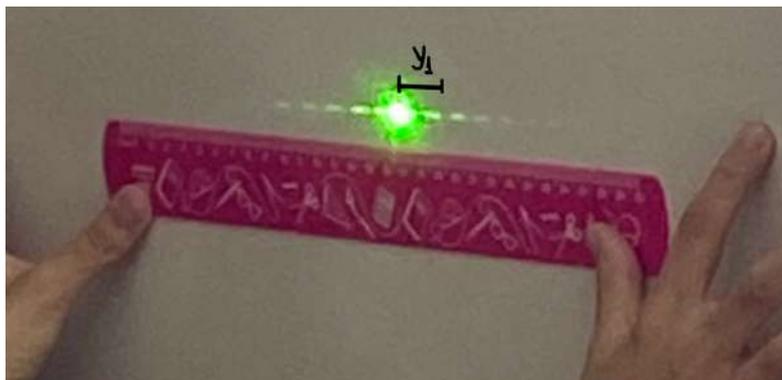
então:

$$d = \lambda \frac{x}{y_1} \quad (4).$$

²⁹ <http://srjcstaff.santarosa.edu/~lwillia2/3B/3Blab8.htm>

O comprimento de onda do LASER deve ser conhecido e indicado aos alunos e, determinando a distância entre o LASER e a parede x , encontra-se a distância entre os dois máximos y_1 , como apresentado na figura 5. Dessa forma, pode-se determinar a espessura do fio de cabelo d .

Figura 5 – Distância entre duas franjas claras consecutivas



Fonte: Autoria própria.

Os alunos deverão discutir entre si até solucionar o problema utilizando os materiais propostos. Espera-se que os grupos obtenham diferentes resultados na medida da espessura do fio de cabelo, já que os fios têm origens diferentes, mas esses resultados devem estar na mesma ordem de grandeza.

PROBLEMA II:

Medir a distância entre as ranhuras de um CD, DVD e/ou Blu-ray. Se o(a) professor(a) não têm disponibilidade dos três dispositivos para todas as equipes, pode-se realizar a atividade apenas com o CD, item mais acessível, sendo, porém, a repetição do procedimento para o DVD ou Blu-ray uma forma de comparação no tamanho das fendas, justificando as diferenças nos armazenamentos de cada dispositivo. É também possível disponibilizar CD's com diferentes armazenamentos.

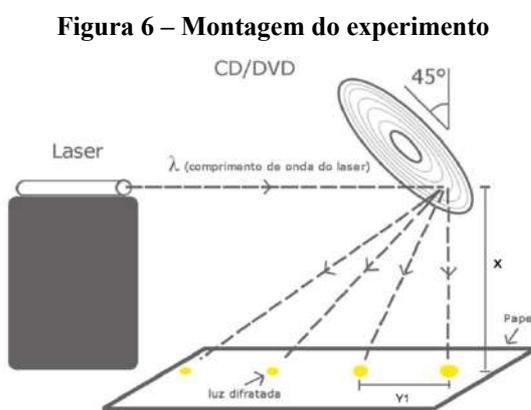
A montagem correta para o sistema não será inicialmente demonstrada aos alunos; eles deverão discutir sobre a melhor posição para que, apontando o LASER, o padrão de interferência seja exibido no anteparo. O objetivo da atividade experimental é que os alunos possam entender como os CD's armazenam dados e como essa tecnologia, mesmo que antiga, tem bastante relação com a física estudada no ensino médio.

O(A) professor(a) irá apresentar os seguintes questionamentos para os alunos responderem:

1. Determine as distâncias entre as ranhuras do CD, DVD e/ou Blu-ray.
2. Há diferença entre esses resultados? Se sim, busque explicar o porquê.

Com os questionamentos propostos, espera-se que os alunos descubram que o tamanho das ranhuras no CD é maior que no DVD que é maior que no Blu-ray, quanto menor as ranhuras, mais próximas estarão entre si e maior sua quantidade, por essa razão mais dados podem ser armazenados.

Na figura 6 é apresentada a montagem do experimento de difração do CD, DVD e/ou Blu-ray:



Fonte: IBTF (2009).

É necessário retirar, inicialmente, as camadas refletoras dos CD, DVD e Blu-ray e o CD deve ser inclinado a 45° para que o LASER possa atingi-lo e em seguida a folha de papel, os alunos irão medir a distância entre os dois máximos y_1 (dois pontos de luz) e medir a distância x entre o LASER e o anteparo. Para determinar o espaçamento entre as ranhuras, basta utilizar a mesma fórmula apresentada no experimento anterior,

$$d = \lambda \frac{x}{y_1} \quad (5).$$



4º MOMENTO

Momento de discussão

Tema:

- **A luz é uma onda eletromagnética.**
- **Fenômenos ondulatórios.**

Duração: 70 minutos.

Após as discussões sobre campo elétrico, campo magnético e a geração de ondas eletromagnéticas, o(a) professor(a) iniciará uma apresentação pelo *quizziz*: <https://quizziz.com/admin/presentation/6182a59e6a3c26001d5c99dd/ondulatoria>, cujo objetivo é guiar a discussão sobre o tema. Os alunos, durante a apresentação, irão selecionando as alternativas corretas para os problemas propostos, e assim, o(a) professor(a) terá um *feedback* de quem se preparou ou não, previamente para a aula. Após a discussão inicial, o(a) professor(a) exibirá os seguintes vídeos, em sala, sobre a interferência da luz e sobre a cor azul das borboletas *morpho*. Os vídeos selecionados estão em inglês, mas possuem legenda automática em português.

Vídeo 1: “The Original Double Slit Experiment”, por *veritasium*, postado no Youtube em fev. 2013, duração 7:39, tradução: “O Experimento Original da Fenda Dupla”. Derek Muller, produtor do vídeo, constrói um experimento da fenda dupla e leva as ruas da sua cidade e pergunta as pessoas o que acontece quando a luz atinge as duas fendas. A maioria das pessoas abordadas responde o mesmo: a luz se propaga em linha reta e, por isso, aparecerá apenas dois pontos de luz que atravessam as fendas, enquanto no resto do anteparo a luz será absorvida e não transmitida. No vídeo ele explica a interferência de onda da luz e mostra aos entrevistados o padrão exibido no anteparo, diferente do que a maioria previu, e em seguida, explica fenômeno. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Iuv6hY6zsd0&t=3s>. Acesso em: 20 fev. 2021.

Vídeo 2: “Why Is Blue So Rare In Nature?” por *It's okay to be smart*, postado no Youtube em jan. 2018, duração: 8:37, tradução: “Por que o azul é tão raro na natureza?” O vídeo mostra que a cor azul de alguns animais, como a borboleta *morpho*, não é originada por pigmentos, e sim, a partir da interferência da luz. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3g246c6Bv58&t=14s>. Acesso em: 20 fev. 2021.

Após essa discussão sobre as cores serem causadas pelo fenômeno de interferência ondulatória, será discutido uma alternativa ecológica para os pigmentos e corantes sintéticos pela cor estrutural; texto 1, compartilhado previamente.

SÍNTESE DO 1º ENCONTRO

	<p>1º momento:</p> <ul style="list-style-type: none"> Atividade investigativa de simulação - PHET: Laboratório de Faraday. <p>Duração: 60 minutos</p>
<p>2º momento:</p> <ul style="list-style-type: none"> Rotações: as equipes irão apresentar sobre as conclusões adquiridas no simulador. <p>Duração: 20 minutos</p>	
<p>4º momento:</p> <p>Atividade experimental investigativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar a espessura de um fio de cabelo. Determinar os tamanhos das ranhuras de um CD, DVD e Blu-ray e determinar a diferença entre eles. <p>Duração: 100 minutos</p>	
	<p>3º momento:</p> <p>Discussão sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> Geração de ondas eletromagnéticas. Tipos de ondas eletromagnéticas. Fenômenos ondulatórios: interferência, difração e polarização. <p>Duração: 70 minutos</p>

Fonte: Autoria própria.

2º ENCONTRO



Duração: 3 aulas de 50 minutos.

Objetivo:

- Reconstruir o conceito de onda eletromagnética inserindo o fóton como partícula mediadora.



Justificativa: A discussão sobre a interação eletromagnética com a matéria permite a introdução de conceitos de física moderna, especialmente da Física de Partículas, como o efeito fotoelétrico. Para esse momento, o objetivo é propiciar a compreensão da luz como partícula, introduzindo o fóton. Para isso, discutir sobre o efeito fotoelétrico permite introduzir a relação de Einstein para o “pacote de energia”, que associa propriedades ondulatórias às partículas, de modo que é possível explorar uma aplicação tecnológica do efeito fotoelétrico: as células fotovoltaicas.

Material prévio apresentado na plataforma digital moodle:

- **Vídeo 1: “A dualidade onda partícula”**, por Pedro Loss, produzido por Ciência Todo Dia, duração: 11:31. O vídeo descreve a diferença entre onda e partícula, apresentando o experimento de Young, que foi fundamental para corroborar a teoria ondulatória da luz; em seguida, relata o problema do efeito fotoelétrico e a solução de Einstein, que entra em conflito com as ideias da física clássica, em que a luz é considerada uma onda.

Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=CgY_zBuK2Cw&t=98s. Acesso em: 25 fev. 2021.

