



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA MESTRADO
PROFISSIONAL**

LAÍS ESTEVÃO MORAES DE OLIVEIRA

**INTERAÇÃO RADIAÇÃO-MATÉRIA:
Uma sequência didática sobre o Sirius.**

Uberlândia

2024

LAÍS ESTEVÃO MORAES DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada
ao Programa de Pósgraduação em Ensino
de Ciências e Matemática
da Universidade Federal de Uberlândia
como requisito parcial para obtenção do
título de mestre em
Ensino de Ciências e Matemática.
Área de concentração:
Ensino de Ciências e Matemática

Orientadora: Prof.a Dra. Débora Coimbra

Uberlândia

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

O48i
2024 Oliveira, Lais Estevão Moraes de, 1993-
Interação radiação-matéria [recurso eletrônico] : uma sequência didática sobre o Sirius / Lais Estevão Moraes de Oliveira. - 2024.

Orientadora: Débora Coimbra.

Dissertação (Mestrado profissional) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5092>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Ciência - Estudo e ensino. I. Coimbra, Débora, 1972-, (Orient.).
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

CDU: 50:37

André Carlos Francisco
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
 Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bloco 1A, Sala 207 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3230-9419 - www.ppgecm.ufu.br - secretaria@ppgecm.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Profissional / Produto Educacional				
Data:	22/02/2024	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:38
Matrícula do Discente:	12112ECM011				
Nome do Discente:	Laís Estevão Moraes de Oliveira				
Título do Trabalho:	Interação Radiação - Matéria: uma sequência didática sobre o Sirius				
Área de concentração:	Ensino de Ciências e Matemática				
Linha de pesquisa:	Ensino e Aprendizagem em Ciências e Matemática				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se, por vídeo conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, assim composta: Profa. Dra. Debora Coimbra (ICENP), Prof. Dr. José Gonçalves Teixeira Junior (ICENP) e Prof. Dr. Ivã Gurgel (Universidade de São Paulo). Iniciando os trabalhos a presidente da mesa apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu a discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa. A seguir, a presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O componente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Debora Coimbra Martins, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/02/2024, às 16:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Gonçalves Teixeira Junior, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/02/2024, às 17:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ivã Gurgel, Usuário Externo**, em 23/02/2024, às 16:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5164112** e o código CRC **2A52010C**.

*Dedico este trabalho aos meus queridos
alunos, por me inspirarem todos os dias
a ser professora.*

E à Laura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora Débora Coimbra por toda dedicação e ajuda incondicional no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Ivã Gurgel e José Gonçalves pelas sugestões e comentários durante o exame de qualificação.

A todos os alunos que participaram das aulas para o desenvolvimento do produto educacional, sem vocês este trabalho não seria possível.

Agradeço ao meu marido, Fabrício, que é companheiro em todos os momentos e sempre me ajudou a encontrar sinônimos para as palavras durante a escrita dessa dissertação.

À minha irmã Letícia, fonte inspiradora da minha vida acadêmica.

Aos amigos do colégio Gabarito, Andreza, Ediluce, Fabiane, José Alexandre e Thiago.

À Jéssica pela parte criativa do trabalho, ao Dudu e à Scarlett pela arte da capa, diagramação e revisão do produto educacional.

Aos meus amores de quatro patas Cida e Dino.

E agradeço principalmente aos meus pais, Lúcia e João que me deram tanto asas como raízes.

Meu muitíssimo obrigada!

Dziękuję!

*“A vida não precisa ser fácil;
o que importa é que não seja vazia.
E este desejo me foi concedido.”*

Lise Meitner – Física austríaca.

*“Você deve acreditar no plano a longo prazo,
mas precisa dos objetivos de curto
prazo pra inspirar e motivar você”*

Roger Federer- Tenista suíço.

“...é difícil acreditar nessa luz, mas em você eu acredito, professora!”

Resposta de um aluno sobre a Luz Síncrotron.

RESUMO

Diante de muitos avanços tecnológicos e do desenvolvimento de aparelhos que revolucionaram a forma de fazer ciência nos últimos anos, a Física Moderna e Contemporânea (FMC) tem ganhado cada vez mais espaço, entretanto ainda é pouco discutida nos currículos escolares e nas aulas de Física da educação básica. Estudos indicam que a inclusão do estudo da FMC no ensino médio contribui para um ensino de física mais eficaz e contextualizado, facilitando a compreensão e conferindo significado aos fenômenos observados. Apesar de estar previsto no currículo escolar, muitos professores tendem a priorizar a abordagem da Física Clássica, devido à carga horária exígua e à escassez de material didático que facilite a incorporação da FMC na sala de aula. Pensando na precariedade e na falta de recursos disponíveis sobre temas de FMC nesse nível de ensino, neste trabalho, procuramos desenvolver uma Sequência Didática (SD) voltada para o estudo de aceleradores de partículas intitulada. Conceitos relacionados à estrutura da matéria rompem com ideias do cotidiano e não podem ser observados de forma direta. Utilizamos o princípio epistemológico de Bachelard que contrapõe-se a ideia que a evolução da Ciência ocorre de forma contínua, para o autor é necessário retificações dos erros e uma reorganização do saber que rompa com teorias passadas. A SD é concebida considerando a Teoria Antropológica do Didático (TAD) proposta por Yves Chevallard, e é ancorada nos princípios da pesquisa baseada em design. A aplicação da SD ocorreu três vezes em forma de curso para estudantes do ensino médio e a análise dos resultados, utilizando elementos da TAD como unidade de análise, permitiram o redesenho das atividades, culminando no produto, o ebook intitulado “Sirius: a luz da ciência brasileira”.

Palavras Chave: Sequência Didática, Física Moderna e Contemporânea, Interação Radiação-Matéria, Teoria Antropológica do Didático.

ABSTRACT

Considering various technological advances and devices development that have revolutionized the way of making science in recent years, Modern and Contemporary Physics (MCP) has been gained more and more space. However, it is still rarely covered in school curricula and High School Physics classes. According to studies, including MPC into Physics instruction improves effectiveness and contextualization, facilitates understanding, and lends meaning to observed events. Despite being featured in the school curriculum, many teachers choose the Classical Physics approach due to limitations on time and a lack of teaching materials that enable the introduction of MCP in the classroom. Given the absence of resources and tools on MCP themes focusing this level, we attempted to come up a Didactic Sequence (DS) centered on particle accelerators study. Concepts about matter structure contradict everyday conceptions and cannot be directly observed. We assumed Bachelard's epistemological principle, which rejects the notion that scientific evolution occurs continually, the author points to that it is required to correct errors and reorganize knowledge that contradicts previous beliefs. The DS relies on Yves Chevallard's Anthropological Theory of Didactics (ATD) and design-based research concepts. Providing the DS in the form of a course for high school students, and the analysis of the findings using ATD elements as analysis units allowed us the creation of activities, ending in a product: the e-book entitled "Sirius: the light of Brazilian science".

Keywords: Didactic Sequence, Modern and Contemporary Physics, Radiation-Matter Interaction, Anthropological Theory of Didactics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Helmut Wiedemann (pesquisador do SSRL que supervisionou os brasileiros em Stanford Estados Unidos) e os pesquisadores Liu Lin, Hélio Tolentino e Ricardo Rodrigues	14
Figura 2 Helmut Wiedemann (pesquisador do SSRL que supervisionou os brasileiros em Stanford Estados Unidos) e os pesquisadores Liu Lin, Hélio Tolentino e Ricardo Rodrigues (Foto: Divulgação/CNPEM).....	14
Figura 3 Construção do LINAC	17
Figura 4 Maquete do projeto Sirius	17
Figura 5 - Prédio que posteriormente receberia o anel em 1995	18
Figura 6 - Interior do LNLS	20
Figura 7 - Fase de Construção do Sirius.....	21
Figura 8 - Sirius vista aérea	21
Figura 9 – Esquematização Pesquisa Baseada em Design	27
Figura 10 – Losango didático	29
Figura 11 - Praxeologia de Chevallard	37
Figura 12 - Resultados do produto piloto	43
Figura 13 - Resultados do produto piloto	44
Figura 14 – Resultados do produto piloto	44
Figura 15 - Resultados do produto piloto	44
Figura 16 – Resultados do produto piloto	45
Figura 17 - Percepção de átomos dos alunos.....	45
Figura 18 - Percepção de átomo dos alunos	45
Figura 19 – Representação das linhas de campo pela limalha de ferro.....	48
Figura 20 - Experimentação com a limalha de ferro	48
Figura 21 - Representação da indução magnética	49
Figura 22 - Representação da indução magnética	49
Figura 23 - Exercício 1 - Aula 2	49
Figura 24 - Exercício 2 - Aula 2.....	49
Figura 25 - Exercício 4 - Aula 2	50
Figura 26 - Exercício 5 - Aula 4.....	53
Figura 27 - Exercício 6 - Aula 4.....	53
Figura 28 - Algumas respostas dos estudantes ao questionário investigativo da Aula 5	54
Figura 29 – Resposta das questões 5 e 6 do estudante A1 - Aula 6	56

Figura 30 – Resposta das questões 5 e 6 do estudante A2 - Aula 6	56
Figura 31 - Alunos respondendo ao questionário - Aula 8.....	59
Figura 32 - Ambiente Sala Google	59
Figura 33 - Questão 1 – Aula 8.....	61
Figura 34 - Resposta dos alunos Aula 8 – FIGURA 1: item a	61
Figura 35 - Resposta dos alunos Aula 8 – Questão 3	63
Figura 36 – Questão 4 Aula 8.....	63
Figura 37 – Respostas dos alunos Aula 8 - Questão 5.....	64
Figura 38 – Localização dos raios-x e subdivisões no espectro eletromagnético apresentada na Questão 6, Aula 8	64
Figura 39 - Respostas dos alunos Aula 8 - Questão 6	65
Figura 40 – Gráfico apresentado na questão 7 – Aula 8.....	65
Figura 41 – Questão 8 – Aula 8.....	66
Figura 42 - Questão 9 Aula 8.....	66
Figura 43 - Respostas dos alunos Aula 8 - Questões 8 e 9.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais aracterísticas UVX e Sirius	22
Tabela 2 - Linhas de Luz do Sirius	24
Tabela 3 – Redesenho da Sequência Didática.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Análise praxeológica dos exercícios - Aula 4	51
Quadro 2: Análise praxeológica dos exercícios - Aula 8	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Curricular Comum
CBPF	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
CNPEM	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DBR	Design Based Research (Pesquisa Baseada em Design)
ESPEM	Escola Sirius para Professores do Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
LD	Livro Didático
LHC	Large Hadron Collider (Grande Colisor de Hádrons)
LINAC	Acelerador Linear
LNBio	Laboratório Nacional de Biociências
LNBR	Laboratório Nacional de Biorrenováveis Laboratório Nacional
LNLS	Laboratório Nacional de Luz Síncrotron
LNNano	Laboratório Nacional de Nanotecnologia
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MD	Momentos Didáticos
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PhET	Physics Education Technology Project
PPGCEM	Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
RAU	Reuniões Anuais de Usuários
SBF	Sociedade Brasileira de Física
SD	Sequência Didática
SNEF	Simpósio Nacional de Ensino de Física
SSRL	<i>Stanford Synchrotron Radiation Laboratory</i>
TAD	Teoria Antropologica do Didático
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UNICamp	Universidade Estadual de Campinas
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	6
1.1 Trajetória até o projeto de pesquisa	6
1.2 O ensino de FMC na Educação Básica e a BNCC	7
1.3 OBJETIVO(S).....	11
Objetivo Geral:	11
Objetivos Específicos:	12
2.Capítulo I – HISTÓRICO DO LNLS – LABORATÓRIO NACIONAL DE LUZ SÍNCROTRON	13
2.1 Primeira etapa: Construção e Instalação do Laboratório:.....	14
2.2 Construção da Fonte de Luz Síncrotron	16
2.3 A implementação do laboratório: uma instituição de pesquisa de classe mundial	20
3. Capítulo II - REFERENCIAL TEÓRICO	27
3.1 Pesquisa baseada em design (DBR) e a SD	27
3.2 Desenvolvimento de uma SD	29
3.2.1 Quanto ao princípio epistemológico: Bachelard e a fenomenotécnica	30
3.2.2 Aceleradores de Partículas e a Fenomenotécnica	32
3.3 Quanto ao princípio didático-pedagógico: a Teoria Antropológica do Didático	33
3.3.1 Teoria Antropológica do Didático.....	35
4. Capítulo III – METODOLOGIA	41
4.1 Cenário da pesquisa e sujeitos.....	41
4.2 Pesquisa baseada em design	41
5. Capítulo IV - RESULTADOS DE DISCUSSÕES.....	43
5.1 O produto	43
5.2 Estudo Piloto.....	43
5.3.46 Resultados e discussões após o redesenho da SD.....	46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69

7. REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE A AULA 1 PRODUTO PILOTO ACELERADORES DE PARTÍCULAS	77
APÊNDICE B PRODUTO EDUCACIONAL SIRIUS: A LUZ DA CIÊNCIA BRASILEIRA	79
APÊNDICE C EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO DA AULA 2.....	80
APÊNDICE D AULA 4: EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO – FORÇA E ENERGIA MAGNÉTICA	82
APÊNDICE E AULA 6: EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO.....	85
APÊNDICE F AULA 8 : QUESTIONÁRIO FINAL.....	87
APÊNDICE G: PRODUTO EDUCACIONAL.....	88
ANEXO 1 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA A PESQUISA	93
ANEXO 2 - PRODUTO EDUCACIONAL.....	98

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

1.1 Trajetória até o projeto de pesquisa

Iniciei a graduação em licenciatura plena em Física na Universidade Federal de São Carlos, *Campus* Sorocaba-SP, em 2012, durante a graduação tive a oportunidade de dar monitoria da disciplina de Cálculo I, participei da organização da “Semana da Física” durante os anos de 2013 e 2014, me envolvi com o projeto da “Universidade Aberta” trabalhando no laboratório de Física e terminei a graduação com um trabalho de conclusão de curso focado na História da Ciência nos livros didáticos.

No último ano da graduação (2016), tive a oportunidade de conhecer o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, que chamou muito a minha atenção, pois não fazia ideia que pesquisas de tamanha proporção eram realizadas e desenvolvidas no Brasil.

Trabalhei durante quatro anos na rede pública de ensino do estado de São Paulo e, então, migrei para rede particular dando aulas de Física e Matemática. Posteriormente, em 2018, tive oportunidade de trabalhar numa escola preparatória pré-vestibular (cursinho) em Mato Grosso.

De volta a região sudeste, atualmente resido e trabalho em um colégio particular na cidade de Uberlândia, que coincidentemente é a mesma cidade na qual participei do XXI SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física) na Universidade Federal de Uberlândia (UFU) no ano de 2015. Considerando a estrutura da UFU, suas tradições na área de ensino e a busca no meu crescimento como docente e pesquisadora, em 2021, ingressei no Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM). Lembrando-me da época da graduação e a visita ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, refleti, considerei e pequisei que, infelizmente, apenas uma pequena parcela da população tem conhecimento sobre o LNLS e que uma minoria sabe sobre as pesquisas desenvolvidas neste laboratório.

Considerando o meu apreço por FMC, acreditar que esse é um tópico fundamental no currículo do ensino médio brasileiro e termos no Brasil uma fonte de pesquisa ímpar que é o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, me dediquei neste trabalho a desenvolver uma sequência didática sobre o Sirius, a fim de contribuir para o ensino da FMC, em especial sobre o tema interação radiação-matéria, pois, notamos que a respeito deste assunto, não devemos apenas procurar justificativas do por quê ensinar, mas como ensinar.

1.2 O ensino de FMC na Educação Básica e a BNCC

Em nosso cotidiano, podemos perceber a presença de tecnologia de muitas formas, como: televisões com alta definição, câmeras digitais, laser, leitor de código de barras, leds, raios-X e celulares. Comumente, vemos notícias a respeito de avanços tecnológicos, produtos futurísticos e aparatos que fazem uso de tecnologia moderna.

O termo "Big Science" foi utilizado pela primeira vez na década de 1960, designando um tipo de colaboração científica que teve seu início durante a Segunda Guerra Mundial. Nesse contexto, uma notável conjunto de cientistas trabalhava de maneira colaborativa em instalações extensas, beneficiados por financiamentos substanciais. Essa abordagem é caracterizada, também, por projetos pioneiros no desenvolvimento do conhecimento, dedicados à busca de respostas para questões fundamentais e à promoção de avanços tecnológicos capazes de transformar a compreensão do mundo e da própria existência. Exemplificações notáveis incluem o Projeto Manhattan, voltado para a construção da bomba atômica, o Programa Apollo, que conduziu a humanidade à Lua, e iniciativas contemporâneas como o Grande Colisor de Hádrons (LHC), os telescópios de grande porte e o Projeto Genoma Humano, entre muitos outros (Pezzo, 2019)

No Brasil, o desenvolvimento da Ciência e Tecnologia ocorreu tardiamente, sendo impulsionado pelas pesquisas em Energia Nuclear com veia militar (Bazzo e Auler, 1998). Em 1997, foi fundado o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) na cidade de Campinas-SP, cujo propósito, de acordo com Velho e Pessoa (1998, p. 198), era o desenvolvimento de tecnologia autônoma, principalmente para as áreas da saúde e micro-eletrônica.

Considerando o desenvolvimento tecnológico um tema de interesse desta pesquisa, acreditamos que seja pertinente atrelar as pesquisas realizadas no LNLS com tópicos de Física Moderna Contemporânea (FMC), ramo da Física que estuda os fenômenos físicos, científicos e tecnológicos desenvolvidos em meados do século XX, como a Espectroscopia, Ressonância Magnética, Raios-X, entre outros.

Neste contexto de inovação científica e novos caminhos e descobertas no ramo da Física, este trabalho se fundamenta no princípio epistemológico de Gaston Bachelard, filósofo da Ciência francês que defende que os caminhos assumidos pela "Nova Física" não poderiam ser expressos por ideias filosóficas clássicas. O pensamento de Bachelard baseia-se em uma ideia construtivista da Ciência e contrapõe-se a ideia que a evolução da ciência se dá de forma contínua (Bulcão, 2009). Ao considerarmos o pensamento bachelardiano, que julga que o progresso da Ciência ocorre por retificações de erros e reorganizações do saber, rompendo

inteiramente com teorias e algumas ideias clássicas da Física do século XIX, temos, neste trabalho, o interesse de estudar alguns caminhos percorridos pela FMC e sua inserção no currículo escolar.

Ao compararmos o estágio atual do desenvolvimento científico e tecnológico com a situação do ensino de Física nas escolas do ensino médio, nota-se que, embora estejamos no século XXI, a maioria dos temas presentes nos livros de Física ainda são sobre conteúdos que dizem respeito a Física Clássica. Terrazzan (1992) relata que a maioria dos tópicos abordados em sala de aula são referentes à Física desenvolvida entre os anos 1600 a 1850.

Segundo Dominguini (2012) e Resn e Ricci (2002) são considerados FMC, a Física desenvolvida ao longo do século XX até a atualidade que pode ser dividida em duas etapas:

- a Física Moderna: marcada pelas teorias do início do século XX com o trabalho de Planck sobre a radiação do corpo negro, que dá origem aos estudos da Mecânica Quântica, e a Relatividade de Einstein. Em linha temporal, a Física do final do século XIX até a década de 1940.
- a Física Contemporânea, que tem início com o fim da segunda guerra mundial na década de 1940 até os dias atuais.

Terrazzan (1992) relata a respeito da obrigatoriedade do ensino de FMC que fora publicada na Lei nº 9.694 no documento da Lei de Diretrizes e Bases da Educação (Brasil 1996), sua inserção no ensino médio tem como propósito incentivar a implementação de conteúdos atuais nos currículos de ensino. Segundo o autor debates sobre a inserção de tópicos de FMC iniciam devido à mudança da estrutura curricular da disciplina de Física, que por sua vez é marcada pela predominância de temas acerca da Física Clássica. A Física escolar, do início da década de 1990, contemplava apenas temas como: Mecânica, Física Térmica, Óptica e Eletromagnetismo, e a FMC tinha pouca notoriedade. (Terrazzan, 1992 p. 18)

Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais+ (PCN's +) assuntos sobre a FMC são considerados indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente do mundo que o cerca, pois:

[...] esse conhecimento tornou-se indispensável à formação da cidadania contemporânea. Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais do seu cotidiano. (Brasil, 1999, p.22)

A Base Nacional Curricular Comum (BNCC) afirma que, ao introduzir assuntos atuais na formação dos jovens isso poderá contribuir para que o estudante tenha “[...] condições para aprofundar o exercício do pensamento crítico, realizar novas leituras do mundo e tomar decisões responsáveis, éticas e consistentes na identificação e solução de situações-problema.” (Brasil, 2017, p. 537).

Embora a BNCC não faça uma divisão específica a respeito dos conteúdos que deverão ser abordados em Biologia, Química e Física, no que diz respeito à FMC, destacamos a competência específica 1 de Ciências da Natureza, que propõe uma análise de características naturais e processos tecnológicos, considerando as interações entre matéria e energia. O objetivo é promover ações individuais e coletivas que otimizem processos produtivos, reduzam os impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em escalas locais, regionais e globais. (Brasil, 2017, p. 553).