- **Vídeo 2: “O Modelo Padrão Explicado: A Melhor Teoria da Física”**, por Pedro Loss, produzido por Ciência Todo Dia, postado no Youtube em 4 de fev. 2021. Duração: 12:57. Pedro inicia o vídeo apresentando a definição de campo e de força; o modelo padrão: férmions e bósons; as partículas que transmitem as interações fundamentais; força eletromagnética, fraca e forte. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Kn4pAoucyMg>. Acesso em: 26 fev. 2021.
- **Vídeo 3: “What’s the smallest thing in the universe?”** por Jonathan Butterworth TED-Ed, tradução: “qual é a menor coisa no universo?”, postado no Youtube em nov. 2018. Duração: 5:20. O vídeo faz uma breve explicação sobre o que é elementar, quais são as partículas elementares no modelo padrão e quais são as interações fundamentais. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=ehHoOYqAT_U na língua inglesa com legenda em português. Acesso em: 26 fev. 2021.
- **Vídeo 4: “Strong interaction – The four fundamental forces of physics”**, por SciShow, postado no Youtube em mai. 2012. Duração: 3:36. O vídeo introduz a interação forte, responsável por manter os quarks unidos para formar prótons, nêutrons e outras partículas de hádrons. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Yv3EMq2Dgq8> na língua inglesa com legenda em português. Acesso em: 27 fev. 2021.

Recurso:

- Computador; Texto de divulgação científica; TV; Simulador PHET colorado; Exercício; Questionário.

Desenvolvimento do 2º encontro:



1º MOMENTO

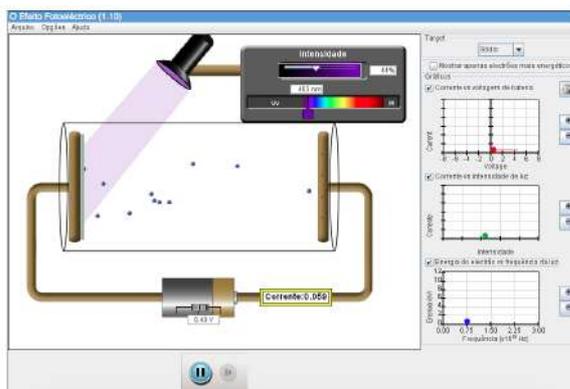
Atividade de simulação computacional

Tema: Efeito fotoelétrico.

Duração: 60 minutos.

A aula se inicia com o simulador sobre o efeito fotoelétrico e os alunos serão encorajados a acessá-lo e investigá-lo sem nenhum tutorial, cada mesa irá fazer suas análises, o(a) professor(a) pedirá para que os alunos anotem todos os dados coletados em um papel e discutam entre si durante 60 minutos, após esse tempo os resultados serão compartilhados com a turma através das rotações entre as mesas. À luz da técnica de ensino que estamos utilizando, o SCALE-UP, os alunos terão mais engajamento se não forem apresentados a nenhum modelo a seguir, isso poderá influenciar o caminho investigativo a ser seguido. Portanto, é necessário que fiquem livres para explorarem o simulador de forma independente; o(a) professor(a) ficará à disposição caso surja qualquer dúvida. A figura 7 apresenta as opções disponíveis no simulador.

Figura 7 – Simulador sobre o efeito fotoelétrico



Fonte: Captura da tela do simulador do PHET³⁰.

Objetivo:

- A disposição do simulador visa que os alunos modifiquem as condições iniciais e investiguem o fenômeno. Pode-se modificar o tipo de elemento das chapas através dos cinco tipos disponíveis, além disso, pode-se alterar a diferença de potencial da bateria, bem como a intensidade da luz e o comprimento de onda dessa luz. A finalidade dessa atividade é que o aluno seja capaz de explicar como funciona o experimento do efeito fotoelétrico e por que um modelo de fóton de luz é necessário para explicar os resultados.

³⁰ <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt>.

O que se espera do aluno:

Espera-se que os alunos possam concluir que átomos diferentes têm elétrons que estão a distâncias diferentes do núcleo e dependendo dessa distância, eles podem ter diferentes níveis de energia. Isso explica o porquê quando as placas de cobre e de platina são escolhidas no simulador, os elétrons não são ejetados, pois a função trabalho desses metais é maior que a energia de um fóton ultravioleta. A luz é uma forma de energia que podemos usar para mover os elétrons, a cor da luz tem relação com a quantidade de energia que o elétron adquire. Quando os fótons incidem sobre as placas, se eles têm energia suficiente, podem ejetar elétrons dos átomos do material.

Durante a investigação dos alunos, se o(a) professor(a) observar que algumas mesas não estão se organizando a ponto de construir algum rascunho sobre suas investigações, poderá guiar os estudantes para investigar por um caminho mais adequado. Pode-se instruí-los para que comecem a investigar com a luz a uma frequência baixa (comprimento de onda longo) e depois mover lentamente o controle deslizante até ver os elétrons se moverem. Pode-se também fazer uso de um quadro, como apresentado abaixo:

Quadro 1 – Comprimento de onda e frequência dos materiais

Metal	Comprimento de onda (nm)	Frequência (Hz)
Sódio		
Zinco		
Cobre		
Platina		
Cálcio		

Fonte: Autoria própria.

O(A) professor(a) pode fazer o seguinte questionamento:

- Comparando os comprimentos de onda e frequências no quadro acima, busque uma hipótese do porquê metais diferentes emitem elétrons a velocidades diferentes. O objetivo não é instruir os estudantes no que investigar, mas, caso o(a) professor(a) considere necessário, poderá auxiliar as mesas realizando orientações de manuseio do simulador.



☀️ Rotações para discutir sobre a pesquisa ☀️

Tema:

- Efeito fotoelétrico.

Duração: 20 minutos.

Após o momento da investigação, cada mesa deverá apresentar para outra equipe quais foram suas conclusões sobre o fenômeno investigado. A seguir são apresentados alguns questionamentos que o(a) professor(a) pode fazer enquanto os alunos estão discutindo entre si. O objetivo é que reflitam entre si e busquem uma resposta, respaldados na sua pesquisa do simulador.

- 1) O que acontece com:
 - a) A superfície do metal quando a luz o atinge?
 - b) A intensidade da luz é alterada?
- 2) Você acha que todas as intensidades de luz irão liberar elétrons?
- 3) Você acha que todos os comprimentos de onda da luz liberam elétrons?
- 4) Ajustando o comprimento de onda e a intensidade da luz. O que acontece?
- 5) O que determina se os elétrons são liberados da superfície?
- 6) A energia cinética dos elétrons extraídos da superfície depende da intensidade? Se não, de qual grandeza ela depende?
- 7) Foram investigadas as condições necessárias para que os elétrons sejam liberados de diferentes superfícies metálicas?
- 8) A frequência limite é a frequência mínima de um fóton que pode ejetar um elétron da superfície?
- 9) Como podemos mudar o número de elétrons liberados da superfície? O que você acha que afeta a quantidade de elétrons ejetados?

A teoria ondulatória não conseguia explicar o efeito fotoelétrico, pois o aumento da intensidade da luz sobre o metal deveria provocar um aumento da energia cinética dos elétrons

extraídos. Por isso, os alunos poderão verificar, a partir do experimento, que a energia cinética dos elétrons não depende da intensidade luminosa e sim da frequência da luz. Esse resultado não poderia ser explicado utilizando a teoria ondulatória da luz, e por isso, em 1905, Einstein desenvolveu uma teoria em que toda emissão ou absorção da radiação eletromagnética é realizada por meio de corpúsculos, pequenas partículas que carregam uma certa quantidade de energia definida, os fótons.



Momento de discussão

Tema:

- Efeito fotoelétrico.
- Efeito Compton.
- Natureza da luz: dualidade onda partícula.

Duração: 35 minutos.

Na primeira aula foram discutidos os campos elétricos e magnéticos para explicar a origem das ondas eletromagnéticas. Esse conteúdo será debatido novamente, mas com a justificativa de responder a seguinte pergunta: como elétrons se “comunicam” à distância? - conceito de ação à distância originado pelo fato de o eletromagnetismo ser uma interação de longo alcance.

A partir desse questionamento, o(a) professor(a), utilizando o *quizziz*: <https://quizizz.com/admin/presentation/61882d70c6c64e001dc4988c/a-dualidade-onda-particula>, desenvolverá um debate sobre a natureza da luz, o efeito fotoelétrico, já investigado pelos alunos em sala utilizando o simulador PHET; introduzindo o fóton como partícula e apresentando o antagonismo entre os modelos defendidos por Newton e Huygens, em que Newton sugeria a luz como corpúsculos e Huygens como uma onda. Tempos após a identificação da luz como uma onda eletromagnética, Einstein, retoma o conceito corpuscular, com a ideia de fótons. Entretanto, diferente da proposição de Newton, fótons não obedecem às

mesmas leis que corpúsculos no mundo clássico. O(A) professor(a) pode discutir sobre o efeito Compton, que corrobora com a teoria de Einstein, e por fim, sobre a dualidade onda partícula, desenvolvida por Luis de Broglie, considerando que todas as partículas possuem comportamentos duais; também poderá ser discutida a aplicação tecnológica mais evidente do efeito fotoelétrico, as células fotovoltaicas, que permitem geração de eletricidade a partir da luz.