Destacamos também a competência específica 3, que descreve pesquisar problemas e examinar o uso da ciência e tecnologia e suas consequências no mundo, utilizando métodos e terminologias das Ciências da Natureza, para oferecer soluções que abordem necessidades locais, regionais e/ou globais, e transmitir suas descobertas e conclusões a diversos públicos, em variados cenários e por meio de diversas mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (Brasil, 2017, p. 553)

Quanto às habilidades redigidas na BNCC sobre Ciência da Natureza, destacamos três habilidades que nos remetem a FMC:

A habilidade EM13CNT103 cita o termo radiação: “[...] Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica” (Brasil, 2017, p. 555).

A habilidade EM13CNT104 que considera os benefícios e riscos à saúde de diferentes materiais e produtos:

Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis. (Brasil, 2017, p. 555)

E a habilidade EM13CNT307: “[...] Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.” (Brasil, 2017, p. 555)

Ainda que os estudos sobre FMC sejam justificados e previstos em documentos legais como PCN+ e BNCC, Fernandes (2016, p. 22) aponta que pouco ou nenhum conteúdo sobre FMC é abordado nas escolas e, de acordo com os estudos desenvolvidos por de Oliveira, Viana e Gerbassi (2007 p. 47) e Souza (2013 p.133), é possível observar que há uma defasagem na formação dos professores a respeito de como desenvolver assuntos que envolvem FMC em sala de aula, e mesmo que exista uma parcela de professores interessados em trabalhar FMC, existem obstáculos a serem enfrentados na sala de aula, como, o tempo reduzido de aula em relação à quantidade de assuntos a serem abordados, falta de domínio matemático por parte dos alunos e principalmente a falta de material didático que dê suporte ao professor.

Sobre a presença de FMC nos livros didáticos (LD), Souza (2013, p. 134) relata em sua pesquisa que, embora o livro didático seja um instrumento de apoio pedagógico fundamental para nortear as aulas de Física, a utilização apenas desse recurso de maneira isolada tem eficácia limitada no ensino de FMC. No mesmo sentido, Sales (2014) aponta que nos LD, a FMC é, geralmente, apresentada de maneira superficial em apêndices no final do capítulo, e por isso, o uso de ferramentas auxiliares com diferentes tipos de abordagens sobre a FMC são necessários para ajudar o professor quanto à introdução desse assunto na sala de aula.

Segundo Terrazzan (1992), a compreensão do funcionamento de diversos artefatos tecnológicos cotidianos se dá através de conceitos atribuídos à FMC tais como o uso de celulares, micro-ondas, raio X dentre outros. Carvalho e Zanetic (2004), defendem que a utilização da FMC no ensino médio permite: “que os alunos dialoguem com os fenômenos físicos que estão por trás do funcionamento de aparelhos, atualmente utilizados de forma corriqueira no dia-a-dia da maioria das pessoas”.

Para Zanetic (1999) é necessário transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido nas escolas, a FMC não deve ser apresentada como mera curiosidade, ao contrário, o aluno deve enxergar o protagonismo da FMC para entender fenômenos do dia-a-dia que não conseguem ser explicados pela Física Clássica. Nesse sentido, Zanetic (1999) ainda afirma que a FMC deve ter sua presença garantida no currículo das escolas do ensino médio, pois esse assunto contribui para a formação de um estudante mais atento quanto a Física presente nas diversas tecnologias utilizadas atualmente.

Concordamos com os trabalhos citados de Terrazzan (1992), Valadares e Moreira (1998) e Oliveira, Vianna (2007), nos deparamos com inúmeras justificativas indispensáveis do “por quê” ensinar FMC, no entanto nem todas as pesquisas apresentam métodos e caminhos de como e quando ensinar FMC, considerando as contingências e demandas do Novo Ensino Médio.

De acordo com Pietrocola, em geral, os professores são a parte mais sensível de qualquer processo de inovação curricular propor, aplicar e avaliar sequências de atividades visando o ensino e aprendizagem de tópicos científicos específicos. Um característica importante dessa linha de estudo é tratar, ao mesmo tempo pesquisa e desenvolvimento de atividades de ensino. (PIETROCOLA, 2010)

Pesquisas realizadas por Siqueira (2006), Silva, Siqueira e Batista (2015) e Pessanha (2014), são exemplos de trabalhos mais atuais que se debruçaram a procurar novas metodologias que contribuem para o “como ensinar” FMC. Sobre o Sirius, destacamos os trabalhos de conclusão de curso de Silva (2018) e Aveiro (2021), que embora não sejam propostas de ensino, investigam formas de articular as pesquisas do Sirius à Física da Sala de aula. Como proposta de ensino que vincula o Sirius a FMC para educação básica encontramos apenas um trabalho desenvolvido por Gonçalves (2021).

Inspirado nestas ideias e considerando a inserção pulverizada da FMC no ensino de Física, percebemos a necessidade de testar e produzir propostas de ensino para tópicos da FMC. O objetivo deste trabalho baseia-se na produção de material em formato de SD voltada para a apresentação de sugestões de propostas educacionais para professores de Física tendo como perspectiva a abordagem da FMC cuja principal referência são as pesquisas realizadas no LNLS que atualmente abriga o Sirius.

Compreender temas como eletromagnetismo, os tipos de radiação e a física moderna de forma didática não só ajuda os professores a transmitir esses conceitos de maneira mais eficaz, mas também os capacita a despertar o interesse dos alunos e a contextualizar o conhecimento científico com aplicações práticas e tecnológicas.

Ao refletir sobre as informações levantadas, destacamos a seguinte questão: como elaborar uma SD articulando conceitos de FMC que tenha como pano de fundo o funcionamento e as pesquisas realizadas no SIRIUS?

Pensando nessa pergunta de pesquisa, os objetivos serão delineados na próxima seção.

1.3 OBJETIVO(S)

Objetivo Geral:

Desenvolver uma SD voltada para os professores de Física do ensino médio, disponibilizada em uma plataforma digital sobre a temática da FMC, especificamente sobre conteúdos sobre a interação radiação matéria, com tema gerador os estudos realizados no Sirius.

Objetivos Específicos:

- Identificar e catalogar as produções acadêmicas (dissertações e teses) e/ou artigos de periódicos que abordam produção didáticas ou atividades de divulgação científica relacionadas ao Sirius.
- Elaborar, validar e refinar uma SD, articulando os conceitos: campo magnético... (situação experimentais)
- Realizar visita virtual ao Sirius;
- Construir questionários digitais (Google Forms) para sistematização da aprendizagem.

Para facilitar a compreensão do leitor e reponder a nossa pergunta de pesquisa, dividimos este trabalho da seguinte forma: capítulo 1 trata-se de um breve histórico que levaram a construção e implementação do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron que abrigou inicialmente o UVX e posteriormente o Sirius; capítulo 2 é apresentado a fundamentação teórica deste trabalho; no capítulo 3 a metodologia empregada na realização da dissertação e a elaboração e desenvolvimento da SD; no capítulo 4 apresentamos resultados a partir da aplicação do produto educacional.

2. Capítulo I – HISTÓRICO DO LNLS – LABORATÓRIO NACIONAL DE LUZ SÍNCROTRON

As primeiras discussões a respeito da construção de uma fonte de luz Síncrotron no Brasil iniciaram em 1981 após o IV Encontro Nacional da Física da matéria condensada, onde parte dos integrantes desse evento enviam uma carta ao então presidente da república João Figueiredo manifestando sua apreensão a respeito da precariedade de laboratórios de pesquisa existentes no Brasil. (Burgos, 1999, p. 77).

A luz ou radiação Síncrotron, é um tipo de radiação eletromagnética com alto fluxo e brilho que se estende por uma faixa ampla do espectro eletromagnético desde a luz infravermelha, radiação ultravioleta até os raios X. Essa radiação eletromagnética é produzida quando partículas carregadas, são aceleradas a velocidades próximas à da luz e têm sua trajetória desviada por campos magnéticos. (CNPEM, 2009). A sugestão da criação de um laboratório de Radiação Síncrotron parte de Jacques Danon ao afirmar que: “a construção de um anel Síncrotron seria muito importante para os físicos, por diversas razões, entre as quais se destaca a expansão de mão de obra em Ciência e tecnologia, e a dramática necessidade de mudança do número de físicos experimentais relativamente poucos se comparado aqueles dedicados à Física teórica.” (CBPF, 1981, Memorando, agosto de 1981).

Nesse cenário, em 1979, Roberto Lobo é indicado para o cargo de diretor do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), que juntamente com o recém-empossado presidente Do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em 1981 Lynaldo Cavalcanti de Albuquerque propõem a construção de um anel Síncrotron, justificando que sua criação impactaria no aumento de mão de obra qualificada em Ciência e tecnologia no Brasil e no aumento do número de pesquisadores em Física experimental. (Brum e Maneguini, 2002).

Em 1984, é decidida a construção do Laboratório de Radiação Síncrotron, cujo nome foi alterado posteriormente devido a palavra “radiação” causar uma repercussão negativa entre militares e governantes, equivocadamente a palavra radiação é generalizada como algum ruim e nocivo à saúde, vale aqui a observação que apenas a radiação ionizante, aquela que tem energia suficiente para remover elétrons dos átomos, criando os íons é prejudicial à saúde humana, são exemplos de radiação ionizante: radiação alfa (α), radiação beta (β), radiação gama (γ). Enquanto a radiação não ionizante não oferece risco à saúde, por ser menos energética e não ter poder de penetração, são exemplos de radiação não ionizante: radiação ultravioleta, radiação Infravermelho, radiofrequência, lasers, micro-ondas.

No início de 1985, Lynaldo Calvanti confia a uma comissão formada por Roberto Lobo, Aldo Craievich e Cylon Gonçalves a decidirem o local da construção do laboratório, cidades como Rio de Janeiro- RJ e São Carlos no interior de São Paulo foram cotadas, no entanto a cidade de Campinas foi a escolhida para a construção do laboratório, cidade sede da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), um dos principais centros de pesquisa tecnológica do Brasil (BRASIL, 2018). A escassez de recursos financeiros culminou, no entanto, no adiamento de sua instalação.

2.1 Primeira etapa: Construção e Instalação do Laboratório:

Apenas no final de 1985, decidiu-se financiar uma pequena equipe de engenheiros e físicos que foram enviados ao *Stanford Synchrotron Radiation Laboratory* (SSRL). Lá, em colaboração com o Prof. H. Wiedemann, elaboraram um projeto inicial de um anel que operaria na energia de 2 GeV. Este projeto serviu de base para as discussões que levaram o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) à decisão, em 1986, de criar o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). (Burgos, 1999)

Figura 1 Helmut Wiedemann (pesquisador do SSRL que supervisionou os brasileiros em Stanford Estados Unidos) e os pesquisadores Liu Lin, Hélio Tolentino e Ricardo Rodrigues



(Foto: Divulgação/CNPEM)

A equipe contava, com um quadro técnico científico composto por vinte e seis pessoas, dentre os quais, cinco doutores, três mestres em Física, quatro engenheiros, um analista de sistemas, quatro administradores e seis técnicos distribuídos nas áreas de eletrônica, mecânica e desenho. (além dos membros da diretoria executiva, Cylon Gonçalves, Ricardo Rodrigues e Aldo Craievich). (Burgos, 1999, p.138).

A implementação do LNLS iniciou em um barracão industrial, os diretores possuíam autonomia para definir uma estratégia de implementação, bem como as decisões que norteariam a equipe na construção do acelerador linear (LNLS, p.2, 1996).

Figura 2 Barracão Industrial do LNLS, 1987



Fonte: CNPEM, 2016

Desde o início dos debates sobre a construção de um anel Síncrotron, um dos principais objetivos era desenvolvimento de um grande equipamento que permitisse promover a pesquisa experimental no Brasil em um conceito de laboratório nacional, aberto e multidisciplinar. O projeto conceitual do LNLS pode ser resumido em uma estratégia que envolve três ideias principais (Silva *et al*, 1988; Tavares), propostas nos primeiros anos do projeto: um grande desafio para a engenharia, que permitisse atrair uma massa crítica de jovens pesquisadores e engenheiros que seriam treinados nas tecnologias-chave, acelerando o desenvolvimento desses campos no país; a construção de uma instalação experimental que oferecesse condições no estado-da-arte para grande número de pesquisadores, de diferentes áreas, em pesquisa básica e aplicada; a introdução do conceito de laboratório nacional, com acesso aberto às instalações a serem utilizadas – sobretudo por pesquisadores de outras instituições –, com equipe reduzida de pesquisadores da casa produzindo resultados científicos de alta qualidade, mantendo as instalações atualizadas. Partindo dessas ideias pode-se extrair um tripé conceitual que guiaria o desenvolvimento do laboratório (Silva, 1996): organização, engenharia e ciência.

No item Engenharia, ficou designado que o desenvolvimento dos componentes utilizados na construção de aceleradores sempre que possível, fossem construídos no Brasil. Em sua pesquisa sobre o LNLS, Burgos (1999) relata que cerca de oitenta por cento dos componentes que integraram o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron foram desenvolvidos e produzidos no Brasil pela equipe de engenharia.

As linhas de luz – estações experimentais que utilizam a luz Síncrotron acopladas ao anel, também foram desenvolvidas pela equipe de engenharia. Essa estratégia permitiu reduzir

o custo da máquina, haja vista que se utilizava mão de obra nacional no desenvolvimento das linhas de luz e no domínio do conhecimento necessário para a manutenção da máquina, indispensável posteriormente sua instalação (Brum e Maneguini, 2002).

No item *Ciência*, o fator desafiante era construir uma fonte de luz Síncrotron capaz de dar de acesso a uma ampla comunidade científica que pudesse usufruir das instalações. De fato, o LNLS possui instalações experimentais que permitem a pesquisa e o estudo da composição dos materiais até o nível atômico, essencial para a ciência e engenharia de materiais, além das propriedades de superfície e propriedades químicas de materiais, aplicações em ciências do meio ambiente e geociências (Brum e Maneguini, 2002)

Ainda que não fosse uma das aplicações previstas no início do projeto do laboratório, o rápido desenvolvimento da cristalografia de proteínas que utiliza fonte de luz Síncrotron como fonte de raios X e sua importância em pesquisas da área de fármacos, aumentaram exponencialmente a demanda de fonte de luz Síncrotron para aplicações biológicas. As diversas oportunidades e variedades de pesquisas inerentes ao LNLS é uma de suas principais características, na qual propiciaram a multidisciplinaridade entre pesquisadores de diversas áreas. (Brum e Maneguini, 2002).

O laboratório foi desenvolvido para que estudos inéditos pudessem ocorrer em solo brasileiro, a ideia de equipamentos compartilhados, coloca a Ciência como protagonista, ficando disponível para instituições de pesquisas acadêmicas e industriais. (Silva, 1996). Este conceito, de acordo com Brum e Maneguini (2002) era totalmente inédito no país, visto que a pesquisa no Brasil era praticada de forma fragmentada e engessada em laboratórios pequenos e com pouca ou quase nenhuma interação entre os pesquisadores.

Assim, a decisão de construir um laboratório Síncrotron, permitiu que a tecnologia brasileira desempenhasse um papel importante entre o setor científico e tecnológico no país. A organização social e entrosamento entre pesquisadores brasileiros e estrangeiros e suas respectivas pesquisas desenvolvidas no LNLS, coloca o Brasil numa notável posição a respeito do desenvolvimento científico (Brum e Maneguini, 2002).

2.2 Construção da Fonte de Luz Síncrotron

A equipe responsável pela construção do LNLS iniciou os trabalhos em 1986. O projeto foi liderado pelo Diretor do LNLS, Cylon Gonçalves da Silva, pelo Diretor Técnico Ricardo Rodrigues responsável pelos projetos de engenharia e construção da máquina e pelo diretor

Científico Aldo Craievich encarregado de mobilizar a comunidade científica e treinar os primeiros usuários do laboratório. (Silva, 1996).

Embora o primeiro acelerador de partículas tenha sido construído em 1911, ainda havia pouca experiência quanto a construção, a Física e a engenharia dos aceleradores, foi preciso adotar uma estratégia para a formação técnica da equipe com base na habilidade e experiência das pessoas selecionadas. Ocorreram treinamentos, oficinas, cursos e trabalhos práticos, isso propiciou que em vez de enviar membros da equipe para o exterior para treinamento, esses profissionais puderam adquirir experiência e aplicá-la imediatamente ao próprio ambiente de trabalho, o que acarretou numa mão de obra mais econômica e de profissionais brasileiros atuando no LNLS (Silva, 1996). Além disso, alguns técnicos foram enviados para laboratórios semelhantes ao redor do mundo em curto prazo para resolver problemas específicos. Foram contratados consultores do exterior para avaliar o andamento do projeto. O sistema na construção do LNLS possibilitaria a formação de uma sociedade jovem, coesa e entusiasta, permitindo trabalhar com a flexibilidade necessária para fazer escolhas adequadas com base no contexto e nas restrições orçamentárias. (Silva, 1996).

Durante a primeira metade de 1987, criou-se uma maquete, que representava um esboço do que viria ser o laboratório mais tarde, nessa época procurou-se um local temporário, contratando o pessoal técnico, planejando as instalações e adquirindo os equipamentos básicos para o laboratório. Com a equipe técnica e administrativa ocupando as instalações provisórias, ainda em 1987 a equipe começa o desenvolvimento dos equipamentos. O projeto inicial (que será chamado de Projeto 1), preparado em 1985, consistia em um anel de armazenamento de elétrons de intensidade de 2-3 GeV que permite analisar e estudar materiais em diferentes áreas do conhecimento em tempo real. Ao penetrar na matéria, a luz interage com átomos possibilitando “enxergar” dentro da matéria.

Figura 4 Maquete do projeto Sirius



Fonte: CNPEM 2016

Figura 3 Construção do LINAC



Fonte: CNPEM 2016

O projeto previu a construção de um canhão de elétrons, seguido de um acelerador linear (Linac) seguido de um Síncrotron injetor. A construção do anel de armazenamento requeria um alto nível de conhecimento técnico. Uma tarefa mais acessível foi a construção do Linac, que serviu como etapa de formação e treinamento para a equipe, preparando-a para a construção de todo o laboratório (Brum e Maneguini, 2002). Segundo Silva (1996), desde o início da construção do anel, a necessidade de reavaliar o projeto do laboratório era sabida, até que em 1989 o projeto passa por uma revisão buscando se ajustar as evoluções tecnológicas de Síncrotrons. O Projeto 1 possuía poucas seções retas, onde foram instaladas os dispositivos de inserção os quais permitem obter raios X duros com altas energias de fótons (acima de 5 a 10 keV) considerados mais energéticos. A tecnologia desses dispositivos passou por uma série de estudos e aperfeiçoamentos ao longo dos anos noventa.

Devido as dificuldades econômicas, o projeto precisa se adequar a um orçamento reduzido, o que impacta diretamente no tamanho do anel projetado. O novo projeto do anel teve que se ajustar a algumas orientações, Silva (1989) relata: a) a necessidade de manter o cronograma original, e ser comissionado até 1992; b) ser uma fonte de luz cientificamente interessante e eficaz para pesquisa; c) técnicas e capital no alcance da equipe do LNLS; d) a equipe de pesquisadores e engenheiros do LNLS deveria assumir total responsabilidade a respeito da construção do laboratório e e) não deveria prejudicar o objetivo final estabelecido nas linhas do Projeto 1, ou seja, o projeto UVX- 2, deveria permanecer dedicado à região espectral de Ultravioleta (UV) e de raios X moles (menos energéticos), daí o nome do acelerador de partículas UVX, constituído de um anel de armazenamento de 1,15 GeV, com uma corrente de 100mA, e injetado por um Linac de 120 MeV.

O momento delicado que se encontrava a economia e a política brasileira no período entre 1991 a 1993, exigiu grande esforço da equipe de pesquisadores e engenheiros que continuaram os trabalhos de forma mais tímida, com o desenvolvimento de protótipos de componentes do anel de armazenamento.

Figura 5 - Prédio que posteriormente receberia o anel em 1995



Fonte: CNPEM, 2016

No ano de 1993, com o controle da economia e o início da transição do plano Real, as atividades na construção do laboratório são retomadas em ritmo mais intenso. Em outubro de 1995, a equipe inicia o processo de transferência para a sede definitiva, numa área de 38 hectares na região do II- Polo de Alta Tecnologia de Campinas, próxima à Unicamp, local cedido em 1990, pelo Governo do Estado de São Paulo.

Nessa época, a equipe inicia a montagem da fonte de luz Síncrotron e projeta vários dos subsistemas da máquina. O injetor Linac de 120 MeV é montado no túnel, iniciando sua operação, na energia nominal, em 22 de dezembro de 1995, algum tempo depois, em 22 de maio de 1996 a primeira volta dos elétrons no anel de armazenamento foi observada e em 30 de maio o primeiro feixe de luz é armazenado. Assim, em maio de 1997 a corrente acumulada atingiu 120 mA (acima dos 100 mA projetados).

Ao superar os parâmetros de corrente de injeção, energia final e o “tempo de vida” da corrente, foi possível a existência de linhas de luz eficientes na região de raios X duros, mesmo antes da instalação de dispositivos de inserção. O segundo semestre de 1996 foi marcado pela instalação das primeiras linhas de luz, sendo, das vinte quatro linhas previstas no LNLS, 7 linhas de luz já haviam sido construídas ou estavam em construção, que são elas: linhas de absorção de estrutura fina de raios X (XAS), linhas de espectroscopia de raios X moles (SXS), espalhamento de baixo ângulo (SAS), difração de raios X (XRD), cristalografia de proteínas (PCR) e duas linhas de espectroscopia UV, uma com monocromador de grade esferoidal (SGM) e a outra com monocromador de grade toroidal (TGM).

Inaugurado em julho de 1997 durante o mandato de Fernando Henrique Cardoso, o LNLS inicia a sua operação para pesquisadores e de mais usuários interessados em desenvolver suas pesquisas no laboratório. As Reuniões Anuais de Usuários (RAU) refere-se aos interessados em realizar pesquisas no LNLS e ocorriam desde 1990, essas reuniões tornaram-se de grande relevância, pois permitiram a divulgação de trabalhos científicos que utilizam a luz Síncrotron em outros laboratórios no mundo, bem como a ampla discussão das técnicas e procedimentos a serem desenvolvidos no LNLS, além disso, paralelamente a construção do laboratório, desenvolveu-se um trabalho de preparação da comunidade científica, ou seja, neste período foram organizados cursos e oficinas que explicavam as técnicas e aplicações da luz Síncrotron.

Figura 6 - Interior do LNLS



Fonte: CNPEM 2016

Decorrente desse esforço, já no início de sua operação, o LNLS possuía um número significativo de usuários. Tanto que atividades como reuniões, cursos e visitas virtuais são desenvolvidas até hoje.¹ Nos anos seguintes, novas linhas de luz foram construídas. Em 1998, a linha de luz de fluorescência (XRF) e de instrumentação (XRI) são comissionadas. Atendendo a demanda dos usuários, em 1999 a linha de instrumentação é adaptada em uma nova linha de difração (XD2), e uma linha dedicada à litografia de raios X e UV (XRL) foi construída, atingindo o patamar de 10 linhas de luz em funcionamento.

Em julho de 1998, a Divisão de Aceleradores do LNLS inicia os trabalhos de melhorias no sistema de injeção do anel, durante dois anos e meio um novo injetor foi projetado e instalado entre o Linac e o anel de armazenamento. Sua função era injeção mais eficiente, de modo que se obtivesse uma energia intermediária de 500 MeV, podendo atingir correntes ainda maiores e provocando uma diminuição nas dimensões verticais dos feixes.

2.3 A implementação do laboratório: uma instituição de pesquisa de classe mundial

Concluído o anel e iniciada as operações, o LNLS se depara com o desafio de estabelecer e consolidar o laboratório UVX como uma instituição de pesquisa de classe mundial, para isso, citamos a seguir alguns aspectos importantes:

- importância da multidisciplinariedade no laboratório, o que propicia um ambiente favorável a diferentes áreas de pesquisa;
- a característica de laboratório aberto, multiusuário, que se mostra uma opção interessante para otimizar os recursos aplicados a ciência e a tecnologia;

¹ Agora focado no Sirius, inaugurado em outubro de 2021

- desenvolvimento da instrumentação científica, indispensável para o trabalho de pesquisa e a ampliação da capacidade experimental dos usuários;
- a necessidade do país de utilizar ao máximo seus recursos materiais e incentivar a pesquisa do desenvolvimento científico e tecnológico;
- a possibilidade de atuar, junto ao Ministério da Ciência e Tecnologia, cujo objetivo é o de promover e divulgar a pesquisa científica, tecnológica do país a nível mundial.

O UVX foi desativado em meados de 2019, e atualmente o LNLS concentra seus esforços no acelerador Síncrotron de quarta geração, o Sirius.

2.4 O Sirius

Cinco anos após o projeto para a construção da nova fonte de luz Síncrotron ser aprovado, em 2013 inicia a desapropriação do terreno pelo Governo do Estado de São Paulo para a construção do Sirius. Assim como o UVX, atualmente o LNLS é responsável pela operação do Sirius, inaugurado em 2018. O prédio do Sirius contempla uma área de 68.000 metros quadrados e abriga um acelerador de quarta geração com formato de anel, cujo diâmetro é de 518 metros, estima-se que o investimento na sua construção tenha sido de aproximadamente 1,8 bilhão de reais (CNPEM, 2014).

Construído por brasileiros, o Sirius está entre as obras civis mais sofisticadas já construídas no Brasil, desafiando a engenharia brasileira, o laboratório foi construído seguindo altos padrões de exigências quanto a estabilidade mecânica e térmica. O piso do laboratório possui um reforço estrutural de 90 centímetros, garantindo a estabilidade do prédio. O laboratório ainda conta com paredes de 100 centímetros em torno do anel por onde passa a luz Síncrotron, garantindo a blindagem e bloqueio da radiação durante a operação dos aceleradores (CNPEM, 2020).

Figura 7 - Fase de Construção do Sirius



Fonte: CNPEM, 2016

Figura 8 - Sirius vista aérea



Fonte: CNPEM, 2016

A fim de comparação quanto a radiação síncrotron, o UVX contava com um feixe de baixo de brilho, energia de 1,37 GeV e circunferência de 93,2 m, enquanto o Sirius conta com 3GeV, alto brilho e 518m de circunferência. Na prática, o Sirius garante mais linhas de Luz para abranger pesquisas de diferentes áreas como como o desenvolvimento de vacinas, medicamentos e tratamentos para doenças, novos fertilizantes, espécies vegetais mais resistentes e adaptáveis e novas tecnologias para agricultura, fontes renováveis de energia, entre muitas outras potenciais aplicações, com fortes impactos econômicos e sociais. (CNPEM, 2020). Na Tabela 1, listamos algumas das principais diferenças entre o acelerador de segunda geração UVX e o acelerador de quarta geração Sirius.

Tabela 1: Principais aracterísticas UVX e Sirius

	UVX (segunda geração)	Sirius (quarta geração)
Inauguração	1997	2018
Circunferência do anel	93,2m	518,2m
Diâmetro médio	29,7m	165 metros
Faixa de energia	1,37 GeV.	3 Gev
Emitância	100 nm.rad	0,28 nm.rad
Ímãs	Dipolos magnéticos	Dipolos magnéticos e onduladores
Linhas de luz	Chegou a operar 17 linhas	16 linhas operantes, potencial para 38 linhas.

Fonte: Produzido pela autora

O Anel de Armazenamento UVX é uma Fonte de Luz Síncrotron que operava com feixes de elétrons à energia de 1,37 GeV, enquanto o Sirius acelera elétrons próximos à velocidade da luz, numa via na qual todos caminham numa mesma direção e até uma energia fixa de 3 GeV, ao aumentar a energia isso significa melhorar quantitativamente as características de experimentos reduzindo o tempo de aquisição dos dados e aumentando a precisão dos resultados das medidas. (CNPEM, 2014, p. 16).

Compreender e controlar a emitância é fundamental para otimizar a qualidade do feixe de luz síncrotron. A emitância refere-se à distribuição espacial e angular da radiação emitida pelos elétrons no feixe. Uma menor emitância, como é o caso do Sirius, ocasiona em um feixe mais brilhante, fundamental em experimentos de raio-X de alta resolução, por exemplo.

A emitância está diretamente relacionada ao tamanho e divergência do feixe de luz, isso significa dizer que quanto menor a emitância, mais preciso e focalizado será o feixe, influenciando diretamente na coleta de dados mais precisos e significativos, otimizar o tempo

para se obter a imagem de uma amostra e melhorar a qualidade dos resultados experimentais. (Silva, 2017).

Além dos dipolos, o Sirius conta com um conjunto adicional de ímãs conhecidos como onduladores que se tratam de dispositivos magnéticos que utilizam campos magnéticos alternados para forçar partículas carregadas, como elétrons, a realizar movimentos oscilatórios enquanto se deslocam ao longo de suas trajetórias curvas, contribuindo para aumentar a intensidade da luz gerada em até 10 mil vezes em comparação com a que era produzida no UVX. (Silva, 2017).

As linhas de luz presentes no Sirius, assim como no UVX tratam-se de estações de pesquisa onde são realizados os experimentos, diversas técnicas experimentais são utilizadas para observar aspectos microscópicos dos materiais, os átomos e moléculas que os constituem, seus estados químicos e sua organização espacial, além de acompanhar o comportamento de uma amostra quando o material é submetido a diferentes condições, como temperaturas elevadas, tensão mecânica, pressão, campos elétricos ou magnéticos, ambientes corrosivos, etc (CNPEM, 2020)

As linhas de luz compreendem essencialmente três componentes principais: a fonte, a ótica e os sistemas experimentais, que incluem o ambiente de amostra e os detectores. No UVX com elétrons de energia igual a 1,37 GeV, os dispositivos de inserção podem ser usados apenas para produzir radiação na faixa de raios X moles, até cerca de 2 keV, enquanto os onduladores presentes no Sirius ampliam a intensidade da radiação na ordem de 10.000 vezes permitem a produção de raios X na faixa de até aproximadamente 30 keV (Silva, 2017).

As linhas de luz funcionam de forma independente entre si e são otimizadas para experimentos diversos, isso permite que diversos grupos de pesquisadores trabalhem simultaneamente em diferentes pesquisas. Nomeadas com nomes da fauna e flora brasileiras, as linhas de luz do Sirius são planejadas para abrigar instrumentação científica avançada, adequada para solucionar problemas em áreas estratégicas para o desenvolvimento de pesquisas de cientistas de todo país e do exterior (CNPEM, 2023).

Atualmente, o Sirius conta com dezesseis linhas operantes, uma está em fase de projeto, uma em comissionamento e duas na fase de montagem. A longo prazo, o objetivo do Sirius será abrigar até 38 linhas de luz, das quais seis serão linhas longas, com comprimento de 100 a 150 metros (CNPEM, 2023). Através da Luz Síncrotron é possível penetrar a matéria e revelar características de sua estrutura molecular e atômica para a investigação de todo tipo de material. O seu amplo espectro e diferentes faixas de energia permitem realizar diferentes tipos de análise.

Na Tabela 2, listamos as linhas de luz presentes no Sirius atualmente.

Tabela 2 - Linhas de Luz do Sirius

Linhas de luz	Técnica principal	Faixa de energia	Status
Carnaúba	Nanosopia de Raio-X	2 – 15 keV	Aberta
Cateretê	Espalhamento de Raio-X	3 – 24 keV	Aberta
Cedro	Dicroísmo circular	3- 9 keV	Aberta
Ema	Espectroscopia e difração raio-x em condições extremas	2,7 – 30 keV	Aberta
Imbuia	Nanoespectroscopia de Infravermelho Espalhamento inelástico ressonante de raios	70 – 400 meV	Aberta
Ipê	X e Espectroscopia de Fotoelétrons	100 - 2000 eV	Aberta
Jatobá	Espalhamento total de Raios X e Análise de PDF	40 - 70 keV	Aberta
Manacá	Micro e Nanocristalografia Macromolecular	5 - 20 keV	Aberta
Mogno	Micro e Nanotomografia de Raios X	22 39 67,5 keV	Aberta
Paineira	Difração de Raios X em Policristais	5 - 30 keV	Aberta
Quati	Espectroscopia de Raios X com Resolução Temporal	4,5 - 35 keV	Montagem
Sabiá	Espectroscopia de Fotoemissão e Absorção de Raios X Moles de Alto Fluxo	100 - 2000 eV	Aberta
Sapê	Espectroscopia de Fotoemissão Resolvida em Ângulo	8 - 70 eV	Comissionamento
Sapucaia	Espalhamento de Raios X a Baixos Ângulos	6 - 17 keV	Montagem

Fonte: CNPEM, 2023

Embora juridicamente o CNPEM seja uma instituição de Direito Privado, também qualificado como Organização Social, que atua para cumprir metas fixadas em Contrato de Gestão com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, portanto, o Sirius recebe propostas de pesquisadores brasileiros e estrangeiros que desejam utilizar as estações experimentais do Laboratório de forma gratuita. No ano de 2022 o Sirius recebeu 334 propostas de pesquisa, submetidas por pesquisadores de 15 países e de 17 diferentes estados brasileiros. (CNPEM, 2023).

De acordo com o *Web of Science*², é possível encontrar cerca de 2349 artigos publicados em inglês entre 2010 a 2019, relacionados às pesquisas desenvolvidas no Sirius nas áreas como Ciência dos Materiais, Química, Física, Física Aplicada, Nanociência e Nanotecnologia, Biologia Molecular, Biotecnologia e Engenharia Agrícola. Anualmente, ocorrem três convocações para a submissão de projetos, destinadas a pesquisadores brasileiros e estrangeiros interessados em conduzir experimentos no Sirius, somente na última chamada de 2023, cerca de 232 propostas de pesquisa foram selecionadas.

O Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais – (CNPEM) conta com cerca de 650 colaboradores diretos e indiretamente nos quatro Laboratórios Nacionais, são eles: Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS); Laboratório Nacional de Biociências (LNBio); Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), em notícia inédita, o Governo Federal³ informou que o Brasil será o primeiro país da América Latina a ter um laboratório de Biossegurança, conhecido como NB4, e o primeiro do mundo conectado a uma fonte de luz síncrotron, assim, passará a dispor de condições para lidar com patógenos que podem causar doenças graves. É previsto, segundo o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) que, até 2026, R\$ 1 bilhão em recursos do serão destinados a esse laboratório. (Brasil, 2023).

De acordo com Negri e Galdino, embora o Brasil detenha um sistema científico e tecnológico mais diversificado do que vários outros países da América do Sul, a quantidade de instalações de pesquisa de grande porte, abertas e multidisciplinares, se restringe a pouquíssimos casos se comparados com países desenvolvidos. Para o Brasil ser um agente relevante na produção científica e tecnológica mundial, é fundamental o investimento na qualidade e atualização tecnológica de instalações e equipamentos de laboratórios como o Sirius, bem como um incentivo atrativo aos pesquisadores (Negri, Galdino, 2022).

Na mídia, o Sirius ganhou notoriedade em nível nacional no ano de 2021, ao desenvolver meios para revelar detalhes inéditos da reprodução do vírus da Covid-19. A busca pela visibilidade e divulgação do Sirius vai além das pesquisas desenvolvidas. Em 2023, o CNPEM retomou o evento Ciência Aberta, no qual os quatro laboratórios abrem suas portas à população. Atividades são programadas de forma que pesquisadores e entusiastas da ciência possam conhecer de perto o Sirius, participar de oficinas, palestras, estandes, e cerca de 80 atividades desenvolvidas com intuito de tirar dúvidas, traduzir conceitos, reproduzir

² <https://wojournal.com/country.php?id=Brazil>

³ <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2023/08/brasil-tera-primeiro-laboratorio-de-maxima-contencao-biologica-do-mundo-conectado-a-uma-fonte-de-luz-sincrotron>

experimentos e inspirar jovens e adultos através dos mais diversos temas da ciência. O evento é gratuito e solidário. No ano referido, os participantes foram convidados a doar um quilo de alimento não perecível, ao final foram arrecadadas 5,4 toneladas em produtos (CNPEM, 2023).

O CNPEM em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e a Sociedade Brasileira de Física (SBF), promovem anualmente a Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM), voltada para professores de Física, Química e Biologia. Com aulas teóricas e práticas, ministradas pelos profissionais do CNPEM, o curso ainda conta com palestras de convidados. O CNPEM é, ainda, o idealizador da ILUM, uma escola de ensino superior interdisciplinar em Ciências e Tecnologia, que atrela os conteúdos estudados as pesquisas desenvolvidas pelos quatro laboratórios administrados pelo CNPEM. Dentre as propostas da ILUM, a principal é o incentivo à realização de pesquisas nas áreas de saúde, energia renovável, ciências agroambientais, materiais renováveis e tecnologias quânticas. Integralmente gratuita, a Ilum também oferece cursos de inglês, moradia e transporte às/aos estudantes (CNPEM, 2023).

O curso tem duração de três anos e oferece o título da graduação em Bacharel em Ciências. O processo de ingresso ocorre todos os anos e são disponibilizadas quarenta vagas, vinte delas destinadas a estudantes de escolas públicas. Os requisitos necessários para concorrer a uma das vagas são: manifestação de interesse por meio de um formulário disponibilizado pelo CNPEM, nota do ENEM e entrevista com a comissão de avaliação (CNPEM, 2023).

De acordo com o professor e diretor da Ilum Adalberto Fazzio, em entrevista a revista Ensino Superior⁴, a Ilum age na contramão a “fuga de cérebros”, processo caracterizado pela saída de profissionais extremamente qualificados em busca de melhores condições de emprego e renda no exterior.

Diante do exposto, notamos que o Sirius simboliza grandes avanços e é o espaço para muitas pesquisas brasileiras, principalmente as que emergiram em meados do século XX, dando origem ao que conhecemos hoje como FMC. Inspirados em criar ferramentas para o Ensino de FMC e fomentar o desejo de estudar e “fazer” ciência por parte dos estudantes, nos capítulos a seguir, nos dedicaremos a explicitar os princípios basilares da SD: o epistemológico e o didático.

⁴ <https://revistaensinosuperior.com.br/2022/02/22/cnpem-comeca-a-formar-nova-geracao-de-cientistas-do-pais/>

3. Capítulo II - REFERENCIAL TEÓRICO

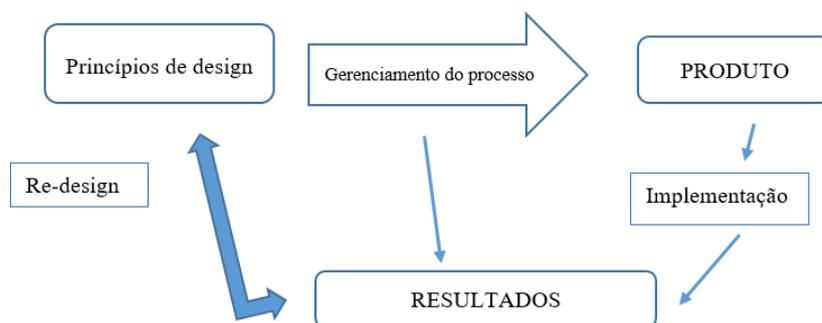
3.1 Pesquisa baseada em design (DBR) e a SD

Optamos por desenvolver essa pesquisa, desenvolvendo a SD fundamentada na pesquisa baseada em design (DBR). A DBR surgiu na década de 1990 e tem caráter intervencionista, buscando aliar aspectos teóricos e práticos (Kneubil e Pietrocola, 2017). Os percursores dessa modalidade de pesquisa foram Brown (1992) e Collins (1992). Dentre as principais características que compõem esse tipo de pesquisa, destaca-se por se tratar de uma sequência passível de mudança caso seja necessária sua reaplicação em diferentes contextos. De acordo com Pietrocola:

[...] a DBR como uma pesquisa que combina empiricamente a pesquisa educacional teórica com ambientes de aprendizagem, sendo uma metodologia importante para a compreensão de como, quando e por que inovações educacionais funcionam (ou não) na prática. A metodologia DBR consiste numa espécie de gerenciamento de controle do processo de produção e implementação de uma inovação educacional em contextos escolares reais. Assim, a DBR pode ser considerada numa espécie de teoria sobre a metodologia e organiza de maneira coerente o processo de levar à sala de aula uma inovação curricular e/ou pedagógica. (Pietrocola, 2017).

A principal característica da pesquisa baseada em design é que a mesma gerencia desde a ideia inicial de um projeto, sua criação e implementação, isso permite que seja feita uma análise de todas as etapas do processo e se necessário são feitos alguns ajustes e reformulações de forma que todas as etapas sejam aprimoradas até chegar ao produto final satisfatório. A seguir a Figura 10 esboça o esquema que representa as etapas da pesquisa baseada em design.

Figura 9 – Esquematização Pesquisa Baseada em Design



Fonte: Adaptado de Kneubil e Pietrocola (2017)

De acordo com Pessanha (2014), devido ao seu caráter intervencionista que permite ajustes, reajustes e que reformulações sejam feitas, a DBR é muito abrangente e pode ser utilizada nas mais diversas áreas, cujo o objetivo seja a implementação de um novo produto.

Vale reassaltarmos que antes de ser implementada, a DBR é pensada respeitando sobre tudo várias dimensões teóricas de forma a eleger os princípios de design que irão nortear toda a produção. O processo de design deve ser subsidiado por informações de natureza prática, de forma que o produto final seja o mais adequado a uma dada realidade (Kneubil e Pietrocola 2017).