4º MOMENTO

Momento de discussão

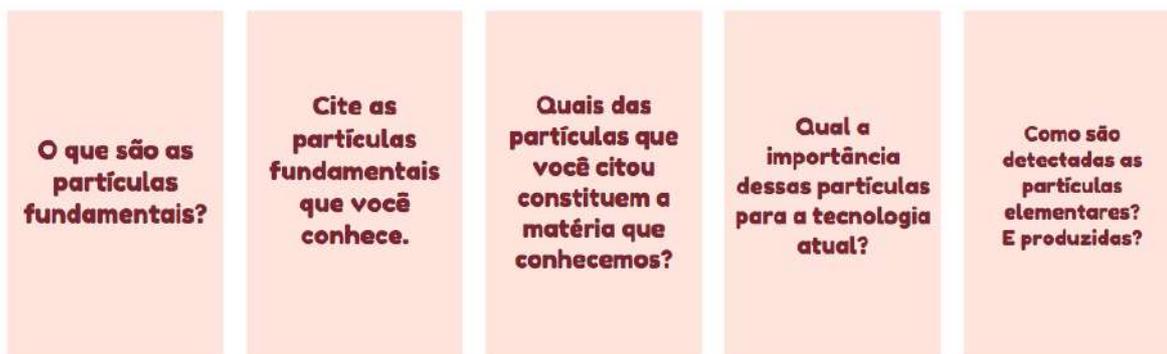
Tema:

- **O Modelo Padrão das partículas elementares.**
- **Interação eletromagnética e forte.**

Duração: 35 minutos.

A discussão sobre as partículas elementares e as interações eletromagnética e forte, tem como objetivo relacionar os tópicos já estudados previamente, a partir dos vídeos disponibilizados na plataforma digital *moodle*, com o simulador realizado em sala de aula.

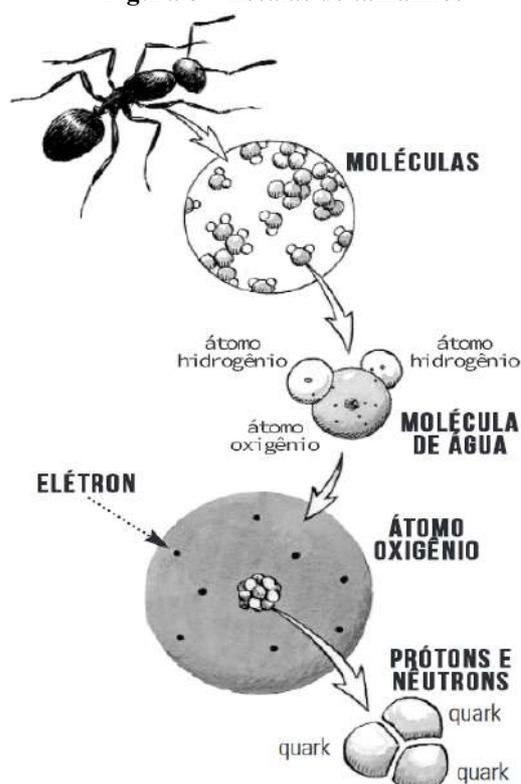
Pode-se utilizar a apresentação <https://quizizz.com/admin/presentation/618974f25a7e1d001d6e52ce/zoologico-das-particulas> sobre o zoológico das partículas, com questionamentos que os estudantes podem responder em seus smartphones. O(a) professor(a) também pode fazer os seguintes questionamentos para guiar a discussão em sala:



Nota ao professor: chame por nome alguns alunos para responder as perguntas, e com a resposta deles, perguntem aos outros alunos se concordam ou não.

O(A) professor(a) poderá fazer um recorte histórico comparativo entre a proposta dos elementos fundamentais de Demócrito, cerca de 400 a.C, com a Física de Partículas atual, buscando evidenciar a evolução do pensamento científico, que pode não ser definitiva e ainda sofrer mudanças. Sugerimos que o(a) professor(a) mencione as escalas de tamanhos, incluindo as partículas fundamentais, para mostrar o que é elementar e o que não é, como apresentado na figura 8:

Figura 8 – Escalas de tamanhos



Fonte: SAMMONS 2003, tradução nossa.

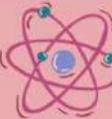
As moléculas são a menor unidade de qualquer substância nas fases gasosa, líquida e sólida, enquanto o átomo é a menor unidade de qualquer elemento da tabela periódica, porém o átomo é estruturado, em elétrons, prótons e nêutrons. Embora os prótons e os nêutrons já tenham sido considerados as menores quantidades da matéria, os físicos descobriram que estes também são estruturados, compostos por quarks. A discussão seguirá com os alunos citando as partículas que eles conhecem e quais dessas partículas constituem a matéria. A partir desse contexto, o(a) professor(a) poderá apresentar o modelo padrão de forma cronológica por descoberta, informando suas características como massa, carga e spin. Após apresentado o zoológico das partículas, o questionamento será sobre as aplicações tecnológicas dessas partículas atualmente, como elas são detectadas e criadas nos aceleradores de partículas. A importância dessas partículas vai muito além da física, a aplicação das partículas na atualidade passa pelo Raio-X, bomba atômica, energia nuclear, radioterapia, PET scan, protonterapia, etc., o objetivo da pergunta "Qual a importância dessas partículas para a tecnologia atual" é gerar curiosidade aos alunos, para estimular um ambiente em que eles possam se sentir motivados a pesquisar sobre o assunto. O tema serve para introduzi-los ao assunto da física das partículas que, no 3º encontro, será discutido suas aplicações tecnológicas.

SÍNTESE DO 2º ENCONTRO

	<p>1º momento:</p> <ul style="list-style-type: none"> Atividade investigativa de simulação - PHET: investigar sobre o efeito fotoelétrico. <p>Duração: 50 minutos</p>
---	--

<p>2º momento:</p> <p>Rotação entre ilhas: as equipes irão apresentar as conclusões adquiridas no simulador.</p> <p>Duração: 20 minutos</p>	
---	--

	<p>3º momento:</p> <p>Discussão sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> Efeito fotoelétrico. Efeito Compton. A dualidade onda partícula. <p>Duração: 35 minutos</p>
---	--

<p>4º momento:</p> <p>Discussão sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> Partículas elementares: o zoológico das partículas. <p>Duração: 35 minutos</p>	
---	--

Fonte: Autoria própria.

3º ENCONTRO



Duração: 5 aulas de 50 minutos.

Objetivo:

- Introduzir a interação fraca que rege o decaimento radioativo, discutir sobre a fissão nuclear e a radiação ionizante e não ionizante.
- Explorar as aplicações das antipartículas na medicina.
- Determinar como a antimatéria é utilizada no PET SCAN?
- Entender como antimatéria gera energia.



Justificativa: A Antimatéria é famosa na ficção científica; um exemplo aparece no livro e no filme “anjos e demônios” onde o personagem “professor Langdon” tenta salvar a Cidade do Vaticano de uma bomba de antimatéria. Outra série que aborda o tema: o Star Trek, mostra a nave estelar Enterprise que usa propulsão de aniquilação de matéria-antimatéria para viagens mais rápidas do que a luz, muitas vezes, como nesse caso, sem qualquer compromisso com princípios físicos largamente aceitos pela comunidade acadêmica. Além disso, pode se verificar o potencial energético da antimatéria, que pode se tornar uma grande fonte de energia limpa no futuro. Além dos exemplos citados, a antimatéria também possui aplicações na área da medicina. Diante disto, a discussão sobre esse tema em sala de aula é importante para que os alunos possam entender as dificuldades na criação da antimatéria e sua aplicação na tecnologia atual e para o futuro.

Material prévio apresentado na plataforma digital moodle:

O(A) professor(a) irá postar os seguintes materiais na plataforma digital para que os alunos se preparem previamente para a discussão que será realizada em sala de aula:

- **Vídeo 1: “A interação fraca”**, produzido por SciShow, publicado em jun. 2012. Duração: 3:59. O vídeo apresenta as quatro interações fundamentais, detalhando a interação fraca e o decaimento radioativo, que opera em escalas infinitesimalmente pequenas e como a interação entre as partículas do modelo padrão são regidas por essa força. Disponível em:
https://www.youtube.com/watch?v=cnL_nwmCLpY. Acesso em 20 mar. 2021.
- **Vídeo 2: “O enigma da antimatéria”**, produzido por Pedro Loss em Ciência Todo Dia. Duração: 11:32. O vídeo trata sobre a antimatéria, suas características e o problema em aberto da assimetria matéria-antimatéria. Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=LJML4ffF4i0&t=595s>. Acesso em 20 mar. 2021.
- **Texto 1: “A antimatéria: o material mais caro do mundo”** por Eduardo Akio Sato, publicado em jun. 2018, o texto explica o que é a antimatéria e como ela é detectada; a banana emite naturalmente antipartícula; e porque a antimatéria é o material mais caro do mundo. Disponível em:
<https://www.blogs.unicamp.br/tortaprimordial/2018/06/21/antimateria-o-material-mais-caro-do-mundo/>. Acesso em 20 mar. 2021.
- **Texto 2: “Antimatéria e o Universo”**, Ciência Hoje, publicado em março de 2010. O artigo começa citando o filme “anjos e demônios” em que a antimatéria foi roubada do CERN para ser usada como bomba e destruir o vaticano; explora o que é a antimatéria e o problema da assimetria matéria e antimatéria e o que acontece quando matéria colide com antimatéria; qual a relação da antimatéria com a evolução do universo. Disponível em:
<https://lhcb-public.web.cern.ch/en/lhcb-outreach/documentation/ArtigoAntimateria.pdf>. Acesso em 20 mar. 2021.
- **Texto 3: “PET Scan e assimetria matéria-antimatéria”** por Eduardo Akio Sato, publicado em jul. 2018. O texto explica como funciona a tomografia por emissão de pósitron - PET Scan, do inglês, *Positron Emission Tomography*, uma aplicação da Física de Partículas para o diagnóstico por imagens. Disponível em:
<https://www.blogs.unicamp.br/tortaprimordial/2018/07/26/antimateria-parte-2/>. Acesso em 20 mar. 2021.

Recurso:

- Simulação computacional PhET colorado: fissão nuclear e decaimento beta; textos base; vídeos base; quadro branco; computador; questionário.

Para introduzir a interação fraca que rege os decaimentos radioativos, o(a) professor(a) utilizará como escopo o decaimento radioativo; a bomba atômica: fissão nuclear; e para resgatar o conteúdo programático de ondas da 2ª série, o(a) professor(a) abordará sobre as ondas emitidas nessas explosões, quais são as radiações ionizantes e quais as aplicações tecnológicas das partículas do modelo padrão.

Desenvolvimento do 3º encontro:



1º MOMENTO

Atividade de simulação computacional

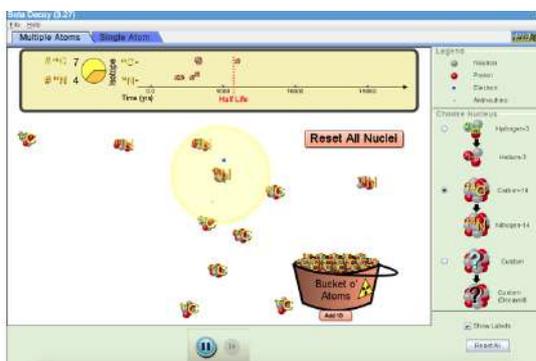
Tema:

- **A bomba atômica: fissão nuclear.**
- **Dcaimento beta.**

Duração: 60 minutos.

O momento será iniciado com a utilização do simulador do PhET colorado: decaimento beta, apresentado na figura 9. Os alunos irão, em equipes, fazer uma investigação no simulador, buscando descrever o fenômeno físico observado.

Figura 9 – Simulador de decaimento beta



Fonte: Captura da tela do simulador do PHET.

**2º MOMENTO**

Rotações para discutir sobre a pesquisa

Tema:

- **Decaimento nuclear.**

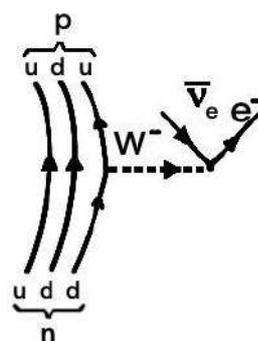
Duração: 20 minutos.

Após a investigação do simulador, (a) professor(a) apresenta os seguintes questionamentos para nortear as discussões entre as equipes:

1. **Explique o fenômeno da fissão nuclear.**
2. **O que significa o termo instável quando usado para descrever o átomo de urânio?**
3. **O que é o decaimento radioativo na sua forma mais fundamental?**

O objetivo da discussão é compreender que o decaimento radioativo é o processo de quebra de um átomo instável em outros núcleos menores. A palavra “instável” significa que o núcleo tem muitos nêutrons para se manter unido e, por isso, se transforma em dois núcleos menores. Os elementos radioativos são aqueles que possuem núcleos instáveis - o excesso de partículas ou de carga elétrica, e esses núcleos são altamente energéticos e se estabilizam emitindo espontaneamente partículas e energia, essa emissão de partículas, é conhecida como decaimento radioativo ou transmutação nuclear. O decaimento beta ocorre com a transmutação do nêutron em um próton com a emissão de um elétron e de um anti-neutrino, isso ocorre graças à interação fraca, mediada por três bósons W^+ , W^- e Z^0 , como mostrado na figura abaixo:

Figura 10 – Transformação do nêutron em próton



Fonte: Griffiths (2008).

O nêutron e o próton são partículas com propriedades similares, exceto por sua carga elétrica e massa, o nêutron possui dois quarks *down* e um quark *up*, enquanto o próton possui dois quarks *up* e um quark *down*. Quando o quark *down* do nêutron se transforma em um quark *up*, emitindo a partícula mediadora da interação fraca W^- , o nêutron se transforma em um próton e o W^- emitido decai em um elétron e um anti-neutrino do elétron. Essa transformação libera uma quantidade enorme de energia na forma de partículas gama. A radiação gama, que faz parte do espectro eletromagnético, é ionizante, ou seja, sua energia é suficiente para retirar elétrons dos átomos, e por isso, pode causar danos à saúde humana por alterar a configuração da eletrosfera atômica sobre os tecidos orgânicos, não necessariamente superficiais, podendo inclusive modificar a função desses tecidos, uma vez que a ionização pode provocar uma ligação atômica não típica para a região afetada³¹. A partir dessa discussão pode-se evocar o conteúdo de ondas eletromagnéticas desenvolvidos nos encontros anteriores, e discutir quais radiações do espectro eletromagnético pode provocar danos à saúde, ou seja, quais são as radiações ionizantes? E quais são não ionizantes?

³¹ ANJOS, Dalton Alexandre dos. FÍSICA MÉDICA APLICADA À RADIOTERAPIA. In: SANTOS, Marcos; CORRÊA, Tatiana Strava; FARIA, Luiza Dib Batista Bugiato; REIS, Paula Elaine Diniz dos; PINHEIRO, Rodrigo Nascimento. **Diretrizes oncológicas**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2018. Cap. 36. p. 573-589. Disponível em: https://diretrizesoncológicas.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Diretrizes-oncol%C3%B3gicas-2_Parte37.pdf. Acesso em: 08 ago. 2021.



3º MOMENTO

Momento de discussão

Tema:

- **A bomba atômica: fissão nuclear e a radiação ionizante.**
- **Interação fraca e seus mediadores.**
- **A antimatéria.**

Duração: 70 minutos.

Após a discussão sobre o decaimento radioativo, a radiação ionizante e não ionizante, o(a) professor(a) fará uma apresentação no *quizziz*: <https://quizziz.com/admin/presentation/618c37ca022ca7001e441360/a-antimateria>, sobre a antipartícula. O debate, também, pode ser iniciado com os seguintes questionamentos:

- 1) O que são as antipartículas?
- 2) Como detectar antipartículas? e qual foi a primeira a ser detectada?
- 3) No decaimento beta vimos a produção do antineutrino? Como é possível sua existência se o neutrino não possui carga elétrica?
- 4) O que acontece quando uma partícula encontra sua antipartícula?
- 5) O que é a assimetria matéria e antimatéria?
- 6) É possível armazenar antimatéria?
- 7) A antimatéria segue as mesmas regras da matéria?
- 8) Onde é possível criar antimatéria?
- 9) Quais são as aplicações da antimatéria na tecnologia?
- 10) Por que utilizar um desacelerador de antipartículas ao invés de usar um acelerador?

Em 1928, o físico Paul Dirac propôs que cada partícula de matéria deveria ter uma contraparte de antimatéria, que seria exatamente igual à matéria, exceto alguns números quânticos opostos, exemplo a carga elétrica. Quando a matéria e a antimatéria se encontram, elas se aniquilam, resultando em energia. Carl Anderson (1905-1991) descobriu o pósitron em 1932, quando detectava partículas de raios cósmicos, utilizando a câmara de Wilson.

Pequenas quantidades de antimatéria atravessam constantemente a Terra na forma de raios cósmicos, partículas energéticas do espaço. Essas antipartículas atingem nossa atmosfera a uma taxa que varia de menos de uma a 100 por metro quadrado (FAROU; VICENTINI, 2011), mas outras fontes de antimatéria estão ainda mais em nosso cotidiano, por exemplo, as bananas, que produzem o pósitron a cada 75 minutos. Isso ocorre porque as bananas contêm uma pequena quantidade de potássio-40, um isótopo de potássio que decai naturalmente. Conforme o potássio-40 se decompõe, ele ocasionalmente emite um pósitron no processo (FAROU; VICENTINI, 2011). Nosso corpo também contém potássio-40, o que significa que os pósitrons estão sendo emitidos pelos seres humanos espontaneamente.

A antimatéria se aniquila imediatamente ao entrar em contato com a matéria, portanto, essas partículas têm vida muito curta. A Aniquilação de matéria e antimatéria têm o potencial de liberar uma grande quantidade de energia, de forma que, um grama de antimatéria pode produzir energia equivalente ao de uma bomba nuclear (FAROU; VICENTINI, 2011). No entanto, os humanos produziram apenas uma quantidade minúscula de antimatéria e todos os antiprótons criados no acelerador de partículas *Tevatron* do *Fermilab* somam apenas 15 nanogramas, enquanto os produzidos no CERN somam cerca de 1 nanograma, no DESY na Alemanha, aproximadamente 2 nanogramas de pósitrons foram produzidos até o momento. Se toda a antimatéria já feita por humanos fosse aniquilada de uma vez, a energia produzida não seria suficiente para ferver uma xícara de chá (SATO, E. A., 2018).

O problema da criação de antimatéria está na eficiência e no custo da produção e armazenamento. Produzir 1 grama de antimatéria exigiria aproximadamente 25 milhões de bilhões de quilowatts-hora de energia e custaria mais de um milhão de bilhões de dólares (SATO, E. A., 2018).



4° MOMENTO



Momento de pesquisa



Tema:

- **Aplicações da Física de Partículas na medicina.**

Duração: 100 minutos.

Objetivo:

O objetivo da pesquisa é iniciar um estudo sobre as aplicações das partículas e antipartículas na tecnologia, especialmente na física médica. A autora decidiu fazer o momento de pesquisa com a justificativa de que esse conteúdo seria muito extenso para os alunos estudarem em casa, pois, além do material compartilhado para o momento anterior, os alunos teriam que ler e assistir a mais conteúdos sobre física médica.