Kneubil e Pietrocola (2017) lamentam a ausência de pesquisas que tratem de assuntos pontuais em sala de aula, assim, devido o seu caráter intervencionista, a DBR assume um papel importante para preencher lacunas, focando no aprofundamento de tópicos específicos do ensino. De acordo com Kneubil e Pietrocola (2017)

Entre o nível teórico e a prática didática propriamente dita existe um nível intermediário deixado de lado pelos pesquisadores em ensino de ciências. Em geral, essa dimensão que envolve aspectos e situações reais de sala de aula é deixada para o professor. A pesquisa baseada em design viria a preencher essa lacuna pela possibilidade de produção de conhecimento didático, relacionado a um conteúdo específico. (Kneubil e Pietrocola, 2017)

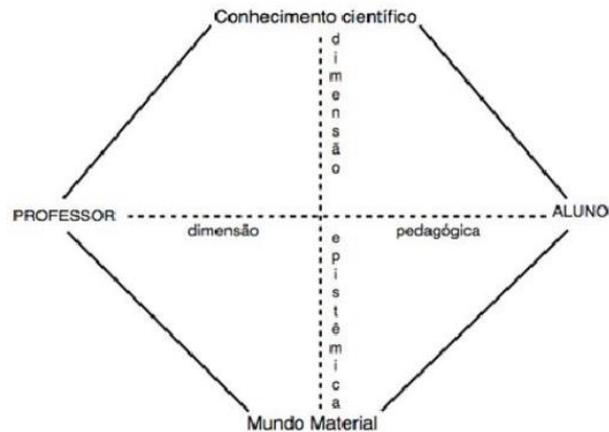
A partir dessas ideias, vários pesquisadores têm se inclinado a produção de sequências didáticas, valendo-se da pesquisa baseada em design, tais como: Siqueira (2007), Pietrocola (2005), Azevedo (2006). Também as teses e dissertações de Azevedo (2007), Brockington (2005), Siqueira (2006), Souza (2006), Pessanha (2014), Kneubil (2014). Os autores argumentam que o desenvolvimento de atividades de um tema específico trabalhado em poucas semanas, além de permitir um aprofundamento do conteúdo também culminam em dados de pesquisa de caráter intervencionista, acerca da aprendizagem cognitiva de alunos e professores.

Sobre o papel do pesquisador na DBR, Pietrocola (2010) e Pessanha (2014) relatam que é fundamental o conhecimento sobre as abordagens didáticas usuais a respeito do assunto para que possa desenvolver e justificar uma nova abordagem. Quanto ao desenvolvimento de uma SD, o pesquisador deve levar em consideração os elementos: professor, alunos, mundo material e conhecimento científico, Méheut e Psillos (2014) relaciona esses elementos por meio do que os autores chamam de dimensões, sendo uma pedagógica e outra epistêmica.

A dimensão pedagógica leva em consideração as interações entre professor e aluno, aluno-aluno e as restrições impostas pelas unidades escolares como o calendário escolar e o material que deverá ser utilizado pelo professor, por exemplo. A dimensão epistêmica lista os processos de elaboração, os métodos, a validação do conhecimento, sua significação com o mundo real e a forma que o homem interage com os fenômenos, nesta dimensão pode-se incluir: época, lugar, método, teoria, disciplina (Méheut e Psillos, 2014).

A Figura 10 apresenta o losango epistemológico que representa ambas as dimensões citadas.

Figura 10 – Losango didático



Fonte: adaptado de Méheut e Psillos (2004)

3.2 Desenvolvimento de uma SD

Para o desenvolvimento da SD, é necessário que o pesquisador gerencie e respeite algumas etapas, são elas: seleção do tema, design, implementação, avaliação e re-design.

Seleção do tema: A escolha de um conteúdo específico pode ser motivada pelo interesse do pesquisador em aprofundar um determinado assunto, com a intenção de melhorar a qualidade do que é ensinado e o que deve ser aprendido pelos alunos. Na Física, Pietrocola (2010) observa que assuntos escolhidos com certa recorrência são aqueles relacionados à FMC, tais como modelo padrão, paradoxo dos gêmeos, Física Solar e estrutura da matéria.

Os princípios de design são norteadores da elaboração da SD, o seu caráter intervencionista no que diz respeito à didática e ao aprendizado, bem como aos pressupostos teóricos que definirão “o que” e “como” será ensinado precisam estar alinhados de forma que seja possível interferir de maneira coerente na reformulação da SD.

Design: É necessário estabelecer alguns objetivos específicos que devem dialogar com o tema selecionado para o desenvolvimento da SD. A elaboração do design da SD deve ser norteada por uma fundamentação teórica consistente, um conhecimento já disponível deve ser utilizado como fio condutor para o processo de design.

Assim, definido o tema a ser estudado e os princípios de design somados aos objetivos específicos, a etapa seguinte é a implementação. Nesta fase ocorre a aplicação da SD produzida

e a coleta dos dados, tudo o que for recolhido de informação nesta etapa se transforma em dados para análise;

A avaliação da SD, contempla se os objetivos traçados inicialmente foram atendidos, bem como se a implementação da SD transcorreu de forma que os resultados obtidos se aproximam do esperado no que diz respeito ao que pode ser aferido quanto ao aprendizado dos estudantes.

Quanto à verificação da qualidade da SD, três fatores precisam ser levados em consideração, de acordo com Pietrocola (2010): a validação, que se refere ao grau em que o projeto corrobora para o conhecimento. A efetividade, capacidade de produzir um efeito real/impactos a longo prazo e a praticidade da SD, que remete a sua funcionalidade e praticidade para ser utilizada.

Méheut e Psillos (2004) sugerem que a SD deve passar por dois tipos de avaliação, uma interna (anterior a implementação) que permite testar a eficácia da sequência em relação aos objetivos iniciais, e uma avaliação externa (posterior a implementação) que busca observar se o trabalho realizado em conjunto com os alunos por meio da SD projetada é mais eficaz que outras metodologias de ensino.

Após a avaliação da SD é possível observar possíveis falhas e pontos a serem melhorados. Na etapa de redesign, cabe desde a realização de ajustes até o replanejamento da SD. Após o re-design da SD é necessário uma nova implementação, o que torna o processo DBR cíclico e interativo, visto que pode ser implementado inúmeras vezes. Vale reassaltar que as alterações e o redesenho da SD podem vir acompanhados de sugestões com caráter preventivo, isto é, alertas e sugestões sobre possíveis dificuldades e obstáculos em determinadas etapas podem ser apresentadas no redesenho e são valiosas para as futuras implementações.

3.2.1 Quanto ao princípio epistemológico: Bachelard e a fenomenotécnica

Pessanha (2014) afirma que os novos conhecimentos que surgem na Física do início do século XX, levam a necessidade de se repensar sobre a concepção da Física e a produção de Ciência. Dentre as correntes filosóficas de grande influência no século passado temos o positivismo que defende a ideia de que o conhecimento científico seria a única forma de conhecimento verdadeiro, além disso, o positivismo acredita que a evolução da ciência se baseia numa visão continuísta onde o novo conhecimento é sempre fruto do aprofundamento de conhecimentos anteriores. (Bulcão, 2009).

As percepções da FMC, em especial aquelas que envolviam indeterminismo e aceitação de um conhecimento de natureza probabilística como o caso da Física Quântica, apresentam-se como ideias inéditas na Ciência, e se contrapõe ao pensamento Positivista, pois não podem ser explicadas com os conhecimentos da Física Clássica (Castelão- Lawess, 1995).

Nesse contexto em que a Física passa por mudanças e descobertas inovadoras, há uma necessidade de reavaliação das explicações científicas, com isso surge o pensamento Bachelardiano. Gaston Bachelard nasceu no final do século XIX na França e vivenciou o início da Física Moderna, para ele, a “Nova Física” não era condizente com o pensamento positivista, pois a mesma deveria romper com a Física clássica para ser explicada. (Barbosa, 2004).

Bachelard contrapõe-se à ideia que a evolução da Ciência ocorre de forma contínua, pois, para ele: “as retificações dos erros devido a reorganização do saber rompem com as teorias passadas e não há uma complementação contínua com essas teorias” (Bachelard, 1984, p.17). A Física Quântica e a relatividade são responsáveis por boa parte dos problemas que não tinham respostas até o início do século XX e que não podiam ser explicadas de forma satisfatória por meio da Física Clássica. Vale destacar que para Bachelard as rupturas com ideias do passado não representam uma negação total a esses conhecimentos (Bulcão, 2009). Na obra “A Filosofia do Não”, o autor destaca:

A negação deve permanecer em contato com a formação primeira. Deve permitir uma generalização dialética. A generalização pelo não deve concluir aquilo que nega. De fato, todo o desenvolvimento do pensamento científico de há um século para cá provém de tais generalizações dialéticas com envolvimento daquilo que se nega. Assim a geometria não-euclidiana envolve a geometria euclidiana; a mecânica não-newtoniana envolve a mecânica newtoniana; a mecânica ondulatória envolve a mecânica relativista. No domínio da física, a constante de Planck h surge como um fator de pequena desobediência relativamente às regras da ciência do senso comum. Como já várias vezes observamos, basta anular h nas fórmulas da mecânica ondulatória para se obterem as fórmulas da mecânica clássica. A microfísica ou, por outras palavras, a não-física inclui, pois, a física. A física clássica é uma não-física particular correspondente ao valor zero atribuído a h . (Bachelard, 1984, p.83).

Considerando a visão de Bachelard de rupturas da ciência, o filósofo trata o conhecimento científico como um conhecimento aproximado, na qual Bulcão (2009) explica que a ciência contemporânea rompe com o que é real, imediato e de pensamento comum, a Ciência deve ser “construída” através de racionalizações e técnicas.

O processo dialético entre razão e realidade pode ser explicado pelo o que Bachelard nomeou de técnica, que segundo o autor é o que possibilita que novos saberes sejam alcançados. É através de um domínio da técnica correta e de sua associação com o pensamento que a Ciência pode progredir, conhecer e formular novos objetos (Bachelard, 1978).

Para Bachelard, a chamada microfísica são os fenômenos que ocorrem em escala microscópica e o fato de não os perceber com a experiência sensorial cotidiana passou a compor uma das principais características da Física ao longo do século XX. A exemplo disso, podemos citar as partículas subatômicas ou o comportamento corpuscular da luz que não são fenômenos acessíveis aos sentidos e não podem ser vistos a olho nu. De acordo com Bachelard, a Ciência moderna não pode ser explicada apenas pelos sentidos e passa a ser explicada por aparelhos. Segundo Lopes (1994), um fenômeno científico é construído por meio da interpretação instrumental e teórica, onde uma complementa a outra.

Bachelard considera a fenomênica⁵ diretamente acessível e explicada pelos sentidos, enquanto a realidade construída e racionalizada por meio de técnicas e aparelhos é tratado por Bachelard como fenomenotécnica, pois

É preciso haver outros conceitos além dos conceitos visuais para montar uma técnica do agir cientificamente no mundo e para promover à existência, mediante uma fenomenotécnica, fenômenos que não estão naturalmente na natureza. Só por uma desmaterialização da experiência comum se pode atingir um realismo da técnica científica. (Bachelard, 1984, p. 160).

Em linhas mais gerais, Bachelard argumenta que conforme a FMC começou a se organizar, a comunidade científica passou a “criar” os fenômenos a serem estudados. Os fenômenos “produzidos” em laboratório em condições muito específicas refletem muito na sociedade tecnológica que vivenciamos hoje, com o uso de aparelhos celulares e computadores.

3.2.2 Aceleradores de Partículas e a Fenomenotécnica

Historicamente antes mesmo dos aceleradores de partículas existirem alguns experimentos se mostraram relevantes para o estudo da estrutura da matéria, como o experimento do espalhamento de partículas alfa numa folha de ouro proposto por Rutherford, o experimento tinha a finalidade de verificar se os átomos eram maciços. Rutherford bombardeou uma fina lâmina de ouro com pequenas partículas de carga positivas, denominada partículas alfa, ele observou que a maior parte dessas partículas atravessava a lâmina, algumas eram repelidas e outras desviadas.

Com o passar dos anos muitas previsões teóricas na área da Física Moderna começaram a ser especuladas e mais tarde puderam ser confirmadas (ou não) mediante os resultados obtidos experimentalmente por equipamentos que passaram a ser produzidos garantindo vários avanços nesta área, em especial os aceleradores de partículas que contribuíram para o refinamento do

⁵ Relativo a fenômeno, acontecimento que se consegue observar.

conhecimento científico.

De acordo com Pessanha (2014), os aceleradores de partículas representam um grande avanço para nossa sociedade, por meio deles é possível fazer estudos avançados a respeito da Física de Partículas e Física Nuclear, há também aplicabilidade desses equipamentos nas áreas de biomedicina, geofísica, indústria petroleira entre outros.

Aceleradores de partículas são máquinas de grandes dimensões que por meio de campos elétricos conseguem acelerar partículas a grandes velocidades e com o uso de campos magnéticos as mesmas são direcionadas até colidirem contra um alvo. De acordo com Sessler (2007), existem vários tipos de aceleradores de partículas: eletrostáticos, cíclotrons, lineares, betatrons, Síncrotrons e colisores, suas diferenças estão principalmente atreladas a forma como as partículas são aceleradas e como colidem.

A maioria das partículas subatômicas obtidas no interior dos aceleradores possuem curta duração e não podem ser observadas com frequência no nosso dia a dia. As dimensões imperceptíveis das partículas demonstram que o uso dos aceleradores de partículas são um exemplo da fenomenotécnica bachelardiana que permite a construção de uma realidade, ou seja, o conhecimento obtido por meio dos aceleradores de partículas sobre a estrutura da matéria no decorrer dos anos envolve fenômenos e técnicas para seu entendimento, portanto não é possível separar qualitativamente o objeto de estudo das ferramentas utilizadas para estudá-lo.

3.3 Quanto ao princípio didático-pedagógico: a Teria Antropológica do Didático

A teoria da transposição didática foi introduzida por Michel Verret (1975), no seu trabalho intitulado “O tempo dos Estudos”, e, posteriormente Yves Chevallard introduziu o tema a respeito da Transposição Didática para a comunidade francesa em meados dos anos 80 (Goulart, Farias, 2019).

O conceito de transposição didática, somente por isso, refere-se à passagem do saber acadêmico para o saber ensinado, portanto, a eventual distância obrigatória que os separa testemunha a necessidade de questionamento, enquanto que ao mesmo tempo é a primeira ferramenta. Para o didático, é uma ferramenta que lhe permite dar um passo atrás, questionar as evidências, erodir ideias simples, retirar-se da familiaridade enganosa de seu objeto de estudo, em suma, exercer sua vigilância epistemológica (Chevallard, 1982, p. 3).

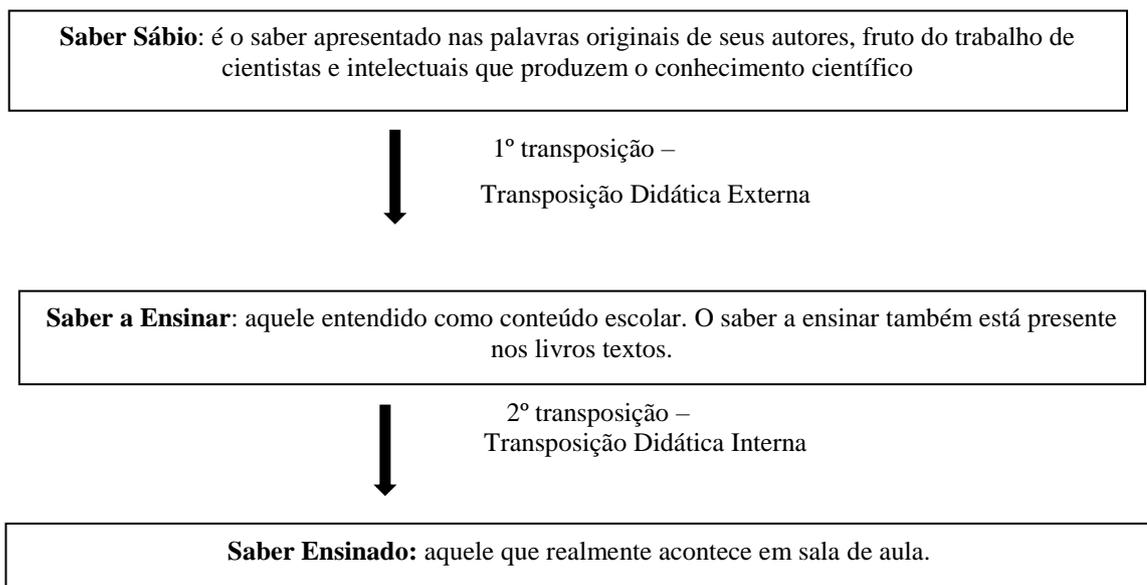
Portanto, para Chevallard, a transposição didática é um “instrumento” pelo qual analisamos o movimento do saber sábio (aquele que os cientistas descobrem) até o saber ensinado (aquele que de fato ocorre em sala de aula).

A Transposição Didática, pode ser entendida como a passagem do saber científico ao saber ensinado. Essa passagem deve ser vista como um processo de transformação do saber, ou seja, é o conjunto de ações que torna um saber sábio em saber ensinável.

Um conteúdo do saber que foi designado como saber a ensinar sofre a partir daí um conjunto de transformações adaptativas que vão torná-lo apto para ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O trabalho que transforma um objeto do saber a ensinar em objeto de ensino é denominado de transposição didática” (Chevallard, 2001: 20).

As transformações do conhecimento científico devem manter semelhanças com a ideia original presente no seu contexto de pesquisa, mas adquire significados próprios no ambiente escolar ao qual é trabalhado. Vale destacar que os saberes não são meras simplificações de objetos retirados dos contextos de pesquisa e transferidos para sala de aula. Segundo Chevallard, é preciso um conjunto de transformações adaptativas que vão tornar o saber sábio apto para ocupar um lugar dentre os objetos de ensino. Este processo de transformação do saber sábio em um saber ensinável é denominado Transposição Didática (Chevallard, 2001).

O termo Transposição Didática implica então na diferenciação entre saber acadêmico e saber escolar, pois esses conteúdos são aprofundados de formas distintas em cada uma das situações. A transposição didática deve acontecer de maneira que um conceito científico seja aprendido no ambiente escolar, no entanto isso não significa simplificá-lo. Ao analisarmos o conceito de transposição didática, Chevallard afirma que não é possível compreender o que ocorre dentro do sistema didático sem levar em conta a transposição didática interna e externa representadas no esquema a seguir:



As etapas do Saber Sábio e Saber a ensinar são fundamentais para que o Saber ensinado aconteça, os estudos de Chevallard (1991, 1994) dedicaram-se ao aprofundamento da Teoria da Transposição Didática, chamada de Teoria Antropológica do Didático, Yves Chevallard iniciou um movimento onde teoriza o processo de transformação de objetos de conhecimento em objetos de ensino e aprendizagem, além de propor a forma de organizar o objeto de estudo e colocá-lo em prática.

3.3.1 Teoria Antropológica do Didático

A teoria antropológica do didático (TAD) se deu pelo alargamento sobre os estudos a respeito da transposição didática que designa o conjunto de transformações que um saber de referência (saber sábio) sofre para ser ensinado. Yves Chevallard estudou matemática e foi além, ao explorar e analisar as transformações sofridas pelos conceitos matemáticos desde a sua produção, na qual o autor chamou de “saber sábio” (fruto do trabalho de cientistas), até “saber ensinado” (aprendido na sala de aula) ao analisar como se dava a introdução da geometria da sétima série no currículo escolar. (Astolfi e Develay, 1990).

De acordo com Santos (2020), no início dos anos 90 a apropriação do saber passou a ser discutida como uma questão que envolve “construções humanas”, pois para a autora a construção do indivíduo está diretamente ligado com as instituições por ele frequentadas. Ainda de acordo com Santos, a Teoria Antropológica do Didático se revela como uma “evolução” da transposição didática já que passa a inserir o homem nos debates a respeito da difusão do saber.

Chevallard (1991) inicialmente faz discussões do que ele nomeou de “Didática matemática”, aqui o autor questiona sobre o papel da didática empregada por docentes na sala de aula, de forma que os estudantes alcancem o saber matemático. Para Chevallard é necessário que um determinado elemento do saber sofra “transformações” para que esteja apto a ser ensinado. “[...] o saber tal como é ensinado é necessariamente distinto do saber inicialmente designado como o saber que deve ser ensinado, o saber a ensinar. (Chevallard, 1991).

De acordo com Chevallard (2013), o saber produzido por cientistas e matemáticos não são os mesmos ensinados nas escolas, esses saberes devem passar por transformações adaptativas de forma que possam ser trabalhados na sala de aula.

Um conteúdo de saber que tenha sido designado como saber a ensinar, sofre a partir de um conjunto de transformações adaptativas que vai torná-lo apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O “trabalho” que transforma um objeto de saber a ensinar em um objeto de ensino, é denominado de transposição didática (Chevallard, 2013).

Yves Chevallard (2002) parte de três definições significativas para o entendimento e estudo da TAD, cuja principal finalidade é a aproximação humana do ensinar e do aprender, tais definições justificam a introdução a questão antropológica para as discussões sobre o processo de ensino e aprendizagem.

A primeira definição de Chevallard refere-se ao objeto, para o autor, “objeto” se trata de “qualquer entidade material ou imaterial que há pelo menos para um indivíduo”. Assim, tudo pode ser considerado objeto: pessoas, números, conceitos, de forma que exista uma intenção. (Chevallard, 2002).