Por esse motivo, para que não haja conteúdo acumulado a ser estudado previamente, a autora reservou 100 minutos para o momento de pesquisa e discussão entre os alunos da mesma equipe. Após a pesquisa, eles irão desenvolver um vídeo que será divulgado na rede social *instagram* no perfil, já existente, da turma da 2ª série. Assim, o conteúdo fica dividido entre grupos, amenizando o tempo de leitura, e todos os tópicos podem ser contemplados.

Cada equipe ficará responsável por um dos tópicos abaixo e realizará uma pesquisa sobre este tema com objetivo de gravar o vídeo instrucional. Os temas a seguir podem ser escolhidos aleatoriamente pelas equipes, ou o(a) professor(a) pode escolher qual equipe ficará com qual tema, observado que os integrantes das equipes já foram estabelecidos por eles desde o primeiro encontro. É importante que eles se sintam à vontade com seu grupo, a fim de facilitar a interação e discussão, de forma que possam dividir funções e textos a serem lidos.

Abaixo é apresentado alguns questionamentos que serão compartilhados com os estudantes antes da pesquisa, com objetivo de guiá-los, já que esse tópico não fora abordado em sala de aula e pode gerar confusão, caso não haja direcionamento.

A pesquisa é flexível e, provavelmente, teremos grupos que irão atingir outros objetivos e não necessariamente os propostos pela autora. O importante é que se sintam à vontade na pesquisa, com os materiais sugeridos pelo(a) professor(a) ou outros materiais encontrados por eles na internet e se sintam livres para o desenvolvimento e criação do vídeo. Temas:

- Aparelho de Raio-X.
- Tomografia por emissão de pósitron PET Scan.
- Radioterapia.
- Protonterapia.

O(A) professor(a) pode disponibilizar material de referência para os alunos consultarem durante sua pesquisa.

1) **Aparelho de Raio x:**

O(A) professor(a) espera que o grupo aborde os seguintes tópicos durante a apresentação, os pontos abaixo servem para guiar o grupo nas suas pesquisas:

- O que é o Raio-X?
- A história do Raio-X.
- A física por trás dos tipos de radiação: alfa, beta e gama.
- Radiação ionizante: por que faz mal à saúde? Qual das radiações citadas acima são ionizantes? Existe emissão espontânea de radiação?
- Como funciona o aparelho Raio-X?
- Os princípios da radioproteção: dose absorvida, dose equivalente e dose efetiva.
- Efeitos biológicos da radiação nos seres humanos e animais.
- O maior acidente radioativo do mundo fora de usinas nucleares; acidente césio 137 em Goiânia.

Material de apoio:

- **Vídeo 1: “Como os raios-X enxergam através da pele”** por Ge Wang, publicado em jun. 2015 pelo TED-Ed, duração: 4:42. Wang explica as ondas de raio x utilizando o contexto histórico da descoberta, por acidente, e mostra detalhes do funcionamento do aparelho de Raio-X. O vídeo é disponibilizado na língua inglesa com legenda automática em português. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gsV7SJDDCY4&t=24s>. Acesso em: 25 set. 2021.
- **Vídeo 2: “Césio 137: maior acidente radioativo do Brasil completa 32 anos”** por tvbrasil, publicado em set. 2019, duração: 3:48. Os repórteres apresentam a história do maior acidente radioativo do mundo fora de usinas nucleares, na cidade de Goiânia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=12x0zNkBwEc>. Acesso em: 25 set. 2021.
- **Texto: “Princípios de Física em Radiodiagnóstico”** por Júlio César de A. C. R. Soares, Colégio Brasileiro de Radiologia, 2008. A apostila inicia introduzindo a história por trás da descoberta dos raios x, o capítulo 1 aborda os aspectos físicos da radiologia, os tipos de radiação que existem: alfa, beta e gama; explica a emissão natural de radiação por átomos e o que significa meia vida; discute sobre a interação da radiação com a matéria, excitação e ionização; blindagem das radiações. O capítulo 2 aborda sobre os princípios da radioproteção; limitação de dose; dose absorvida; dose equivalente; dose efetiva; contaminação radioativa; efeitos biológicos da radiação.

- **OBS: O(A) professor(a) deve sugerir que sejam lidos apenas os capítulos 1 e 2, pg. 6-37, as partes podem ser divididas entre os integrantes do grupo, porém os vídeos 1 e 2 devem ser analisados por todos do grupo.**

2) Tomografia por emissão de pósitron PET Scan:

Um texto sobre o PET scan foi compartilhado como material de apoio prévio a aula e lido em casa, pois esse tópico já foi discutido durante o momento anterior, porém, o texto e a discussão foram apenas introdutórios, e, portanto, superficiais. O objetivo da pesquisa é que esse tópico seja desenvolvido de forma mais aprofundada pelos integrantes do grupo, e por isso, adquiram mais autoridade no assunto e sejam capazes de gravar um vídeo sobre o tema.

O(A) professor(a) espera que o grupo apresente sobre esse tópico:

- O que é o PET scan?
- Breve história sobre o PET scan.
- Para que serve o PET scan?
- Como o PET scan funciona? Qual seu sistema básico de imagem?
- O que é o pósitron?
- Quais as direções que os fótons são detectados?
- Qual procedimento para produzir as moléculas radioativas? O que é o ciclotron e qual sua função na produção dessas moléculas? O ciclotron é seguro? Quais são os isótopos mais comuns produzidos por ele e quais seus tempos de vida?
- O que é um radiofármaco e qual sua função?
- O que é tempo de vida de uma partícula? e por que é importante levar em consideração esse tempo de vida no PET scan?
- O que é o método de diagnóstico por imagem metabólico.
- Quando o PET scan não deve ser solicitado?

Material de apoio:

Vídeo 1: “How does a PET scan work?” em português “Como funciona o PET scan” por Engineering and Physical Science Research Council - EPSRC, publicado pelo Imperial College London, em jan. 2016, duração 4:24. O vídeo aborda o funcionamento do PET scan, que é um procedimento utilizado para obter imagens em 3D utilizando moléculas radioativas projetadas especialmente para cada pessoa. O vídeo é disponibilizado na língua inglesa com legenda automática em português. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=yRTy03O0gWw>. Acesso em: 25 set. 2021.

Texto 1: “Usando a antimatéria na medicina moderna” por MACHADO, A.C.B.; PLEITEZ, V.; TIJERO, M.C., p. 1-10, mar. 2007. O texto aborda a Física de Partículas no PET; conceitos fundamentais do PET e técnicas de diagnóstico; a importância desse método na medicina; o texto possui algumas poucas equações de difícil compreensão por parte dos alunos e o(a) professor(a) deve deixar claro que eles podem ignorá-las sem perdas pedagógicas para o que se pretende alcançar nas apresentações. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/4qhQ7sfrp9dVBt5gLyxPKVt/?lang=pt>. Acesso em: 25 set. 2021.

Texto 2: “PET/CT EM ONCOLOGIA” capítulo 36 do livro Diretrizes oncológicas, por ANJOS, Dalton Alexandre, 2018. O texto introduz o PET scan; explica como é feito seu diagnóstico; explica o método de diagnóstico por imagem metabólico e quando o PET scan pode ou não ser solicitado. Disponível em: https://diretrizesoncológicas.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Diretrizes-oncol%C3%B3gicas-2_Parte36.pdf. Acesso em: 25 set. 2021.

Página da internet: “PET Cyclotron and Radiopharmacy Facility” em português “PET ciclotron e os benefícios da radiofarmácia” publicado por *BC Cancer - Vancouver*. O texto está em inglês, mas é compartilhado apenas para consulta da tabela dos principais isótopos produzidos pelo *BC Cancer Production Cyclotron* e seus respectivos tempos de vida. Disponível em: <http://www.bccancer.bc.ca/our-services/services/pet-functional-imaging/pet-cyclotron-and-radiopharmacy-facility>. Acesso em: 25 set. 2021.

3) Radioterapia:

O(A) professor(a) espera que o grupo aborde os seguintes tópicos durante a apresentação:

- Explicar sobre a estrutura da matéria e sua interação com a radiação.
- O que é a radioterapia?
- Breve histórico sobre a radioterapia.
- Como a radioterapia funciona; modalidades da radioterapia: teleterapia e braquiterapia, vantagens e desvantagens.
- O que é um acelerador linear? Qual sua função na radioterapia?
- Há formas de proteger os tecidos saudáveis da radiação?
- O que é o histograma de dose-volume?
- Como determinar que tipo de radiação a ser usada no tratamento? fótons ou elétrons?
- Explique a Radioterapia de intensidade modulada.
- O que auxilia a apontar o feixe de radiação de forma eficaz?

- Explique os procedimentos necessários para a radioproteção.
- A amplitude de espalhamento dos fótons é grande ou pequena com relação ao espalhamento dos elétrons? Qual a importância dessa amplitude para a saúde humana?
- Efeitos biológicos da radiação nos seres humanos?

Material de apoio:

Texto 1: “Física médica aplicada à radioterapia”, capítulo 37 do livro Diretrizes Oncológicas, por SILVA, Luis Felipe Oliveira e; SANTOS, Leonardo Bicudo, 2018. O texto aborda a estrutura da matéria e a sua interação com a radiação; efeito fotoelétrico; efeito Compton; produção de pares; as modalidades básicas da radioterapia; como funcionam os aceleradores lineares e suas funções na radioterapia e radioproteção. Disponível em: https://diretrizesoncológicas.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Diretrizes-oncol%C3%B3gicas-2_Parte37.pdf. Acesso em 30 set. 2021.

Vídeo 1: “radiotherapy explained” por GenesisCare UK, tradução: radioterapia explicado, publicado em dez. 2017, duração: 6:35. O vídeo explica o funcionamento da radioterapia; as modalidades que existem; as consequências no corpo humano; efeitos colaterais; o auxílio dado pela radioterapia guiada por imagem. O vídeo é disponibilizado na língua inglesa com legenda automática em português. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cEoQTBemyDY>. Acesso em 30 set. 2021.

4) Protonterapia:

O(A) professor(a) espera que o grupo aborde os seguintes tópicos durante a apresentação:

- O que é a protonterapia?
- Breve história da protonterapia.
- Por que utilizar a protonterapia? Quais suas principais vantagens?
- Qual a diferença entre a radioterapia, quimioterapia e protonterapia?
- Por que não utilizar nêutrons no lugar de prótons?
- A profundidade com que uma partícula pesada como o próton consegue alcançar depende de que fator(es)? O que é o pico de Bragg?
- Os prótons podem se espalhar com uma amplitude maior ou menor, em comparação aos fótons e elétrons?
- O que é o Síncrotron? Qual sua função na terapia com prótons?
- Quais as desvantagens da protonterapia?

Material de apoio:

Texto 1: “A física de altas energias e a terapia de câncer com prótons: motivações e perspectivas” por F. Caruso, B.H.V. Carvalho & A.F.S. Santoro, 2000. O texto aborda as vantagens de se utilizar a terapia com prótons para o tratamento contra o câncer, no lugar da terapia com fótons e elétrons, além de explicar a história dos tratamentos contra o câncer já desenvolvidos. Disponível em:

<http://www.cbpf.br/~caruso/fcn/publicacoes/pdfs/cancer.pdf>. Acesso em 30 set. 2021.

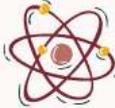
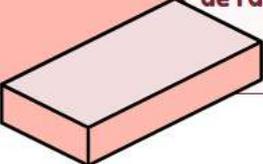
Página da web: “Prótons e íons na medida certa” por Marcos Pivetta em set. 2014. O texto faz um comparativo entre os tratamentos de câncer que existem e por que o tratamento utilizando prótons é tão caro? Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/protons-e-ions-na-medida-certa/>. Acesso em 30 set. 2021.

Página da web: “Como a terapia de prótons está mudando a maneira como tratamos o câncer” por Instituto Paul Scherrer, em nov. 2018. O texto explica o funcionamento da terapia de prótons e ilustra como a radiação é absorvida em comparação com a terapia com fótons. Disponível em: <https://museuweg.net/blog/como-a-terapia-de-protons-esta-mudando-a-maneira-como-tratamos-o-cancer/>. Acesso em 30 set. 2021.

Para a criação do vídeo, os alunos poderão utilizar modelos disponíveis no site do *canva* e cada equipe terá até 5 minutos para desenvolver o tema no vídeo. Espera-se que os questionamentos, exibidos anteriormente, sejam apresentados no vídeo, mas há liberdade no desenvolvimento de outros tópicos do interesse dos alunos, substituindo ou complementando os propostos pelo(a) professor(a).

O quadro abaixo resume os questionamentos em formato de mapa para facilitar o entendimento:

Figura 11 – Resumo das perguntas sobre o aparelho de Raio-X.

 <h1 style="display: inline; margin: 0 20px;">Aparelho de Raio x:</h1> 			
<p>Os alunos terão 15 minutos para abordar todos os tópicos:</p> 	O que é o raio X?	Radiação ionizante: por que faz mal à saúde? qual das radiações citadas são ionizantes.	Os princípios da radioproteção: dose absorvida, dose equivalente e dose efetiva.
	Breve história sobre o raio X.	Existe emissão espontânea de radiação?	Efeitos biológicos da radiação nos seres humanos e animais.
	A física por trás dos tipos de radiação: alfa, beta e gama.	Como funciona o aparelho raio X?	O maior acidente radioativo do mundo fora de usinas nucleares, acidente césio 137 em Goiânia.

Fonte: Autoria própria.

Figura 12 – Resumo das perguntas sobre o PET Scan

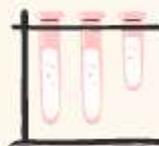
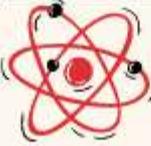
Tomografia por emissão de pósitron PET Scan:	
O que é o PET scan.	Qual procedimento para produzir as moléculas radioativas? O que é o ciclotron e qual sua função na produção dessas moléculas? O ciclotron é seguro? Quais são os isótopos mais comuns produzidos por ele, e quais seus tempos de vida?
Breve história sobre o PET scan.	O que é um radiofármaco e qual sua função?
Para que serve o PET scan?	O que é tempo de vida de uma partícula? e por que é importante levar em consideração esse tempo de vida no PET scan?
Como o PET scan funciona? Qual seu sistema básico de imagem?	O que é o método de diagnóstico por imagem metabólico?
Quais as direções que os fótons são detectados?	Quando o PET scan não deve ser solicitado?

Fonte: Autoria própria.

Figura 13 – Resumo das perguntas sobre Radioterapia

RADIOTERAPIA:





EXPLICAR SOBRE A ESTRUTURA DA MATÉRIA E SUA INTERAÇÃO COM A RADIAÇÃO.

O que é a radioterapia?

Breve histórico sobre a radioterapia.

O que é um acelerador linear, qual sua função na radioterapia?

COMO A RADIOTERAPIA FUNCIONA; MODALIDADES DA RADIOTERAPIA: TELETERAPIA E BRAQUITERAPIA, VANTAGENS E DESVANTAGENS.

Há formas de proteger os tecidos saudáveis da radiação?

O que é o histograma de dose-volume?

Como determinar que tipo de radiação a ser usada no tratamento? fótons ou elétrons?

Explique a Radioterapia de intensidade modulada.

- O que auxilia a apontar o feixe de radiação de forma eficaz?
- Explique os procedimentos necessários para a radioproteção.
- A amplitude de espalhamento dos fótons e elétrons é grande ou baixa?
- Qual a importância dessa amplitude para a saúde humana?
- Efeitos biológicos da radiação nos seres humanos?

Fonte: Autoria própria.

Figura 14 – Resumo das perguntas sobre a Protonterapia

TERAPIA DE PRÓTONS



O que é a protonterapia?

A profundidade com que uma partícula pesada como o próton consegue alcançar depende de que fator(es)?



Breve história da protonterapia.

O que é o pico de Bragg?

Por que utilizar a protonterapia? Quais suas principais vantagens? 

Os prótons podem se espalhar com uma amplitude maior ou menor, em comparação aos fótons e elétrons?

Qual a diferença entre a radioterapia, quimioterapia e protonterapia?

O que é o Síncrotron? Qual sua função na terapia com prótons?



Por que não utilizar nêutrons no lugar de prótons?

Quais as desvantagens da protonterapia? 

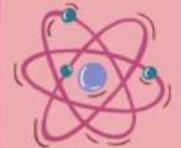
Fonte: Autoria própria.

SÍNTESE DO 3º ENCONTRO

	<p>1º momento:</p> <ul style="list-style-type: none"> Atividade investigativa de simulação - PHET: investigar sobre a fissão nuclear e o decaimento radioativo. <p>Duração: 60 minutos</p>
---	---

<p>2º momento:</p> <p>Rotação entre ilhas: as equipes irão apresentar as conclusões adquiridas no simulador.</p> <p>Duração: 20 minutos</p>	
---	--

	<p>3º momento:</p> <p>Discussão sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> A bomba nuclear. A interação fraca. A antimatéria. <p>Duração: 70 minutos</p>
--	--

<p>4º momento:</p> <p>Momento de pesquisa - aplicações das partículas na medicina:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aparelho de raio X. Tomografia por emissão de pósitron PET Scan. Radioterapia. Protonterapia. <p>Duração: 100 minutos</p>	
---	--

Fonte: Autoria própria.

4º ENCONTRO



Duração: 4 aulas de 50 minutos.

Objetivo:

- Construção de uma câmara de nuvens para detectar os traços das partículas vindas dos raios cósmicos.



Justificativa:

- Propomos a discussão dos raios cósmicos como um tema relacionado a compreensão do espaço que nos envolve, uma vez que essa radiação nos atinge diariamente. Não sentimos, mas somos expostos aos seus efeitos todos os dias. É possível fazer datação usando carbono 14 e 12 graças aos raios cósmicos; essa radiação tem influência, também, na mutação do DNA; assim como em dispositivos eletrônicos, que sofrem interferência desta radiação, influenciando sua confiabilidade. Os raios cósmicos afetam desde a forma como a vida evolui, até o desenvolvimento de aplicações tecnológicas. Desta forma, espera-se desenvolver o interesse, em sala de aula, para o entendimento do que compõe os raios cósmicos e a sua origem no espaço.

Material:

- **Texto:** “Astronomia de Raios Cósmicos” por MELLO NETO, J. T., ciência hoje, V.41, n.245, jan/fev 2008. O artigo apresenta os raios cósmicos, sua origem e onde são detectados no observatório Pierre Auger; destaca as contribuições brasileiras na detecção de raios cósmicos. Disponível em:

<https://www.if.ufrj.br/~jtmn/extensao/ArtigoRaiosCosmicos.pdf>.