A segunda definição estabelecida pela Teoria Antropológica do Didático relaciona-se com a noção de indivíduo, para Chevallard, indivíduos podem ser pessoas ou uma instituição. Assim, para que exista objeto é necessário que o mesmo faça sentido para uma pessoa/ indivíduo ou instituição, e, além disso deve haver uma ligação entre o indivíduo e o objeto. Chevallard considera como indivíduo o sujeito invariante, enquanto a pessoa pode mudar dependendo das suas relações ou sujeições com o objeto. (Chevallard, 2002).

A terceira definição para a compreensão da TAD é a de “relação pessoal” entre o indivíduo e objeto. De acordo com Bosch e Chevallard (1999), um objeto só existirá se houver uma relação e interação entre a pessoa e o objeto.

O Conhecimento – e conhecer como uma forma de organização do conhecimento – entra em jogo com a noção de relacionamento: um objeto existe se existe uma relação com esse objeto, isto é, se um sujeito ou uma instituição o reconhece como um objeto. Dados um objeto (por exemplo, um objeto de conhecimento) e uma instituição, a noção de relação refere-se às práticas sociais que se realizam na instituição e que colocam em jogo o objeto em questão, ou seja, “o que se faz na instituição com esse objeto”. Saber que um objeto tem a ver com – e geralmente lida com – esse objeto (Bosch; Chevallard, 1999)

A TAD apresenta preocupações a respeito das atividades humanas por meio de questionamentos: “como fazer?”, “Por que fazer?” O que ensinar? Como ensinar? Como aprender? De acordo com Santos (2020), a Teoria Antropológica do Didático de Chevallard propõe formas de modelar (não de forma fixa ou rígida) e regular as atividades humanas dentro das instituições de ensino. (Santos, 2020).

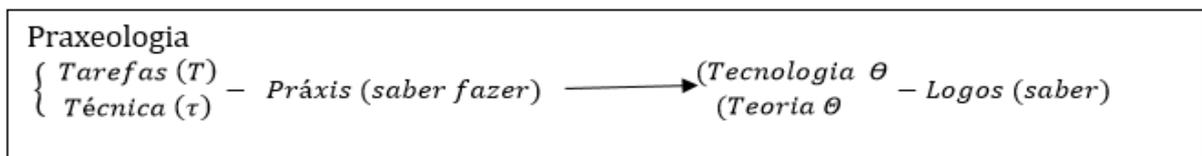
Com a finalidade de descrever e modelar o processo intencional de ensinar e aprender, Chevallard difunde a Organização Praxeológica (*práxis*-prática, *logos*-lógica), composta pelas organizações matemáticas e organizações didáticas.

Para Chevallard (1996), toda atividade humana consiste em quatro conceitos básicos, que são: tarefa (T), técnica (τ), tecnologia (θ) e teoria (Θ). Nesse sentido, pode-se dizer que

toda atividade humana coloca em ação uma organização envolvendo $[T, \tau, \theta, \Theta]$, a qual Chevallard (1999) nomeia praxeologia, ou organização praxeológica.

De acordo com Santos (2020), a praxeologia é formada por dois blocos: práxis e logos. O primeiro se encarrega das técnicas para resolver determinados tipos de tarefas; ao logos (também denominado como saber-fazer) cabe a justificativa dessas técnicas por meio do uso da tecnologia e da teoria.

Figura 11 - Praxeologia de Chevallard



Fonte: Chevallard (1999) adaptado pela autora.

O campo das práxis refere-se à possibilidade de ser analisada qualquer prática institucional, com diversos olhares e interpretações, por meio de um sistema de tarefas bem definidas. Para Chevallard (1998), uma tarefa deve ser expressa por uma verbo de comando, tais como: varrer, estudar, pegar, dividir etc. Esses comandos são gerais e determinam o que fazer a partir da tarefa proposta.

Especificamente, um gênero de tarefa existe apenas na forma de diferentes tipos de tarefas, cujo conteúdo é estritamente especificado. Calcular... é um gênero de tarefa; calcular o valor (exato) de uma expressão numérica contendo um radical é um tipo de tarefa, assim como calcular o valor de uma expressão contendo a letra x quando x recebe um valor especificado. Ao longo dos anos de faculdade, o tipo Calcular... é enriquecido com novos tipos de tarefas; será o mesmo no ensino médio, onde o aluno primeiro aprenderá a calcular com vetores e, depois, calcular uma integral ou um primitivo, etc. O mesmo vale, claro, para os gêneros Demonstrar... Construir... ou Expressar... em função de... (Chevallard, 1998).

Bosch e Chevallard (1999) definem que na realização de qualquer tarefa deve ser empregada uma técnica. Quando é proposta uma tarefa a ser feita, existirá uma maneira de fazê-la através da técnica.

Uma praxeologia relativa a T especifica (em princípio) um modo de realizar, de executar as tarefas t in T : de tal modo fazendo τ , dá-se aqui o nome da técnica (do grego tekhnê, know-how). Uma praxeologia relativa ao tipo de tarefas T , portanto, contém, em princípio, uma técnica τ relativa a T . (Chevallard, 1998)

Para o Chevallard, nem sempre na resolução de tarefas serão empregadas técnicas bem definidas, isto é, não é necessário seguir uma sequência ordenada de passos para solucionar problemas (tarefas), no entanto, o autor reconhece que há uma tendência forte em “algoritmizar” essas técnicas.

A medida que uma técnica não consegue mais resolver um tipo de tarefa apresentada, diz-se que há um processo de “evolução” dessa técnica por meio de novos estudos que permitirão o desenvolvimento de outras técnicas para a resolução das tarefas propostas. Assim, para poder dar um suporte racional e justificar a técnica (τ) aplicada para a realização de uma tarefa (T) é necessário a introdução da noção de tecnologia (θ), que é definida por Chevallard (1998) como sendo:

(...) a tecnologia trata de um discurso racional (*logos*) sobre a técnica (τ), discurso tendo por objetivo primeiro de justificar ‘racionalmente’ a técnica t , e nos assegurar que ela permite o bom cumprimento das tarefas do tipo T, isto quer dizer realizar o que é pretendido. (Chevallard, 1998, p 93).

O bloco teórico *logos* é composto pela tecnologia (θ), e trata-se de um discurso racional, cujo objetivo é justificar as técnicas empregadas para a resolução da tarefa. A tecnologia também tem a função de tornar compreensível a técnica. (Chevallard, 1998). A exemplo disso, podemos citar um exemplo clássico das aulas de Física onde o aluno memoriza uma determinada tecnologia (lei ou regra), sabe resolver certos tipos de tarefa utilizando essa tecnologia, no entanto não sabe explicar o por quê do resultado encontrado, logo a técnica utilizada na resolução da tarefa não faz sentido já que não consegue ser justificada através da tecnologia.

Para que seja justificada a tecnologia utilizada na resolução das tarefas, Chevallard defende que a Teoria (Θ) tem a função de comprovar e tornar possível uma tecnologia, a natureza da teoria, segundo o autor, flutua nos diversos campos do conhecimento e refere-se a um conjunto de regras ou leis, mais ou menos sistematizadas que podem abranger várias tecnologias, que por sua vez abrangem várias técnicas e tarefas.

A estrutura praxeológica pode ser aplicada a todas as atividades humanas, incluindo o ato de ensinar. Dessa forma, torna-se viável descrever o processo educacional em termos de tarefas, técnicas, tecnologias e teorias, ou seja, em uma configuração praxeológica que pode ser denominada Organização Didática (OD). Contudo, não se pode antecipar que haja uma única maneira de organizar o processo de aprendizado em uma organização praxeológica específica, como a matemática ou a física, por exemplo. (Pasqualetto, 2018).

Portanto, com a intenção de desenvolvermos uma organização praxeológica no ambiente escolar, deve-se ter uma organização para que o processo de transposição didática interna ocorra, primeiramente com a propostas de tarefas, onde deverão ser aplicadas técnicas para a sua resolução, justificadas pela tecnologia e amparadas por uma teoria. A organização didática deve seguir algumas etapas, definidas por Chevallard como Momentos de Estudo ou Momentos didáticos (MD).

Naturalmente, a boa gestão do estudo requer que cada um dos momentos didáticos seja realizado no período certo, ou, mais exatamente, em bons momentos: um momento do estudo é geralmente realizado em vários momentos, na forma de uma multiplicidade de episódios divididos no tempo. A este respeito, deve-se notar que a ordem dada abaixo sobre os vários momentos didáticos é de fato muito arbitrária, porque os momentos didáticos são antes de tudo uma realidade funcional do estudo, antes de serem uma realidade cronológica. (Chevallard, 1998)

Os Momentos de Estudo ou Momentos Didáticos são os caminhos a ser seguidos e contemplados até alcançar a compreensão de um determinado conteúdo. Independentemente da abordagem seguida. Segundo Pasqualetto (2018), é necessário que seja cumprido o que o autor classifica como “gesto de estudo” uma ação ou atividade dentro de um ou mais MD que visa consolidar os conceitos desenvolvidos, marcando o momento da institucionalização, ou então, a fase de questionamento para avaliar a compreensão alcançada, no momento da avaliação. (Pasqualetto, 2018).

A Teoria Antropológica do Didático (TAD) postula a presença de seis Momentos Didáticos, os quais não devem ser interpretados estritamente como uma progressão linear, podem ocorrer de forma concomitante e em várias fases do processo de aprendizado.

- Momento do Primeiro encontro: Trata-se como o nome sugere o primeiro contato com um grupo de indivíduos. Neste primeiro encontro com os estudantes é proposto um problema, onde os mesmos podem resolver de forma mimética, isto é, indivíduo tenta resolver a situação reproduzindo uma prática já conhecida; ou resolvê-lo se afastando de uma realidade pré existente, onde ele mesmo busca “fabricar” respostas para a solução do problema.
- Momento Exploratório: Ao explorar um problema, é possível que uma ou mais técnicas sejam empregadas para a sua resolução, a exemplo disso citamos Schiavani (2014), para acender uma fogueira várias técnicas podem ser utilizadas, fricção entre duas pedras, lentes de uma lupa que convergem a luz para um mesmo ponto, utilização de fósforos etc, dependendo da situação e dos recursos uma das técnicas será a mais adequada.
- Momento da Constituição do bloco tecnológico-teórico: no contexto escolar, a técnica mais adequada a ser escolhida na resolução de problemas será o material para análise no momento Exploratório, enquanto o bloco tecnológico teórico irá explicar e justificar a melhor técnica a ser empregada na resolução de problemas.
- Momento do Trabalho da Técnica: este momento representa o período de validação

da técnica, bem como se a técnica empregada é satisfatória para a resolução do problema.

- Momento da Institucionalização: Aqui temos a oficialização da organização praxeológica, nesta etapa é necessário se atentar a todos os elementos que participaram da organização didática, manter aqueles que se mostraram eficazes durante o processo, visitar problemas que não foram tratados e excluir aqueles que não serão significativos para que finalmente a organização didática seja formalizada.
- Momento Avaliação: Este momento tem relação direta com o anterior, essa etapa pode ser vivenciada individualmente ou de forma coletiva, aqui tem-se a oportunidade de revisar e repensar todo o processo educativo.

A elaboração da SD sobre aceleradores de partículas a ser desenvolvida nesta pesquisa será norteada pela Teoria Antropológica do Didático, respeitando os Momentos Didáticos e a organização praxeológica. Diante das adaptações e reformulações que um saber de referência (saber sábio) passa para ser “transformado” de forma que seja adequado para se tornar o “saber ensinado”, Chevallard (1998) destaca a necessidade de que os envolvidos no processo de transposição didática exerçam uma vigilância epistemológica nas diferentes fases desse processo. A vigilância epistemológica refere-se a preocupação de evitar a simplificação do conhecimento, Chevallard (1998) relata que, por mais que o saber sábio passe por transformações e adaptações para ser ensinado, o processo de vigilância epistemológica assegura que o conhecimento não sofrerá perdas e degradação durante o processo.

4. Capítulo III – METODOLOGIA

O presente estudo é de uma pesquisa qualitativa. Segundo Souza (2019) a pesquisa de cunho qualitativo é uma metodologia de investigação voltada para os aspectos de caráter subjetivo de uma determinada questão ou objeto a ser analisado, nessa abordagem, o pesquisador identifica e analisa dados que não podem ser mensurados.

Este trabalho tem como princípio didático a Teoria Antropológica do Didático (TAD), Para Chevallard o saber produzido por cientistas e matemáticos não são os mesmos ensinados nas escolas, portanto se faz necessário reflexões e adaptações para que esses conteúdos possam ser trabalhados na sala de aula.

Nessa pesquisa, focamos na elaboração, implementação e análise de uma SD envolvendo conceitos de Física Moderna voltados principalmente para o ensino sobre interação radiação-matéria, nosso instrumento de análise foi realizada sob a ótica da organização praxeológica, tomando como referencial teórico e metodológico a Teoria Antropológica do Didático, o que nos permitiu identificar e analisar os conceitos, procedimentos e algoritmos do ensino investigado.

4.1 Cenário da pesquisa e sujeitos

A SD foi aplicada junto a trinta alunos de primeiro e segundo ano de um colégio da rede privada da cidade de Uberlândia- MG durante as aulas do Itinerário Formativo previsto no Novo Ensino Médio no primeiro semestre de 2023. A respeito dos trâmites legais, foi distribuído um termo de consentimento (Anexo 1), preenchido e assinado pelos pais, nos assegurando procedimentos éticos de pesquisa.

Considerando a estrutura da escola, a mesma conta com alguns recursos que contribuíram para a implementação como televisores, salas de informática e laboratório.

4.2 Pesquisa baseada em design

No referencial teórico deste trabalho atentamos sobre a falta de instrumentos didáticos que abordem assuntos sobre FMC, em especial a respeito da interação radiação-matéria. A SD desenvolvida nesta pesquisa foi testada, analisada, de forma que foram feitos ajustes visando sua melhoria. As modificações ocorridas na SD encontram alicerce na abordagem metodológica conhecida como pesquisa baseada em design (DBR)

O uso da DBR orientou para que a SD ocorresse em etapas:

1. Design da SD, contemplando os temas abordados, estrutura da sequência e objetivos a serem alcançados.
2. Produto, validação da SD e primeira aplicação;
3. Resultado, análise dos dados esperados e obtidos após a aplicação da sequência.
4. Re-design da SD, aprimorando-a e melhorando-a a partir da análise feita após os resultados.

Vale ressaltar nossa SD foi aplicada três vezes, uma no estudo piloto, primeira aplicação no primeiro semestre de 2023 e segunda aplicação no segundo semestre de 2023. A DBR nos permitiu identificar e analisar os conceitos, procedimentos e algoritmos do ensino investigado, bem como discutiremos no próximo tópico de resultados e discussões.

5. Capítulo IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo discutimos o desenvolvimento das aulas conciliando com os MD, que de acordo com Chevallard são os caminhos a ser seguidos e cumpridos até atingir a compreensão do conteúdo, e como previsto, algumas dessas etapas sofrem ajustes e modificações presentes no redesenho do produto educacional.

5.1 O Produto

O desenvolvimento da Sequência Didática deu origem ao produto intitulado “SIRIUS: A LUZ DA CIÊNCIA BRASILEIRA” que está disponível no repositório eduCapes, na coleção livros digitais, link: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/917482>

5.2 Estudo piloto

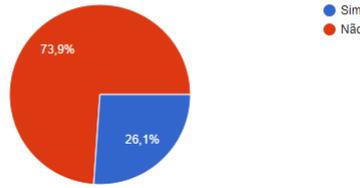
Neste tópico apresentamos apenas resultados preliminares de uma primeira sondagem apresentada durante o exame de qualificação feito com os estudantes do 2^o do ensino médio, por meio de uma SD (Apêndice 1), cuja intenção foi investigar o conhecimento desses estudantes sobre aceleradores de partículas e suas concepções a respeito do átomo.

Durante a aplicação desta sequência apresentamos aos estudantes o início dos filmes: “Anjos e Demônios” e “O Homem do futuro” respectivamente, o primeiro filme tem início no Grande Colisor de Hádrons; LHC, enquanto no segundo filme o protagonista trabalha no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, quando questionados, os alunos não sabiam do que se tratavam os laboratórios representados nos filmes, nem quais eram as suas aplicabilidades.

A seguir os estudantes responderam a um questionário pelo *google forms*, onde algumas perguntas como: “é possível ver um átomo?”, “Você já ouviu falar sobre aceleradores de partículas?”, “Você tem alguma ideia da importância de um acelerador de partículas e como isso pode contribuir para a ciência?”. A seguir repercutiremos algumas das respostas dos estudantes:

Figura 12 - Resultados do produto piloto

1. É possível ver um átomo?
23 respostas

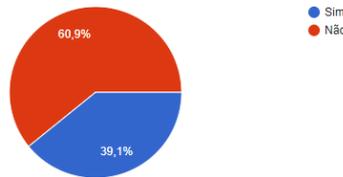


Fonte: A autora

Das 23 respostas apresentadas, a massiva parte dos estudantes respondeu que era impossível enxergarmos um átomo, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Resultados do produto piloto

5. Você tem alguma ideia da importância de um acelerador de partículas e como isso pode contribuir para a ciência?
23 respostas



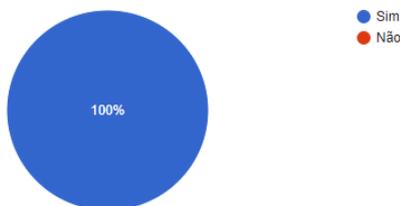
Fonte: autora

Das 23 respostas apresentadas, a massiva parte dos estudantes respondeu que era impossível enxergarmos um átomo, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 14 – Resultados do produto piloto

2. Você já ouviu falar em algum momento na sua vida, reportagem de TV, jornal, na escola e/ou em conversa com alguém sobre aceleradores e/ou detectores de partículas?

23 respostas

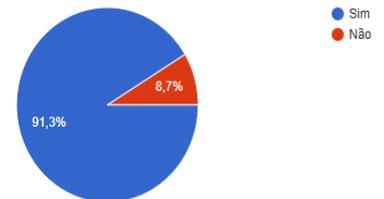


Fonte: autora

Figura 15 - Resultados do produto piloto

4. No Brasil há aceleradores de Partículas?

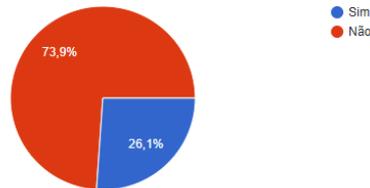
23 respostas



Fonte: autora

Figura 16 – Resultados do produto piloto

1. É possível ver um átomo?
23 respostas



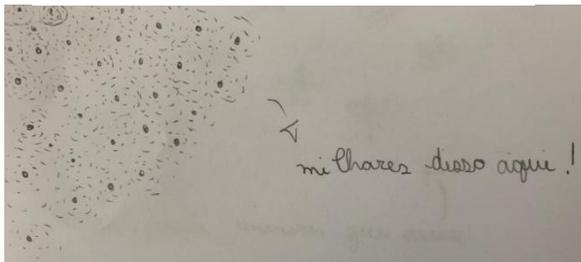
Fonte: A autora

Sobre o conhecimento dos aceleradores de partículas, notamos que surpreendentemente todos os estudantes já haviam ouvido falar a respeito (Figura14), no entanto ainda que todos os estudantes saibam da existência de aceleradores de partículas, nenhum aluno reconheceu os laboratórios quando foram apresentados os trechos dos filmes.

Apenas 39% demonstraram saber a respeito de algum tipo de contribuição desses aparelhos para com a ciência (Figura 14), esse dado despertou muito interesse por parte do pesquisador, haja vista que nem o LNLS, nem as pesquisas desenvolvidas no laboratório são amplamente divulgadas.

Na terceira etapa da SD sugerimos que os estudantes desenhassem a sua percepção de átomo e de que forma os átomos estariam dispostos em um folha sulfite, a seguir apresentamos algumas percepções dos estudantes do ensino médio.

Figura 18 - Percepção de átomo dos alunos



Fonte: adaptado pelo autora

Figura 17 - Percepção de átomos dos alunos



Fonte: adaptado pelo autora

Nas Figuras 18 e 19 é possível observar que a ideia de átomo do estudante é de algo muito pequeno e que são milhares os átomos que constituem a matéria. Na Figura 15 vemos um exemplo de um estudante que busca “fabricar” uma respostas para representar o átomo.

Enquanto o segundo estudante (Figura 16), além de ter a consciência que os átomos de fato, tratam-se de partículas bem pequenas, ele faz uso da representação de átomo de Rutherford, aqui temos um caso de comportamento mimético, o estudante apenas reproduz aquilo que ele aprendeu e julga ser o correto a respeito da representação do átomo.

5.3 Resultados e discussões - redesenho da SD

Como citado neste trabalho, desenvolvemos a SD, buscando trilhar conteúdos que acreditamos ser auxiliares para o entendimento do funcionamento do laboratório Sirius, as pesquisas desenvolvidas lá e a as diferentes formas de interação entre radiação e matéria. Discutiremos os pontos mais relevantes de cada aula, bem como o que foi feito de redesenho na SD a medida que identificamos pontos a serem melhorados, reescritos e reorganizados.

A SD contou com oito aulas, desenhadas articulando os conteúdos previstos no currículo escolar e organizadas de forma estratégica, a fim de traçarmos uma trilha coerente para a compreensão de alguns fenômenos físicos que acontecem no Sirius (APÊNDICE B). Na Tabela 3, apresentaremos os principais conteúdos abordados durante a aplicação da SD, cada aula teve duração de 50 minutos.

Tabela 3 – Redesenho da Sequência Didática

Aula	Tema	Estratégia Didática	Momento (s) Didático (s)
1	Ímãs	Observar a interação entre ímãs e metais e representação das linhas de campo magnético utilizando limalha de ferro.	MD do primeiro encontro MD exploratório
2	Campo Magnético	Experimento de Oersted representado através de simulação <i>Phet</i> ⁶ . Vetor Campo magnético.	MD exploratório MD do trabalho da técnica
3	Força Magnética	Utilização do simulador <i>Water Fendt</i> , ⁷ a fim de ilustrar as relações entre o campo magnético e a Força de Lorentz. Experimentação Lei de Lenz.	MD da Constituição do bloco tecnológico-teórico
4	Exercícios – Força e Energia Magnética	Resolução de exercícios de ENEM e vestibulares.	MD do trabalho da técnica.
5	Uma máquina para enxergar: o Síncrotron	Questionário investigativo sobre aceleradores de partículas. Processo histórico do LNLs.	MD exploratório MD da avaliação
6	Espectros eletromagnéticos: Raio-X, como o enxergamos?	Raio-X: Como enxergamos? Estudo sobre radiação ionizantes e não-ionizantes.	MD exploratório MD da institucionalização
7	SIRIUS	Visita virtual ao laboratório Sirius. Divulgação da escola Ilum	MD da institucionalização
8	Questionário final.	Avaliação dos conteúdos estudados.	MD da institucionalização e MD da avaliação.

Fonte: A autora

⁶ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/faradays-law

⁷ Disponível em: https://www.walter-fendt.de/html5/phpt/lorentzforce_pt.htm

A seguir discutiremos os resultados após sua aplicação e o redesenho realizado na SD.

As quatro primeiras aulas dedicam-se ao entendimento do campo magnético, força magnética e energia magnética. Utilizamos ímãs, bússolas e simuladores como *Phet* e *Water fendt* para desenvolver o entendimento desses conceitos. Nas aulas 1, 2 e 3 iniciamos sempre com uma pergunta investigativa no item “Para começo de conversa”, a fim de fomentar a curiosidade e explorar os conhecimentos prévios dos estudantes.

Na primeira aula, tivemos o Momento do primeiro encontro, no contato inicial com estudantes dialogamos a respeito dos assuntos que seriam abordados nas aulas seguintes. Enfatizamos que era de suma importância a assiduidade dos alunos ao longo das próximas aulas, pois ainda que as aulas não sejam dependentes entre si, buscamos estabelecer uma coerência para o entendimento do funcionamento e aplicações de um acelerador de partículas.

Ainda na primeira aula adotamos o Momento exploratório, utilizando ímãs, os alunos observaram as diferentes interações com os metais presentes na sala de aula. Questionamentos como: “*O que existe ao redor do ímã?*” “*É possível ‘ver’ o campo magnético?*” “*O ímã que atrai o ferro, ou ferro que atrai o ímã?*”, “*Um ímã possui polos norte e Sul, se o quebramos, ele fica apenas com um polo?*” – foram feitas pela professora, a fim de explorar as possíveis respostas dos estudantes.

Ao responderem sobre o que há ao redor do ímã, a totalidade dos alunos responderam que se trata de um campo magnético: “*é algo invisível, mas que eu sinto ‘puxar’ quando passo o ímã pela parte de metal da cadeira.*” – Respondeu um estudante. “*Não posso ver o campo, mas posso sentir o campo*” – Respondeu outro.

Ao responderem sobre o que atrai o que, ímã atrai ferro, ou ferro que atrai ímã, dos trinta alunos participantes da aula, 22 disseram que o ímã que atrai o ferro, 3 que o ferro atrai o ímã, 3 não se manifestaram e apenas 2 disseram que ambos se atraem igualmente, devido a terceira lei de Newton, que por se tratarem de dois corpos diferentes (ímã e ferro) há uma ação e reação mútua entre eles. Ao que diz respeito a quebra de um ímã, todos os estudantes observaram que novos ímãs surgirão mesmo que sejam quebrados em partes bem pequenas.

Ao falarmos da relação entre o ímã e a bússola, emergiram discussões sobre a Terra ser um ímã gigante. Ao compreender que a bússola aponta para o Norte Geográfico, em função da atração pelo polo Sul magnético. Alguns estudantes se mostraram surpresos: “*Ahhh, então é por isso que o sul magnético é o norte geográfico, o norte da bússola atrai o Sul do ímã gigante que é a Terra, eu sabia disso, mas não sabia o porquê*”.

Iniciamos a segunda aula continuando os estudos sobre ímãs, evidenciamos o Momento Exploratório, ao questionar se seria possível visualizar o campo magnético, muitos

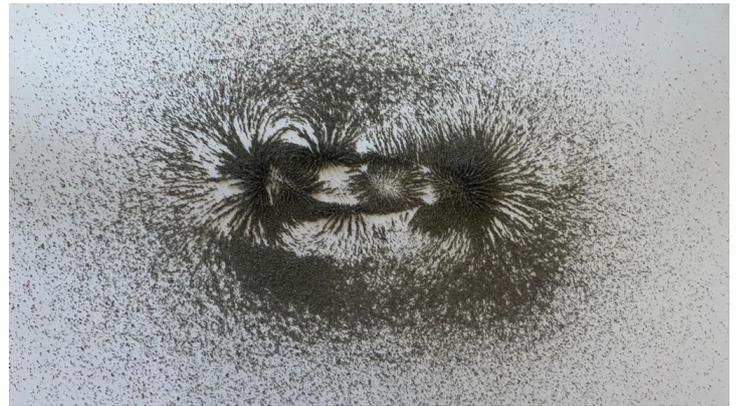
responderam: “*Não dá pra ver não, só sentir por causa da atração com outro ímã, isso já prova que tem campo*”, um outro estudante disse: “*Eu sei que o campo magnético é curvado*”. A partir dessas respostas, realizamos a experiência com a limalha de ferro para representar as linhas de campo de um ímã.

Figura 20 - Experimentação com a limalha de ferro



Fonte: A autora

Figura 19 – Representação das linhas de campo pela limalha de ferro.



Fonte: A autora

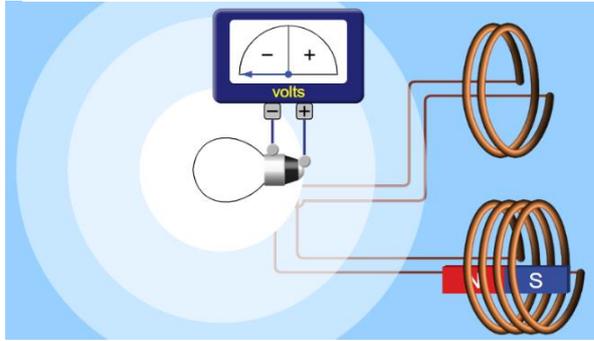
Na Figura 19 aplicamos o Momento do Trabalho da Técnica, a técnica empregada (experimentação), serviu para validarmos de maneira satisfatória o porquê das linhas de campo serem representadas de forma curvada, como havia dito um estudante. Na Figura 20 observamos o desenho das linhas de campo na folha sulfite.

Ao considerarmos o momento da institucionalização, que busca formalizar a organização didática, temos o primeiro redesenho da nossa SD, observamos que a experiência com a limalha de ferro feita no início da segunda aula teria maior relevância se fosse realizada ao final da primeira aula, pois isso conduziria a uma conclusão mais eficaz a respeito do campo magnético.

Continuando a segunda aula, seguimos com o momento exploratório, mais da metade dos trinta alunos conseguiam associar as auroras boreais ao campo magnético: “- *Eu sei que elas só acontecem nos polos, pois é onde o campo é mais intenso.*”, “*As partículas carregadas que vem do espaço (Sol) são atraídas pelo ímã da Terra.*” - Foram algumas das respostas dos estudantes. O restante dos estudantes não se manifestaram.

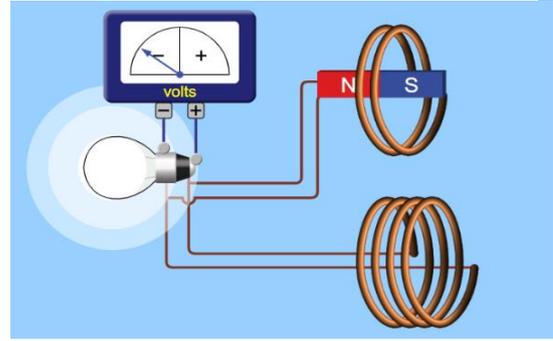
Sobre a relação entre os ímãs e a corrente elétrica, apresentamos inicialmente a experiência de Oersted, depois por meio do Simulador Phet (Figuras 21 e 22), sem dar nenhuma explicação anterior, perguntamos o que os estudantes percebiam quando um ímã passava entre as bobinas.

Figura 22 - Representação da indução magnética



Fonte: Tela capturada do Simulador Phet

Figura 21 - Representação da indução magnética



Fonte: Tela capturada do Simulador Phet

De maneira atenta os estudantes responderam: “Quando tem mais fio enrolado o brilho da lâmpada é maior!”- “Então quando mais espiras, maior a corrente?!”, “A corrente é a mesma, a tensão que varia.” (última resposta de um estudante do segundo ano que já tinha conhecimento prévio sobre corrente e tensão elétrica). Aqui observamos momento do trabalho da técnica, pois os alunos mobilizam técnicas e teorias para a resolução de problemas.

Ao final da aula, alguns exercícios foram propostos (Apêndice C)

Figura 23 - Exercício 1 - Aula 2

1. UFB- Há três barras, AB, CD e EF, aparentemente idênticas. Experimentalmente, constata-se que:

I – A extremidade A atrai a extremidade D;

II – A atrai a extremidade C;

III – D repele a extremidade E.



Então:

- AB, CD e EF são ímãs.
- AB é ímã, CD e EF são de ferro.
- AB é de ferro, CD e EF são ímãs.
- AB e CD são de ferro, EF é ímã.
- CD é ímã, AB e EF são de ferro.

Fonte: Adaptado pela autora

Figura 24 - Exercício 2 - Aula 2

2. ITA - Um pedaço de ferro é posto nas proximidades de um ímã, conforme o esquema abaixo.



Qual é a única afirmação correta relativa à situação em apreço?

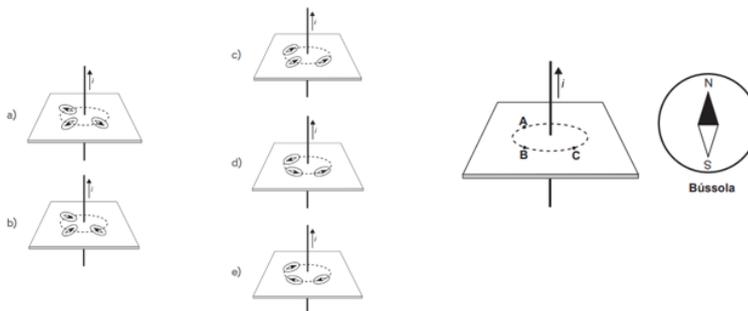
- a) É o ímã que atrai o ferro.
- b) É o ferro que atrai o ímã.
- c) A atração do ferro pelo ímã é mais intensa do que a atração do ímã pelo ferro.
- d) A atração do ímã pelo ferro é mais intensa do que a atração do ferro pelo ímã.
- e) A atração do ferro pelo ímã é igual à atração do ímã pelo ferro.

Fonte: Adaptado pela autora

Figura 25 - Exercício 4 - Aula 2

4. ENEM 2022- O físico Hans C. Oersted observou que um fio transportando corrente elétrica produz um campo magnético. A presença do campo magnético foi verificada ao aproximar uma bússola de um fio conduzindo corrente elétrica. A figura ilustra um fio percorrido por uma corrente elétrica i , constante e com sentido para cima. Os pontos A, B e C estão num plano transversal e equidistantes do fio. Em cada ponto foi colocada uma bússola.

Considerando apenas o campo magnético por causa da corrente i , as respectivas configurações das bússolas nos pontos A, B e C serão



Fonte: Adaptado pela autora

No primeiro exercício (Figura 23), consiste no momento do trabalho da técnica da SD. Esta situação didática foi concebida para que os alunos pudessem se apropriar de técnicas de resolução de exercícios sobre polos magnéticos de um ímã e materiais que são atraídos por ímãs, conforme exploramos durante a aula 1 da SD. Ao questionar sobre as técnicas aplicadas para a resolução do exercício 1, alguns estudantes se manifestaram: “*Primeiro eu vou isolar o que não é ímã*”, “*Se o A atrai os dois polos da figura CD, é porque CD não é ímã, mas AB tem que ser.*”, “*Vou começar pelos (objetos) que se repelem, pois com certeza serão ímãs.* Notamos que cada estudante mobilizou diferentes técnicas de forma a eliminar as alternativas erradas.

A situação proposta no exercício 2 (Figura 24), foi abordada durante a primeira aula, onde cerca de 22 estudantes relataram que o ímã que atraia o Ferro, na reaplicação da situação

de maneira formalizada através do questionário, apenas um estudante continuou afirmando que o ímã que atrai o Ferro.

No exercício 4 (Figura 25) os alunos precisaram mobilizar as definições estabelecidas na Aula 02, relacioná-lo com o experimento de Oersted, bem como a direção tangente do campo magnético nas linhas de campo. Quanto a técnica utilizada, na resolução desse exercício foi possível observar vários estudantes fazendo gestos com as mãos ao aplicar a técnica da “Regra da mão direita”.

Inicialmente teórica, na aula três demos continuidade aos estudos de ímãs e corrente elétrica, ao final da aula apresentamos um experimento aborda e possibilita observar a Lei de Lenz, perguntou-se: *“O que ocorre quando passamos o ímã através do tubo de cobre? - Embora alguns estudantes ainda apresentassem inseguranças, a maioria dos estudantes pareciam concordar com os alunos que apresentaram algumas respostas como: “Tem campo magnético, e o cobre conduz bem eletricidade, isso deve retardar o ímã”, - “Isso mesmo! O ímã deve criar corrente no cobre!”, “Corrente tem campo e o ímã também, devem interagir e o ímã passa devagar.”, “A esfera de alumínio passa rápido no tubo, porque alumínio não tem campo. (magnético)”.*

Aqui temos o momento da Constituição do bloco tecnológico-teórico, embora parecesse notável que a maioria dos estudantes conseguiram associar as aulas anteriores com a experimentação realizada, as respostas foram feitas de forma oral, a maioria dos estudantes apenas concordaram com os colegas que buscaram responder as perguntas.

No redesenho da SD (APÊNDICE B), adicionamos na Aula 3 um espaço para que os alunos pudessem reponder com as próprias palavras qual o motivo do ímã passar de forma mais lenta no interior do tubo de cobre se compararmos com a esfera de alumínio. O registro individual dos estudantes nos daria uma resposta mais clara e um resultado mais real se de fato os estudantes associaram compreenderam a ideia de indução magnética.

A aula 4 concentrou-se principalmente na resolução de exercícios (ver APÊNDICE D). Neste contexto, destacamos o Momento do Trabalho da Técnica, proporcionando a oportunidade de revisitar conceitos previamente abordados nas aulas anteriores e aplicar as representações estudadas. A análise praxeológica dessas atividades pode ser observada no Quadro 1.

Quadro 1: Análise praxeológica dos exercícios - Aula 4

Exercício	Bloco prático-técnico (práxis)		Bloco teórico-tecnológico (logos)	
	Tarefa (T)	Técnica (τ)	Tecnologia (θ)	Teoria (Θ)
1	Comparar a relação entre campo elétrico e força elétrica e força magnética e velocidade da carga	Identificar que a força magnética é sempre perpendicular à velocidade da carga.	Comprovar a atividade através da regra do tapa.	Carga elétrica, campo magnético e força magnética
2	Identificar a relação entre velocidade e campo magnético quando v não é paralelo a B .	Mobilizar as definições de velocidade v e campo magnético B , então o ângulo formado entre eles é de 90°	Utilizar a expressão para calcular o trabalho realizado pelo força magnética	Força magnética
3	Calcular a carga elétrica de uma partícula que se move perpendicularmente em um campo magnético	Mobilizar as definições de velocidade v e campo magnético B , então o ângulo formado entre eles é de 90°	Utilizar expressão da Força magnética	força magnética
4	Calcular o campo magnético em um condutor retilíneo	Identificar a relação entre o Campo magnético e força magnética.	Utilizar expressão da Força magnética	Campo magnético e Força Magnética
5	Identificar a relação entre velocidade e campo magnético e o porquê de Maglevs atingirem altas velocidades	Identificar que a força magnética é sempre perpendicular à velocidade da carga.	Notar que a falta de contato entre dois corpos (trilho e trem) não gera atrito.	Campo magnético e Força magnética
6	Analisar que força magnética, o campo magnético e a velocidade do feixe de elétrons devem ser perpendiculares entre si	Identificar as direções devidas dos vetores força magnética, campo magnético e velocidade	Aplicar a “regra da mão esquerda”.	Força magnética
7	Identificar onde a partícula será negativa no eixo y	Identificar que a força magnética é sempre perpendicular à velocidade da carga.	Aplicar a “regra da mão esquerda”.	Carga elétrica e Campo magnético
8	Identificar para onde aponta o campo magnético no interior de um acelerador de partículas	Observar que o vetor campo magnético estaria entrando na folha, mas por se tratar do elétron está saindo.	Aplicar a “regra da mão esquerda”.	Campo magnético
9	Definir em qual região o feixe de elétrons atinge o anteparo	Observar que toda carga elétrica com uma velocidade diferente de zero em um campo magnético estará sujeita a uma força magnética.	Aplicar a “regra do tapa”	Campo magnético

Fonte: A autora.

Figura 26 - Exercício 5 - Aula 4

5. (UNIP) Uma aplicação dos eletroímãs supercondutores é no trem de transporte levantado magneticamente, ou *maglev*. Esse trem usa o campo magnético gerado pelos eletroímãs para produzir forças de repulsão entre o trem e o trilho. Assim, ele flutua acima dos trilhos e pode atingir velocidades superiores a 300 km/h. HEWITT, P. *Física conceitual*. São Paulo: Artmed, 2002 (adaptado).

O *maglev* consegue atingir altas velocidades porque

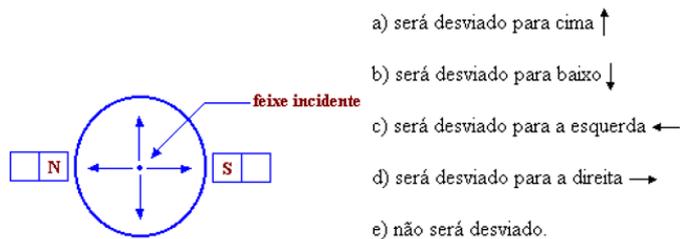
- O *maglev* consegue atingir altas velocidades porque não ocorre resistência elétrica nos trilhos.
- Não há atrito entre o trem e os trilhos.
- o trem é construído de material muito leve.
- O campo magnético gerado é capaz de impulsionar o trem.

Fonte: Adaptado pela autora.

Na Figura 26, observamos o exercício 5 proposto durante a aula 4, dos vinte e sete alunos que entregaram a atividade, oito assinalaram de forma errônea a alternativa “d”, e os outros dezenove estudantes assinalaram a alternativa “b”. Segundo a análise praxeológica observada no Quadro 1, há uma falta de interpretação por parte dos estudantes, pois ainda que os alunos associem Maglevs com a utilização da levitação magnética para flutuar sobre suas vias, é preciso notar que é a falta de contato entre dois corpos (trilho e trem) não gera atrito.