- **Vídeo 1:** “Como os raios cósmicos nos ajudam a entender o universo” por Veronica Bindi, publicado pelo TED-Ed em set. 2014. Duração 4:39. O vídeo aborda a história por trás da descoberta dos raios cósmicos; como os raios cósmicos são gerados? como são acelerados por campos magnéticos; explica o que acontece quando os raios cósmicos atingem a atmosfera e como essas partículas ajudam a entender o universo. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=91801Y1lsCg>. Acesso em 20 set. 2021.
- **Vídeo 2:** “O universo é hostil para os computadores?”, produzido por Derek Muller em Veritasium. Duração 23:01. O vídeo apresenta acidentes causados por pequenas partículas de galáxias distantes, os raios cósmicos, e como podem causar interferência nos computadores. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=AaZ_RSt0KP8&t=315s. Acesso em 20 set. 2021.

Recurso:

- Material para a câmara de nuvens: gelo seco, copo de acrílico, papel vinílico, papel alumínio, esponja e álcool isopropílico; computador; caderno; quadro branco; questionário.

Desenvolvimento do 4º encontro:**1º MOMENTO****Momento de discussão****Tema:**

- **Raios cósmicos.**

Duração: 50 minutos.

Discussão sobre os raios cósmicos utilizando a apresentação do *quizizz*: https://quizizz.com/admin/presentation/6192ab411e39f1001f0c5061?source=quiz_page e a influência que esses raios têm na vida dos animais, especialmente sobre os seres humanos, em seguida, debater sobre as partículas que atingem a superfície da Terra.



2º MOMENTO

Momento de pesquisa

Tema:

- **Raios cósmicos.**

Duração: 30 minutos.

Esse momento será de pesquisa acerca da detecção das partículas de raios cósmicos, discutidas no momento anterior. Cada mesa irá receber os materiais necessários para a montagem da câmara de nuvens, em seguida, guiados pela pesquisa, deverão planejar a montagem para detectar as partículas. Os materiais que serão utilizados nessa atividade são: copo de acrílico, papel vinílico preto, massa de modelar, esponja, pote para colocar o gelo seco e papel alumínio.



3º MOMENTO

Confecção da câmara de nuvens

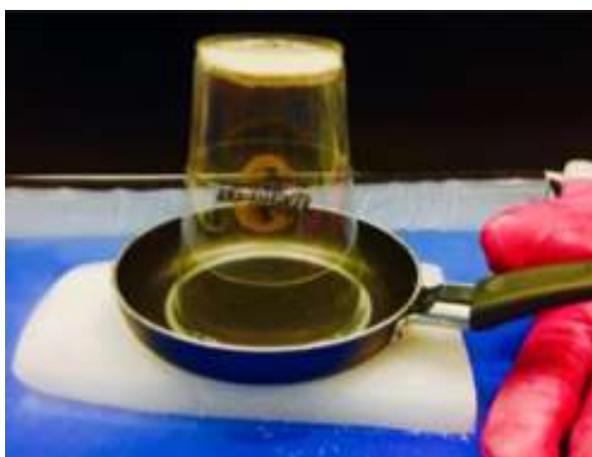
Tema:

- **Câmara de Wilson.**

Duração: 90 minutos.

A atividade será voltada para a construção de um tipo de detector de raios cósmicos conhecido como câmara de nuvens ou câmara de Wilson. De forma que, no momento anterior já fora discutido o conceito de raios cósmicos, por isso, o objetivo dessa etapa é dedicado apenas para a montagem do experimento, como exemplo apresentado na figura 15:

Figura 15 – Câmara de nuvens



Fonte: Woithe (2016).

A câmara de nuvens é um detector de partículas usado para visualizar a passagem de radiação ionizante e foi um dos primeiros detectores de partículas a ser construído e, por isso, levou à descoberta de muitas partículas, o que classifica a importância deste experimento na história da física.

A câmara de nuvens foi desenvolvida por Charles T. R. Wilson (1869-1959) e seu funcionamento utiliza o vapor supersaturado do álcool isopropílico, de forma que, partículas carregadas e com grandes energias, como as dos raios cósmicos, quando interagem com o vapor supersaturado, arrancam os elétrons das moléculas do gás, isso deixa essas moléculas com carga elétrica positiva, e, em seguida, ocorre o processo de condensação, em que pequenas gotas de álcool se formam ao longo do caminho da partícula que atravessa a câmara. O resultado dessa condensação são os traços que observamos na câmara, que podem ter origem de diferentes partículas de raios cósmicos.

Os materiais necessários para construção da câmara escura são:

- Dióxido de carbono ou gás carbônico na forma sólida (gelo seco) a -78°C .

- Copo de acrílico.
- Papel alumínio.
- Feltro ou esponja.
- Papel vinílico.
- Álcool isopropílico.
- Fonte de luz: lanterna.

O gelo seco é usado para manter a temperatura da câmara baixa e a chapa metálica será posicionada em cima do gelo seco, a esponja ou feltro deve colocada dentro do copo para armazenar o álcool isopropílico, já o recipiente com a esponja, ou feltro dentro, deverá estar posicionado em cima da chapa, como ilustra a figura abaixo:

Figura 16 – Montagem experimental da câmara de nuvens



Fonte: Autoria própria.

Cada equipe confeccionará seu próprio detector e fará os registros escritos da observação, juntamente aos registros fotográficos de cada partícula, que deixará o rastro na câmara.

☀ Detecção das partículas ☀

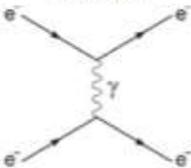
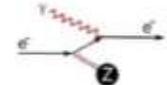
Tema:

- **Detecção das partículas dos raios cósmicos.**

Duração: 30 minutos.

No quarto momento, os alunos irão discutir sobre os dados coletados na atividade anterior e compará-los com os dados obtidos na câmara de nuvens, verificando quais partículas foram detectadas, com auxílio da figura 17.

Figura 17 – Traços das partículas detectadas

Fotos	Partícula	Explicação
	múon ou anti-múon	Traços retos e finos - Partículas rápidas com alta energia cinética; - Ionizam as moléculas sem espalhá-las; - Múons de alta energia, elétrons ou suas anti-partículas. Fonte: raios cósmicos.
	elétron ou pósitron	
	sistema de partículas α	Traços retos e grossos (aprox. 5 cm): - Partículas alfa ($2p2n$); - Partículas massivas com alta “densidade de ionização” (para alfa: 1 MeV/cm). Fonte: gás Radon-222, radiação natural.
	electron 	Traços curvos: - Espalhamento de elétrons via interação eletromagnética, quanto menor o <i>momentum</i> da partícula mais fácil é o seu espalhamento; - Fotoelétrons são elétrons de baixa energia liberados por alta fótons de energia (via efeito fotoelétrico); Fonte: Efeito fotoelétrico.
	photoelectron 	

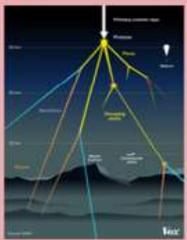
Fonte: Woithe, J. (2016), tradução nossa.

O(A) professor(a) poderá questioná-los sobre a dificuldade na detecção do pósitron e se seria possível armazená-lo em um recipiente para utilizá-lo na medicina (tópico já desenvolvido anteriormente no PET scan, que utiliza os pósitrons na detecção de tumores cancerígenos no corpo humano). O objetivo da discussão é conectar o experimento realizado em sala com os conteúdos desenvolvidos anteriormente; a técnica SCALE-UP, Beichner *et al.* (2007) classifica esse momento, como momento de integralização das discussões que relacionam os experimentos e/ou simuladores com os temas desenvolvidos em sala, resgatando conceitos vistos anteriormente.

Espera-se, com a discussão, que os alunos percebam que não é possível armazenar a antimatéria em um recipiente, pois quando o pósitron atinge o elétron eles sofrem aniquilação gerando radiação eletromagnética. Com isso, o(a) professor(a) discute sobre o processo de criação do pósitron justificando o porquê é o material mais caro do mundo (já discutido também no 3º encontro).

Concluindo assim, a relação entre o tema de ondulatória à Física de Partículas e suas aplicações nas tecnologias atuais.

SÍNTESE DO 4º ENCONTRO

	<p>1º momento:</p> <p>Discussão sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Raios cósmicos. <p>Duração: 50 minutos</p>
<p>2º momento:</p> <p>Momento de pesquisa - como detectar partículas de raios cósmicos?</p> <p>Duração: 30 minutos</p>	
	<p>3º momento:</p> <p>Atividade experimental:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Montagem de uma câmara de Wilson: detector de partículas. • Detecção das partículas. <p>Duração: 90 minutos</p>
<p>4º momento:</p> <p>Discutir os dados coletados na atividade anterior e identificá-las.</p> <p>Duração: 30 minutos</p>	

Fonte: Autoria própria.

REFERÊNCIAS:

ABDALLA, M. C. D. Sobre o discreto charme das partículas elementares.

ANJOS, Dalton Alexandre dos. FÍSICA MÉDICA APLICADA À RADIOTERAPIA. In: SANTOS, Marcos; CORRÊA, Tatiana Strava; FARIA, Luiza Dib Batista Bugiato; REIS, Paula Elaine Diniz dos; PINHEIRO, Rodrigo Nascimento. **Diretrizes oncológicas**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2018. Cap. 36. p. 573-589. Disponível em: https://diretrizesoncológicas.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Diretrizes-oncol%C3%B3gicas-2_Parte37.pdf. Acesso em: 08 ago. 2021.

BEDIAGA, I. A. Antimatéria e o Universo. *Ciência Hoje*, v. 45, n. 268, 2010. Disponível: <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/lhcboutreach/documentation/ArtigoAntimateria.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.