Figura 27 - Exercício 6 - Aula 4

6. (UFU) A figura mostra a tela de um osciloscópio onde um feixe de elétrons, que provém perpendicularmente da página para seus olhos, incide no centro da tela. Aproximando-se lateralmente da tela dois ímãs iguais com seus respectivos polos mostrados, verificar-se-á que o feixe:



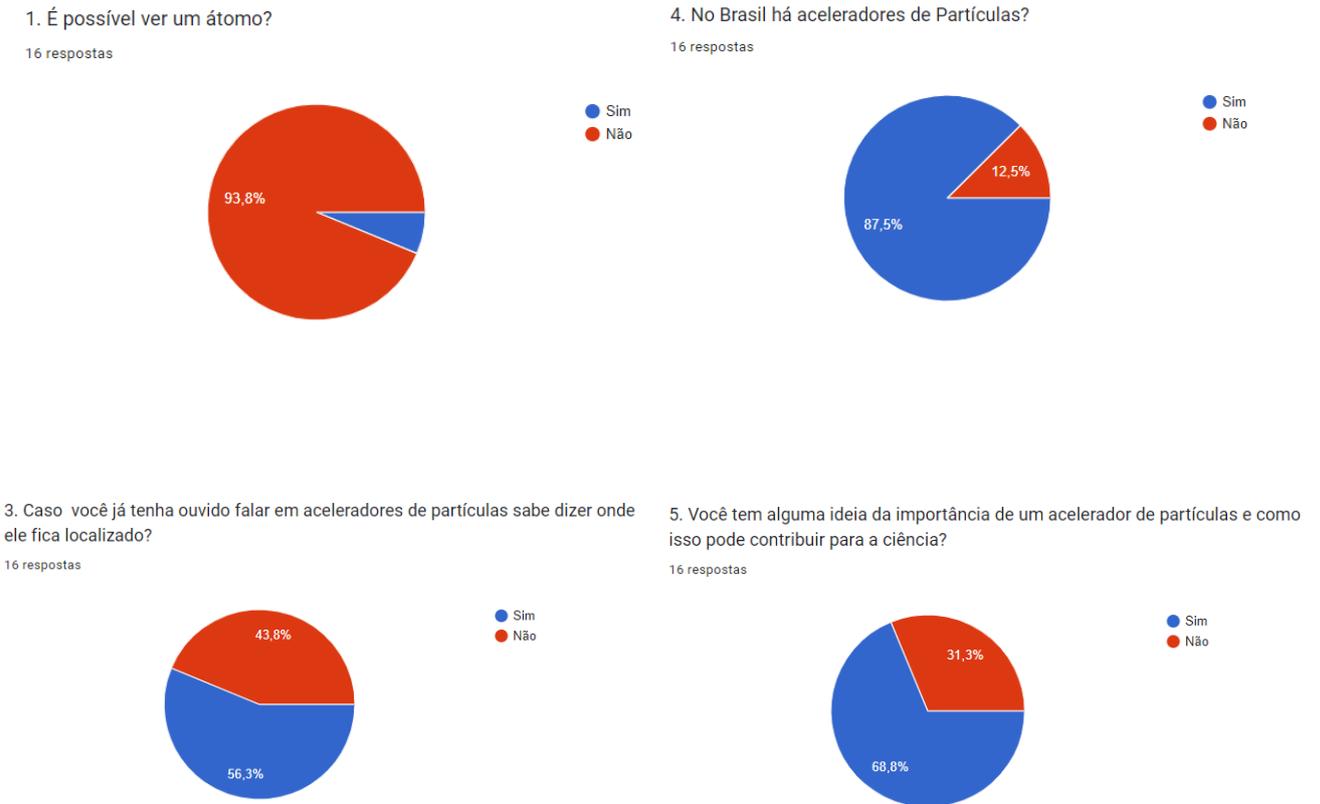
- será desviado para cima ↑
- será desviado para baixo ↓
- será desviado para a esquerda ←
- será desviado para a direita →
- não será desviado.

Fonte: Adaptado pela autora.

Nesta atividade (Figura 27) espera-se que os estudantes apliquem a regra da mão esquerda, a força magnética, o campo magnético e a velocidade do feixe de elétrons devem ser perpendiculares entre si, logo, percebe-se que a força magnética deve ser vertical e para baixo. No entanto, cerca de 22 estudantes assinalaram que o feixe de elétrons seria desviado para cima, e desconsideraram que pela regra da mão esquerda a força magnética estará para cima, mas como são elétrons estará para baixo.

A aula 5 iniciou-se com o momento exploratório, aplicamos um questionário (Figura 28) aos estudantes para averiguarmos os conhecimentos prévios sobre aceleradores de partículas. Nesta aula, devido a ocorrência dos jogos escolares poliesportivos que ocorrem no contraturno, apenas dezesseis alunos participaram das atividades.

Figura 28 - Algumas respostas dos estudantes ao questionário investigativo da Aula 5



Fonte: A autora.

Durante a análise dos dados do questionário (Figura 28), notou-se que apenas um dos estudantes (Questão 1) acredita que é possível ver um átomo, 87,5% dos estudantes (Questão 4) sabiam da existência do acelerador de partículas, no entanto, parte desses estudantes afirmaram durante uma conversa com a professora que tomaram conhecimento sobre o acelerador de partículas durante a primeira aula da SD, por isso esse não se trata de um dado confiável. Os dados obtidos na Questão 3 corroboram para isso, já que cerca de 43% não sabiam onde o acelerador de partículas estava localizado, e ainda que quase 70 % dos alunos (Questão

5) tenham respondido saber sobre a importância e as pesquisas realizadas em um acelerador de partículas, nesse momento não nos estendemos sobre esses assuntos aos estudantes, pois retomamos esse questionamento na Aula 8.

Em seguida a aplicação do questionário utilizamos o recurso visual, ao introduzir trechos de dois filmes: “Anjos e Demônios”, ambientado nos primeiros dez minutos no LHC (*Large Hadron Collider*) e o filme “O Homem do Futuro”, que utiliza em parte o cenário do LNSL para o desenrolar da história. Após assistirmos aos fragmentos dos filmes algumas questões críticas e sensatas emergiram, tais como: “*Qual a diferença do colisor de partículas e um acelerador de partículas?*”. Sobre o filme “Anjos e Demônios” um aluno questionou sobre o trecho onde a partícula de Deus é roubada: “*Professora, será que conseguimos colocar uma partícula, na maleta? Vimos na aula passada que não conseguimos ver o átomo!*”. Nesta última afirmação, observamos o momento da avaliação, onde o estudante revisita conceitos explorados em aulas passadas e passa a ter um pensamento crítico sobre a situação que foi apresentada no filme.

A partir desses questionamentos, nos debruçamos a desenvolver a aula focando principalmente no processo histórico da implantação do LNSL no Brasil, os acontecimentos que levaram a considerar o desenvolvimento de um laboratório desse porte, o período militar brasileiro, a escolha da cidade que abrigaria a Luz Síncrotron e as pesquisas desenvolvidas no UVX. Alguns estudantes se mostraram surpresos do termo radiação ser sinônimo de luz, ao discutirmos o nome do laboratório. “*Luz é radiação, nunca tinha pensado nisso!*”, disse um estudante. Ao final da aula 5 foi notável o diálogo entre dois alunos:

Aluno A1: “*...eu ficaria com medo se fizessem um laboratório de radiação aqui!*”, em réplica a esse estudante um outro aluno rebateu:

Aluno A2: “*Então você não vai querer fazer raio-X!*”.

Aluno1: “*Por que? Raio-X é muito perigoso?*”

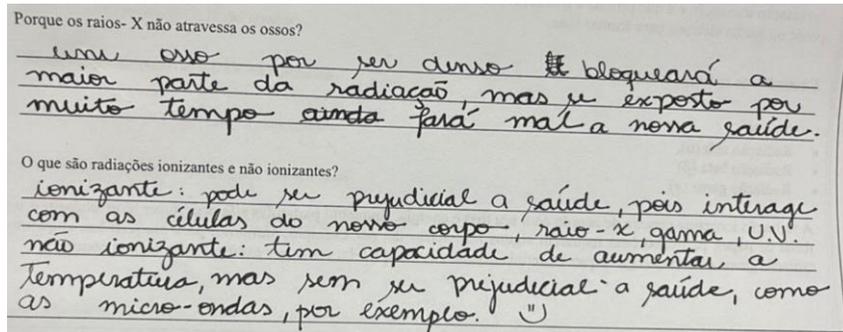
Essas observações, serviram de base para o redesenho da aula 6.

Na aula 6, nos apropriando do momento da institucionalização, que visa formalizar a organização didática, ao invés de iniciarmos a aula discutindo a respeito do espectro eletromagnético, retomamos os comentários feitos pelos estudantes na aula 5 sobre Raio-X.

Partindo do momento exploratório, apresentamos aos estudantes o esquete “Raio-X”, do canal de humor Porta dos Fundos e depois de assistirem ao vídeo a professora questionou: “*Devemos temer o Raio-X?*”. “*Só ‘um pouco’ de raio-X não faz mal a saúde!*”, disse um aluno, “*Faz mais bem do que mal, como saber onde o osso quebrou?*”. Ao abordar as diferenças entre radiação ionizante e não ionizante. Perguntamos aos estudantes: “*Porque utilizamos filtro*

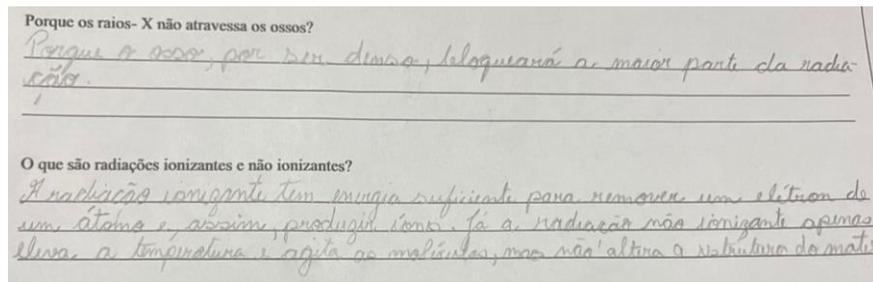
solar?”, um estudante comentou: “Pra proteger do calor do Sol”, “Porque o Sol queima!”- Essas questões foram abordadas nas questões 5 e 6 da aula 6 (APÊNDICE E) e tiveram como objetivo nos dar um panorama do entendimento dos estudantes sobre radiação ionizante e não ionizante, conforme observamos nas Figuras 29 e 30.

Figura 29 – Resposta das questões 5 e 6 do estudante A1 - Aula



Fonte: Adaptado pela autora.

Figura 30 – Resposta das questões 5 e 6 do estudante A2 - Aula 6



Fonte: Adaptado pela autora.

Observamos que ambos os alunos A1 e A2 afirmaram que o raio-x não ultrapassa os ossos, devido a sua densidade, o Aluno A1 (Figura 29), acredita que o tempo de exposição à radiação é que faz mal a saúde, no entanto em pequena quantidade e por pouco tempo, ela não oferece riscos.

Quanto as diferenças entre radiações ionizantes e não ionizantes, o Aluno A1 (Figura 29), cita exemplos de cada uma delas e define como radiação ionizante aquela capaz de interagir com as células do nosso corpo. O Aluno A2 (Figura 30) classifica como radiação ionizante aquela com energia suficiente para remover elétrons e formar íons e não ionizante aquela capaz de agitar moléculas e elevar a temperatura do corpo. Sobre a resposta do Aluno A2 a respeito da radiação não ionizante, notamos que o estudante associou a radiação não ionizante apenas a radiação infravermelha, que embora não seja visível pode ser percebida por suas propriedades de aquecimento.

Observamos que posteriormente a essa atividade, exploramos a descoberta do Raio-x, a imagem da primeira radiografia, bem como os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético, a equação fundamental da ondulatória e a diferença entre as radiações consideradas ionizantes e não ionizantes, nesta aula, exercícios de vestibulares foram desenvolvidos no decorrer da aula junto com os estudantes. (APÊNDICE E).

A Aula 7 se concentrou principalmente no momento da institucionalização, aqui buscamos que os estudantes assimilassem os conteúdos estudados até a aula 6, para a compreensão do funcionamento do Sirius.

Nesta aula exploramos o processo de construção do laboratório Sirius que deu lugar ao UVX. As principais estruturas: Canhão de elétrons, Acelerador Linear, Booster, Anel de Armazenamento e linhas de luz delinearam as etapas que o feixe de elétrons percorre no interior de um acelerador de partículas até emissão da Radiação Síncrotron. Ao final da aula realizamos uma visita virtual ao Sirius e fizemos a divulgação a Escola Ilum.

Iniciamos explorando o intervalo do espectro eletromagnético correspondente a luz síncrotron, os estudantes se manifestaram: “*radiação síncrotron é ionizante.*”; ao serem questionados sobre qual faixa de do espectro eletromagnético referente a luz síncrotron possui maior energia, de forma errônea, os poucos estudantes que reponderam associaram ao infravermelho, pois segundo eles é onde o comprimento de onda é maior. Durante esse processo retomamos a aula sobre espectro eletromagnético (Aula 6) e discutimos a expressão que relaciona energia e comprimento de onda.

Aqui ressaltamos que, *a priori*, na Aula 6, não foi abordada uma representação matemática sobre energia ser diretamente proporcional ao produto da constante de Planck e a velocidade da luz e inversamente proporcional ao comprimento de onda. Aqui destacamos o momento da Institucionalização, redesenhamos a Aula 6, inserimos a representação matemática, de forma que a SD auxilie na problematização e relação entre o comprimento de onda e a sua energia.

Desenvolvemos a aula falando da construção do laboratório, suas dimensões, estruturas, e das principais partes que o constitui canhão de elétrons, acelerador linac, booster, anel principal, bem como como a física por trás do surgimento da luz síncrotron. Ao observarem a imagem aérea do Sirius, dois estudantes concordaram que o laboratório se assemelha a um campo de futebol, reposta que viria após explorarmos a dimensão do laboratório Sirius por meio de uma visita virtual.

No início, a visita leva à sala de controle, onde é explicado o processo de aumentar a velocidade dos elétrons no Booster (anel menor), antes de inserí-los no anel principal: os elétrons atingem velocidades próximas as da luz. Nesse contexto, propomos um “desafio” aos estudantes: “Considerando que a circunferência do Sirius é cerca de 518m e, sabendo o valor aproximado da velocidade dos elétrons, quantas voltas o feixe de elétrons consegue dar em um segundo?” Mobilizando diferentes técnicas, uns calcularam inicialmente o tempo para que o feixe dê uma volta; outros dividiram a velocidade pelo valor da extensão da circunferência e obtiveram o valor de 600.000 voltas por segundo.

Ao darmos continuidade à visita virtual e explorarmos a aba “Caminho dos elétrons: aceleradores circulares”, o pesquisador James Citadini explica que os elétrons são guiados por ímãs e tem a sua órbita desviada por meio de campos magnéticos e emitem radiação eletromagnética na tangente, e conhecida como radiação síncrotron, continuando a visita virtual o pesquisador *Harry Westfahl Jr* enfatiza que os aceleradores de partículas circulares são bem mais eficientes, pois, a cada volta, as partículas recebem novos impulsos, aumentando a sua energia, o que permite que os pesquisadores consigam partículas com energias altíssimas antes das colisões, portanto retomamos e respondemos a Questão: “Por que o Sirius tem formato de um campo de futebol?”.

As linhas de luz também foram exploradas durante a visita virtual, cada uma delas apresentando diferentes faixas de energia do Raio-X, aqui os estudantes assimilaram que cada uma dessas faixas de energia interage de forma diferente com a matéria. Pudemos constatar a seguinte associação: “...é por isso que o raio-x do hospital é diferente do raio-X do aeroporto!”. Apresentamos também algumas pesquisas desenvolvidas e publicadas nas diferentes linhas de luz. Retomamos a relação entre comprimento de onda e energia, bem como as diferentes interações entre radiação matéria, o que justifica a quantidade de linhas de luz.

Reforçamos com os estudantes que o CNPEM abriga, além do Sirius, outros três laboratórios; Laboratório Nacional de Biociências (LNBio); Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) que desenvolvem pesquisas Ciência dos Materiais, Química Física, Física Aplicada, Nanociência e Nanotecnologia, Biologia Molecular, Biotecnologia e Engenharia Agrícola. Fizemos a divulgação do “Ciência Aberta”, evento no qual o CNPEM fica disponível para a comunidade conhecer os laboratórios e as pesquisas realizadas no Sirius.

E ao final da visita virtual, divulgamos a escola de ciência Ilum, que oferece Ensino superior de excelência, em período integral, gratuito e com imersão no ambiente de pesquisa do CNPEM desde o primeiro semestre do curso.

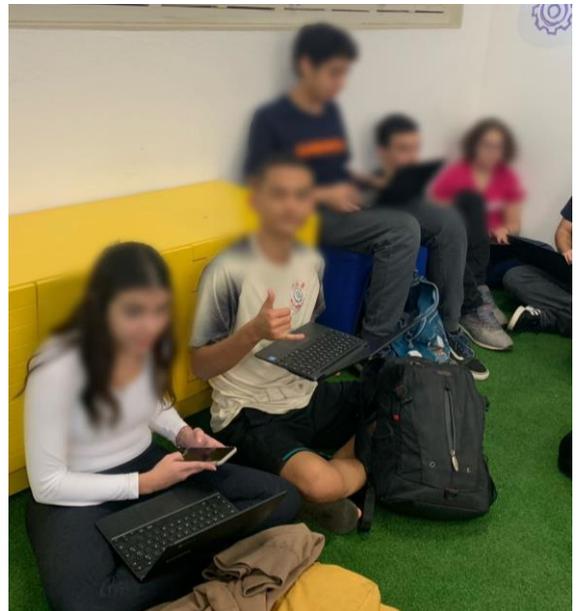
Na última aula aplicamos um questionário (APÊNDICE F), para 31 estudantes de forma presencial através da plataforma *Google Forms* (aplicado com auxílio dos *Chrome books* (sem acesso a internet), logado apenas no site pré- estabelecido pelo professor, no espaço chamado Sala Google. (Figura 31).

Figura 32 - Ambiente Sala Google



Fonte: A autora

Figura 31 - Alunos respondendo ao questionário - Aula 8



Fonte: A autora

Na aula 8 (APÊNDICE F) as questões de 1 a 5 buscaram retomar conceitos explorados ao longo da aplicação da SD, a fim de averiguar se os conceitos estudados foram assimilados e compreendidos pelos estudantes. As questões seguintes propõem a resolução de problemas, na qual a análise praxeológica dos exercícios podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2: Análise praxeológica dos exercícios - Aula 8

Exercício	Bloco prático-técnico (práxis)		Bloco teórico-tecnológico (logos)	
	Tarefa (T)	Técnica (τ)	Tecnologia (θ)	Teoria (Θ)
6	Explicar as diferentes formas que o raio-x interage com a matéria	Identificar quais espectros eletromagnéticos têm energia suficiente para ionizar átomos.	Observar como o raio-x se relaciona com diferentes comprimentos de onda.	Interação-radiação matéria
7	Interpretar qual o significado físico da ordenada representada no gráfico	Interpretar o gráfico, de forma a compreender o que ocorre com o elétron quando sua velocidade aumenta.	Utilizar a relação de De Broglie, a qual afirma que o comprimento de onda (λ) de um corpo é dado pela razão da constante de Planck pela quantidade de movimento (p) desse corpo.	Interação-radiação matéria
8	Analisar a trajetória e como a força magnética atua na partícula.	Identificar que a força magnética tem direção vertical e sentido para baixo, e assim, os feixes são desviados na direção vertical da tela	Aplicar a “regra da mão esquerda”.	Campo magnético e Força magnética
9	Analisar qual a força de varredura que atua na tela da TV	Identificar que a força magnética tem direção vertical e sentido para baixo, e assim, os feixes são desviados na direção vertical da tela	Aplicar a “regra da mão esquerda.”	Campo magnético e Força magnética
10	Descrever matematicamente do que depende a intensidade da força magnética que age sobre a partícula.	Identificar que a partícula se move perpendicularmente às linhas de campo, fazendo o termo $\sin \theta = 1$, remete que a força somente dependerá da quantidade de carga líquida q da partícula, do valor da sua velocidade v e da intensidade do campo magnético da região B .	Recordar a representação matemática da força magnética que depende de q , v e B	Força magnética
11	Analisar o que ocorrerá com o feixe após passar por um campo elétrico e magnético.	Mobilizar conceitos de forma a interpretar que quando a carga negativa passa entre as placas ela é desviada pela força elétrica para cima, atraída pela placa positiva e repelida pela negativa.	Aplicar a “regra da mão esquerda.”	Campo Magnético e Força Magnética

Na Figura 33 apresentamos a Questão 1 do questionário e o agrupamento das principais resposta.

Figura 33 - Questão 1 - Aula8

1. Durante nossas aulas, pudemos explorar mais a respeito do acelerador de partículas existente no Brasil.
- a. Qual(is) ideia(s) você tinha a respeito de um acelerador de partículas antes das aulas sobre esse assunto?
- b. O que você pensa/aprendeu sobre o acelerador de partículas após as aulas?

Fonte: Adaptado pela autora.

Figura 34 - Resposta dos alunos Aula 8 – Questão 1: item a



Fonte: A autora.

Dentre as respostas observadas, notamos que mais doze dos estudantes desconheciam os aceleradores de partículas e mesmo aqueles que ouviram falar sobre não sabia qual a sua importância e serventia. Um dos estudantes reforça que acreditava que aceleradores de partículas era possível apenas na ficção científica e dois alunos associaram aceleradores de partículas ao filme *Flash*.

No item b da Questão 1, observamos respostas como:

“Após a aula sobre a matéria tive uma melhor compreensão do assunto de que um acelerador de partículas é um dispositivo utilizado na física de partículas para acelerar partículas subatômicas a altas velocidades e podem ter diferentes energias”. (Aluno A1)

Aluno A2: *“Eu tenho um melhor entendimento do que ele é (acelerador de partículas), e tenho uma noção melhor de sua importância para as pesquisas científicas.”*

O aluno A1, mobilizou conceitos estudados ao longo da SD e sobre a velocidade que

as partículas atingem, bem como os diferentes níveis de energia. Enquanto o estudante A2, embora não tenha feito observações a respeito do funcionamento do acelerador de partículas, relatou que agora sabe da sua importância para os avanços científicos.