BEICHNER, R. J.; SAUL, J. M.; ABBOUTT, D. S.; MORSE, J. J.; DEARDORFF, D. L.; ALLAIN, R.J.; BONHAM, S. W.; DANCY, M. H.; RISLEY, J. S. Student-Centered Activities for Large Enrollment Undergraduate Programs (SCALE-UP) project. In: REDISH, E. F.;

BEICHNER, Robert J et al. The Student-Centered Activities for Large Enrollment Undergraduate Programs (SCALE-UP) Project. Raleigh, NC: North Carolina State University, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228640855_Student-centered_activities_for_large_enrollment_undergraduate_programs_SCALE-UP. Acesso em: 16 fev. 2021. Acesso em: 16 fev. 2021.

BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. Flip your classroom: reach every student in every class every day. Flipped Learning Series – Ebook. Washington, DC: International Society for Technology in Education, 2012.

CARUSO F., CARVALHO B.H.V., SANTORO A.F.S. A física de altas energias e a terapia de câncer com prótons: motivações e perspectiva. G. Alves, F. Caruso, H. Motta & A. Santoro (Eds.), *O Mundo das Partículas de Hoje e de Ontem*, op. cit, (2000) p. 117-130.

CHAUÍ, Marilena. *Convite à Filosofia – São Paulo – SP: Editora Ática, 2004.*

CIÊNCIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, v. 4, n. 7, 2018b. Disponível em: Escola. 2005, 6, 38-44.

COONEY, E. F. (eds) *ResearchBased Reform of University Physics*. American Association of Physics Teachers, 2007.

MACHADO, A. C. B; Pleitez, V; Tijero, M. C. Usando a antimatéria na medicina moderna. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2006, 28.

MACHADO, A.C.B.; PLEITEZ, V.; TIJERO, M.C.. Usando a antimatéria na medicina moderna. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l], v. 28, n. 4, p. 1-10, mar. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/4qhQ7sfrp9dVBt5gLyxPKVt/?lang=pt>. Acesso em: 07 ago. 2021.

MELLO NETO, J. T. Astronomia de Raios C3smicos. **Ci3ncia Hoje**. V. 41, n.245, jan/fev. 2008. Dispon3vel em: <https://www.if.ufrj.br/~jtmn/extensao/ArtigoRaiosCosmicos.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2021.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Um p3ster para ensinar F3sica de Part3culas Nuclear. Revista F3sica na escola, v. 2, n. 1, 2001. Dispon3vel em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:xLKklWcassIJ:https://lume.ufrgs.br/handle/10183/116427+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br&client=firefox-b-d>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SAMMONS, Jim. The elegant universe: teacher's guide. **Wgbh Educational Foundation**. Boston, p. 1-32. jan. 2003. Dispon3vel em: https://www.pbs.org/wgbh/nova/teachers/activities/pdf/3012_elegant.pdf. Acesso em: 07 jul. 2021.

SATO, Eduardo Akio. Antimat3ria (parte 2): PET Scan e assimetria mat3ria-antimat3ria Sato. Estadual de Campinas, v. 4, n. 7, 2018a. Dispon3vel em: <https://www.blogs.unicamp.br/tortaprimordial/antimateria-parte-2/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SEED-PR. Secretaria de Estado da Educa33o do Paran3. **F3SICA ENSINO M3DIO**. 2. ed. Curitiba: SEED-PR, 2006. 232 p. Dispon3vel em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/livro_didatico/fisica.pdf. Acesso em: 08 jul. 2021.

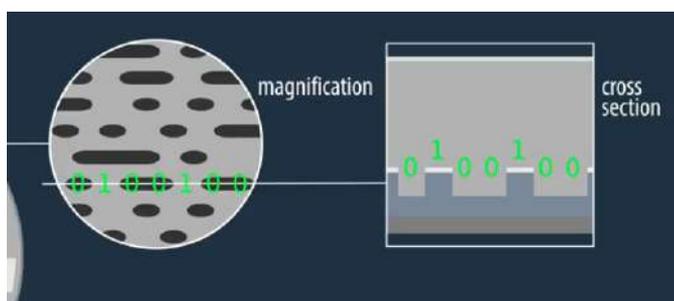
SILVA, Luis Felipe Oliveira e; SANTOS, Leonardo Bicudo dos. F3SICA M3DICA APLICADA 3 RADIOTERAPIA. In: SANTOS, Marcos; CORR3A, Tatiana Strava; FARIA, Luiza Dib Batista Bugiato; REIS, Paula Elaine Diniz dos; PINHEIRO, Rodrigo Nascimento. **Diretrizes oncol3gicas**. 2. ed. S3o Paulo: Elsevier, 2018. Cap. 37. p. 591-606. Dispon3vel em: https://diretrizesoncológicas.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Diretrizes-oncol%C3%B3gicas-2_Parte37.pdf. Acesso em: 08 ago. 2021.

SOARES, J3lio C3sar de A.C.R. Princ3pios b3sicos de f3sica em radiodiagn3stico / J3lio de A.C.R. Soares. – 2. ed. rev. – S3o Paulo: Col3gio Brasileiro de Radiologia, 2008.

ANEXO A

As ranhuras são uma rede de difração que consiste em muitas fendas paralelas. Quando a luz incide em uma grade, a luz de cada fenda difrata e interfere com a luz das outras fendas. Quando as condições para interferência construtiva para um determinado comprimento de onda são satisfeitas, essa cor é realçada e, portanto, observada. Os CDs são capazes de armazenar dados nos sulcos, que são as ranhuras em espiral que por sua vez são lidos pelo LASER do aparelho de CD. Discos ópticos possuem camadas, onde os poços e as áreas planas contêm os dados do disco em linguagem binária. Os poços (ranhuras) representam zero e as áreas planas representam 1, como mostrado na figura abaixo:

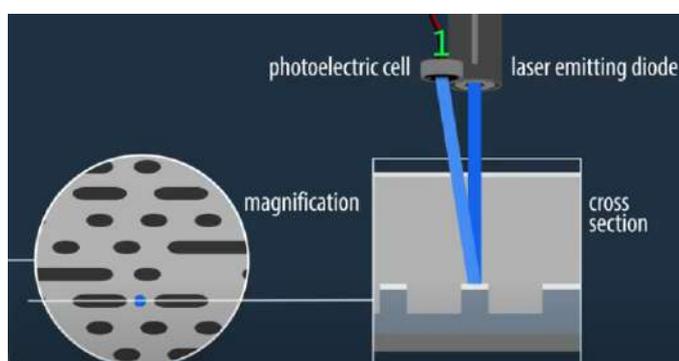
Figura 1 – Armazenamento de dados pelo CD



Fonte: Captura de tela do vídeo How does a Blu-ray work? LaserDisc, CD, DVD, Blu-ray explained.³²

O aparelho leitor do CD aponta o LASER ao disco que conforme roda vai refletindo a luz do LASER, quando o LASER atinge a superfície plana, essa luz é refletida para uma célula fotoelétrica e a informação interpretada é o número binário 1, como mostrado na figura abaixo:

Figura 2 – Número binário 1 armazenado como superfície plana

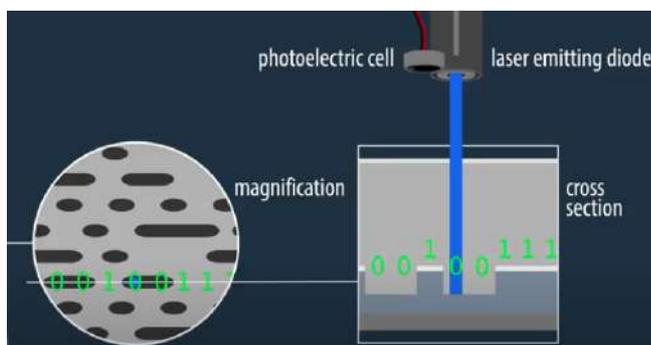


Fonte: Captura de tela do vídeo How does a Blu-ray work? LaserDisc, CD, DVD, Blu-ray explained.

³² <https://www.youtube.com/watch?v=H-jxTzFrnpg&t=36s>

Quando o LASER atinge o poço, não reflete sua luz, e essa falta de informação é representada como o número binário 0. Esses números binários são processados pelo aparelho, como mostrado na figura abaixo:

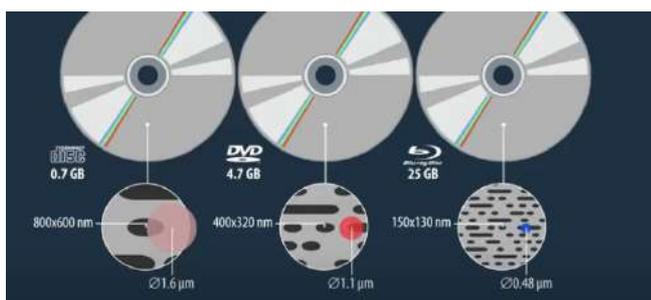
Figura 3 – número binário 0 representado pelo poço



Fonte: Captura de tela do vídeo How does a Blu-ray work? LaserDisc, CD, DVD, Blu-ray explained.

Pode-se irão medir os tamanhos das ranhuras para o CD, DVD e Blu-ray (se disponíveis) e concluir que os tamanhos variam, o CD tem ranhuras maiores do que o DVD, que possui ranhuras maiores que o Blu-ray, quanto menor o tamanho da ranhura mais informações será possível armazenar. A figura abaixo mostra as diferenças entre as ranhuras do CD, DVD e Blu-ray associando esses tamanhos à capacidade de armazenamento de cada.

Figura 4 – Armazenamento de dados pelo CD, DVD e Blu-ray



Fonte: Captura de tela do vídeo How does a Blu-ray work? LaserDisc, CD, DVD, Blu-ray explained.