A Questão 2 do Questionário 8, pediu aos estudantes explicarem sobre a importância em desenvolver um acelerador de partículas feito para e por brasileiros. Todos os estudantes, de alguma forma, relataram a importância da existência de um acelerador de partículas brasileiro, duas respostas chamaram a atenção por focar na importância do laboratório para compreender a estrutura da matéria.

O Sirius é a maior e mais complexa infraestrutura científica construída no país e é também uma das mais avançadas fontes de luz síncrotron do mundo. Esse laboratório de última geração permite a investigação da composição e da estrutura da matéria em suas mais variadas formas. (A3).

A construção de um acelerador de partículas implica em uma pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico de ponta. Esse tipo de empreendimento permite que os cientistas brasileiros realizem estudos avançados sobre a estrutura fundamental da matéria, a natureza do universo e fenômenos físicos complexos. Isso leva ao avanço do conhecimento científico do país, colocando-o na vanguarda das descobertas e inovações nesse campo. Além de gerar empregos. (A4).

Outros dois estudantes enfatizaram a importância do acelerador para o desenvolvimento de fármacos e combate a doenças. O aluno A5 relatou: “*O desenvolvimento de um acelerador de partículas feito por brasileiros e para brasileiros é importante pois permite pesquisas avançadas em diversas áreas, como fármacos, indústria petroleira e etc*”. O estudante A6 citou a forte contribuição do Sirius nas pesquisas desenvolvidas durante a pandemia da Covid-19.

A importância se dá pelo fato de que um acelerador permite que cientistas façam diversas pesquisas. Além disso, pesquisadores brasileiros foram um dos primeiros a "escanear"/conseguir uma imagem da forma do vírus da covid-19 por causa do acelerador que temos no Brasil. (A6).

A Questão 3 buscou explorar a opinião dos estudantes sobre qual/quais pesquisas são indispensáveis e mais importantes a serem desenvolvidas no Sirius para os avanços científicos.

Figura 35 - Resposta dos alunos Aula 8 – Questão 3



Fonte: A autora

Ao analisarmos os dados, observamos que mais de 60% dos estudantes avaliam como indispensável pesquisas desenvolvidas para o combate de doenças e fármacos. A7: *“Eu acredito que a pesquisa mais importante foi a do modelo 3d da proteína do Covid. Essas pesquisas facilitariam a manipulação de substâncias e ajudaria-nos a entender os microrganismos e a erradicar doenças.”* outro evidenciou a importância das pesquisas desenvolvidas no Sirius a indústria petroleira: A8: *“O Sirius permite o desenvolvimento de novas tecnologias que podem contribuir com a exploração de petróleo, isso é extremamente importante para a economia do Brasil, e pode nos trazer muitos benefícios futuramente.”*

Nas Questões 4 (Figura 36) e 5 do Questionário da Aula 8, revisitamos uma pergunta já explorada durante a Aula 6 (Questão 6, Figura 29), no entanto com uma abordagem um pouco diferente:

Figura 36 – Questão 4 Aula 8

4. No acelerador de partículas é produzida o que chamamos de radiação síncrotron. Toda radiação é prejudicial à nossa saúde? Explique e cite exemplos

Fonte: A autora

Nesta Questão esperamos que os estudantes revisitem os conceitos estudados a respeito de radiação ionizante e não ionizante. Exemplos de respostas:

Nem sempre. Existe radiação em todos os lugares e nem todas as radiações fazem mau aos humanos, a radiação ionizante é muito prejudicial, pois a longo prazo pode gerar doenças que causam redução de produção de células sanguíneas e danos no trato digestivo. Exemplo radiação não ionizante: TV e microondas. Exemplo de ionizante: raio X. (A9).

A10: “Não, existem dois tipos de radiação, a ionizante tem muita energia, produz íons, como os raios gama, partículas alfa, etc. Já a não ionizante, apenas causa agitação das moléculas, ou seja não faz mal a saúde, como ondas de rádio e TV e etc”.

A Questão 5, pergunta-se especificamente sobre qual tipo de radiação é o Raio-x, bem como se o mesmo causa danos a saúde.

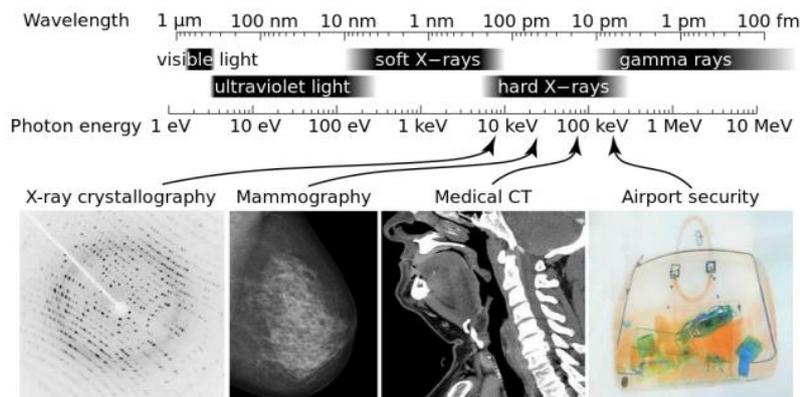
Figura 37 – Respostas dos alunos Aula 8 - Questão 5



Fonte: A autora

A Questão 6 se debruça a compreender a relação entre o comprimento de onda e as diferentes faixas de energia, apresentamos a Figura 36 e pedimos que os estudantes explicassem do que depende principalmente a forma com que os raios -X interagem com a matéria.

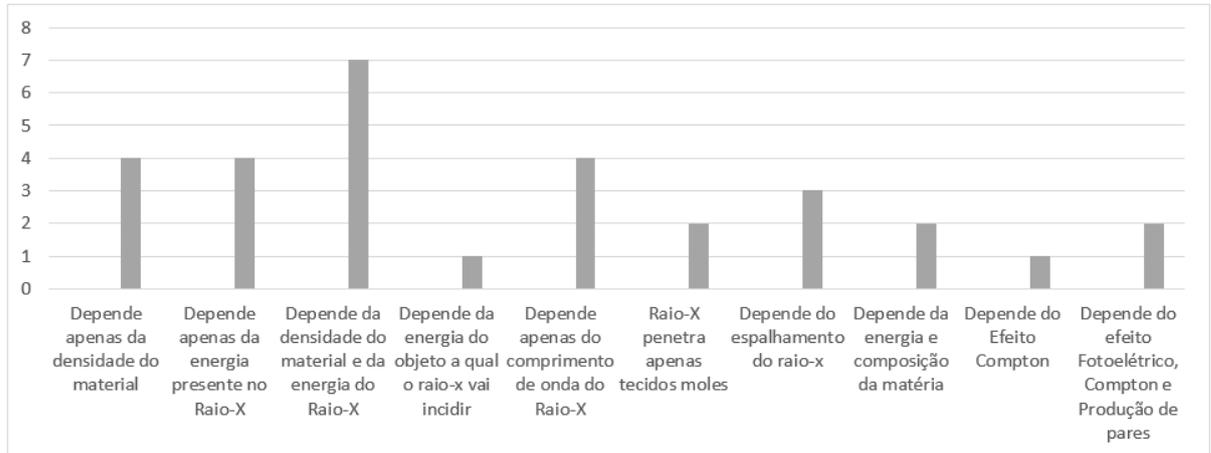
Figura 38 – Localização dos raio-x e subdivisões no espectro eletromagnético apresentada na Questão 6 - Aula 8



Fonte: Adaptado pela autora

A Questão 6, apresentou as mais diversas repostas dos estudantes.

Figura 39 - Respostas dos alunos Aula 8 - Questão 6

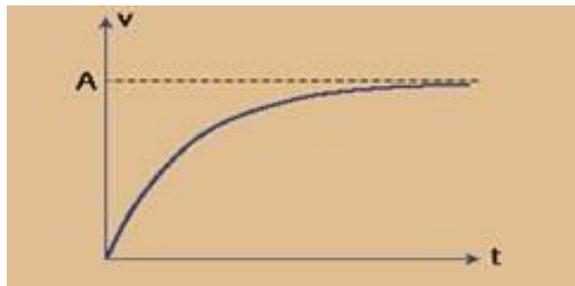


Fonte: A autora

Aqui observamos a discrepância das respostas dos estudantes, aqui notamos que conceitos deveriam ser revisitados, pois para interagir com a matéria o comprimento de onda do raio-x deve ser comparável ao tamanho dos átomos, de forma a ter energia suficientemente grande para ionizar moléculas e ainda tem um grande poder de penetração, o que faz com que seu uso seja bem variado tanto do ponto de vista científico quanto aplicado. Analisando as respostas da Questão 6, procuramos no redesenho da SD, aprimorar e reforçar a relação de De Broglie.

Na Questão 7 (Figura 38) apresentamos um gráfico que mostra como a velocidade v do elétron varia com o tempo t em um acelerador de partículas. Perguntamos aos estudantes qual o significado físico da ordenada A .

Figura 40 – Gráfico apresentado na questão 7 – Aula 8



Fonte: Adaptado pela autora

Dezoito alunos interpretaram de forma coerente o gráfico e assinalaram que com o decorrer do tempo o elétron vai adquirindo mais energia o que faz aumentar a sua velocidade até que ele atinja a velocidade da luz ($3,0 \cdot 10^8 \text{m/s}$) e, a partir daí ele prossegue com essa velocidade que é o valor A do gráfico. Oito alunos disseram que a constante apresentada no gráfico é a corrente elétrica, não conseguimos esclarecer o por quê dessa resposta, mas acreditamos que muitos estudantes associaram a letra “A” a unidade de medida Ampère.

Nas questões 8 (Figura 41) e 9 (Figura 42), abordamos conceitos sobre como a força magnética atua de forma sempre perpendicular (90°) tanto à velocidade da partícula carregada quanto ao campo magnético.

Figura 41 – Questão 8 – Aula 8

8. Uma partícula eletricamente carregada penetra, com uma dada velocidade, em uma região de campo magnético uniforme. Leia as afirmações a seguir.
- a) se III e IV são incorretas.
- I. A trajetória da partícula será circular se sua velocidade for perpendicular à direção do campo magnético. b) se I e III são corretas.
- II. A trajetória da partícula será sempre circular. c) se I e II são incorretas
- III. A força magnética que age sobre a partícula não altera sua velocidade vetorial. d) se I e IV são corretas
- IV. A força magnética que age sobre a partícula não modifica sua energia cinética.

Fonte: Adaptado pela autora

Figura 42 - Questão 9 Aula 8

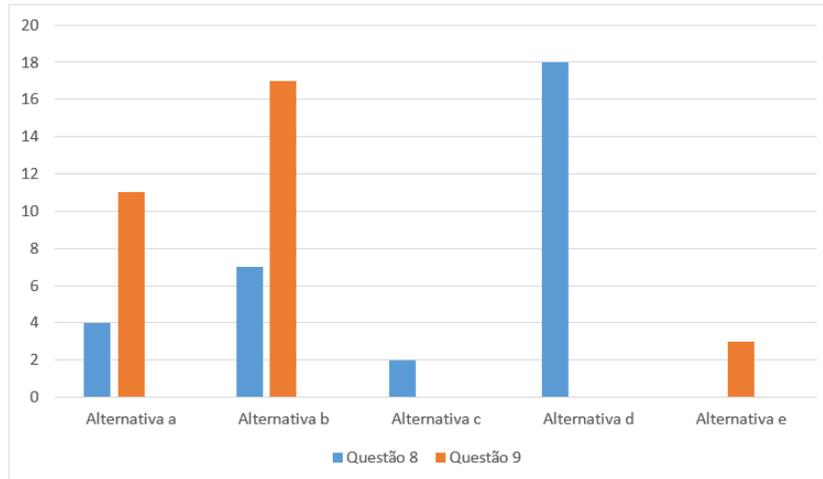
9. O tubo de televisão possui um canhão eletrônico que faz a varredura da tela fotoluminescente numa sucessão de linhas da esquerda para a direita e de cima para baixo. Tal varredura é feita com rapidez suficiente para que nossos olhos não percebam o desaparecimento de uma linha e o surgimento de outra e, além disso, nos dê a sensação de movimento da imagem. Sobre a força responsável por esse movimento de varredura da tela de TV, é correto afirmar:

- a) É uma força eletrostática que atua na direção do feixe eletrônico.
- b) É uma força magnética que atua na direção perpendicular ao feixe eletrônico.
- c) É uma força eletro-fraca que atua nos neutrinos do feixe eletrônico.
- d) É uma força elétrica que atua nos neutrinos do feixe eletrônico.
- e) É uma força eletromagnética que atua nos nêutrons do feixe eletrônico.

Fonte: Adaptado pela autora

Ao analisarmos as respostas (Figura 41), dezoito estudantes assinalaram de forma correta a alternativa d na Questão 8, e dentre esses alunos, quinze assinalaram corretamente alternativa b na Questão 9.

Figura 43 - Respostas dos alunos Aula 8 - Questões 8 e 9



Fonte: A autora

Na Questão 8, observamos que sete estudantes assinalaram a alternativa b, e dentre eles dois estão entre os dezessete que acertaram a Questão 9. Esses dados nos mostram que possivelmente os dois estudantes que assinalaram o item b na Questão 8 e acertaram a Questão 9, tenham compreendido que trajetória da partícula será circular se sua velocidade for perpendicular à direção do campo magnético, no entanto não assimilaram que a força magnética que age sobre a partícula não modifica sua energia cinética.

Após a implementação buscou-se fazer uma avaliação e verificar a qualidade da SD, baseando-se no referencial teórico deste trabalho três fatores devem ser levados em consideração: a validação, que se refere ao grau em que o projeto corrobora para o conhecimento. A efetividade, capacidade de produzir um efeito real/impactos a longo prazo; e a praticidade da SD, que remete a sua funcionalidade e praticidade para ser utilizada.

Quanto a validação, acreditamos que a implementação da SD transcorreu de maneira que os resultados obtidos se aproximaram do esperado em relação ao aprendizado dos estudantes. Entretanto, foi possível observar falhas e pontos a serem melhorados na SD, como remanejar a experiência dos ímãs e a limalha de ferro para a Aula 1; pedir aos estudantes que registrem nos cadernos as respostas das perguntas feitas pela professora no início de cada aula, pois assim será mais fácil compreender as concepções prévias de cada estudante a respeito de determinados assuntos. Reforçar a relação de De Broglie nas Aulas 6 e 7, haja vista que a

Questão 6 que abordara esse assunto na aula 8 (Figura 39) foi a que os estudantes encontraram maior dificuldade para responder e desenvolver o raciocínio.

O redesenho da sequência didática foi de extrema importância no nosso contexto educacional, pois nos permitiu ajustar, aprimorar e adaptar as estratégias de ensino-aprendizagem de acordo com as necessidades dos alunos e os objetivos pedagógicos estabelecidos. Cada turma é única, com seus próprios ritmos de aprendizagem, estilos de aprendizagem e interesses. Redesenhar a sequência didática nos permitiu personalizar o ensino para atender melhor às necessidades específicas dos estudantes.

Ao refletir sobre o que funcionou e o que não funcionou em uma sequência anterior, os professores podem fazer ajustes para aprimorar a eficácia do ensino. Em futuras aplicações da SD os professores podem incorporar o feedback dos alunos, levando em consideração suas sugestões e avaliações sobre as atividades e abordagens de ensino.

Em relação à efetividade da SD, esperamos que a longo prazo nosso produto educacional seja utilizado por docentes e que contribua positivamente quanto ao aprendizado dos estudantes. Buscamos desenvolver uma SD prática e funcional, com resumos objetivos e exercícios de vestibulares para as/os estudantes, além de um seção de apoio ao/à professor/a com sugestões de vídeos, experimentos, gabarito dos exercícios propostos e material de divulgação sobre o Sirius e a escola Ilum.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa propôs uma Sequência Didática com o objetivo de contribuir para a divulgação e o entendimento sobre aceleradores de partículas, em especial o Sirius, presente no Brasil. Para que seja possível a análise e observação de determinados fenômenos, notamos que é necessário o uso de instrumentos como aceleradores de partículas, assunto pouco divulgado nas mídias e nas escolas, por falta de tempo do professor, e principalmente pela falta de material didático que contemple esses assuntos. Motivados em desenvolver recursos que facilitem a inserção desses conteúdos na sala de aula, em nossa SD, roteirizamos aulas, seguindo uma trilha lógica e coesa para a compreensão de alguns fenômenos físicos que acontecem no Sirius.

De acordo com os princípios da Teoria Antropológica do Didático, que é o principal referencial teórico adotado, desenhamos a SD explorando o que Chevallard denomina Momentos Didáticos. Durante a primeira aula, tivemos o MD do primeiro encontro e o MD exploratório ao observar a interação entre ímãs e objetos presentes na sala de aula. No encontro seguinte, mobilizamos o MD exploratório e MD do trabalho da técnica ao representar por meio do Simulador *Phet* o experimento de Oersted. Na Aula 3, partimos do MD da Constituição do bloco tecnológico-teórico ao utilizar simulador *Water Fendt* para ilustrar as relações entre o campo magnético e a Força de Lorentz, além de um experimento para abordar a Lei de Lenz. Na quarta aula, mobilizamos o MD do trabalho da técnica ao propor a resolução de exercícios sobre Força e Energia Magnética.

Na aula 5, aplicamos um Questionário investigativo sobre aceleradores de partículas e depois abordamos os aspectos históricos que levaram ao desenvolvimento e construção do LCLS, realizando o MD exploratório e o MD da avaliação,. A aula 6 explorou o MD da institucionalização, numa aula dialogada sobre o espectro eletromagnético e as diferenças entre radiação ionizante e não ionizante. A aula 7 foi voltada integralmente a uma visita virtual ao Sirius, procurarmos sintetizar o conhecimento institucionalizado com o estudante com as representações apropriadas em termos da linguagem científica. E na aula 8 novamente MD da avaliação ao aplicarmos um Questionário para validar os conteúdos estudados, bem como conhecimento dos alunos.

Os dados coletados a partir das respostas das/dos estudantes aos questionários e das anotações da professora em seu diário de bordo, permitiram identificar os principais obstáculos epistemológicos e, a partir disso, fizemos o redesenho da SD, aprimorando e melhorando-a.

Embora seja uma material direcionado às/aos estudantes, no produto, ao final de cada aula um material de apoio ao/à professor/a, com sugestões de vídeos, experimentos e

simuladores, ao aplicar a SD ressaltamos ser necessário que o professor adapte os conteúdos a realidade escolar de forma a priorizar a qualidade, integridade e relevância das práticas. Em resumo, o fato do redesenho da sequência didática ter sido realizada três vezes foi fundamental para garantir que o ensino seja eficaz, relevante e envolvente, atendendo às necessidades dos alunos e promovendo seu sucesso acadêmico.

Vale considerar que este trabalho busca ir além de desenvolver recursos didáticos para o ensino da FMC no ensino médio, mas a divulgação do laboratório Sirius, citando as pesquisas realizadas lá e os programas disponíveis como a Escola Sirius para professores e a Escola Ilum.

7. REFERÊNCIAS

ABDALA, M. C.B. O discreto charme das partículas elementares. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

ALMEIDA, R. S. Os Principais Aceleradores de Partículas: Um relato histórico da busca por altas energias. TCC de Física - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2019. Disponível em: Acesso em: 18 maio 2023.

ANJOS E DEMÔNIOS. Direção: Ron Howard Roteiro Akiva Goldsman, David Koepp, Sony Pictures, 2009. Amazon Prime

AULER, D. Movimento Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS): modalidades, problemas e perspectivas em sua implementação no ensino de Física. IN: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Florianópolis, 1998.

AVEIRO, T. L.B. Divulgação Científica: A Física de Altas Energias para alunos do ensino básico, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Universidade Federal do Pampa, FÍSICA, 2021

BACHELARD, G. La formation de l'esprit scientifique: contribution a une psychanalyse de la connaissance. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1938. Tradução de Estela dos Santos Abreu. A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BACHELARD, G. Le rationalism appliqué. Paris: PUF 1975, 5 ed. Tradução de Nathanael C. Caixeiro. O racionalismo aplicado. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1977.

BARCELOS, M.; GUERRA, A. Inovação curricular e Física Moderna: da prescrição à prática. Revista ensaio, v.17, n.2, p.329-350, 2015. <https://doi.org/10.1590/1983-21172015170203>

BAGNATO, V. S.; PRATAVIEIRA, S. Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 37, n. 4, 4206, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173732037>

BARROS, A. L. L. Uma abordagem sobre o espectro eletromagnético por meio de estudos de caso. 226f. Dissertação. (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física Sociedade Brasileira de Física Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense). Campos dos Goytacazes/RJ. 2018. Disponível em: http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_alice.pdf. Acesso em: 27/04/2023.

BAZZO, W. A. Ciência, Tecnologia e Sociedade e o contexto da educação tecnológica. Florianópolis: UFSC, 1998

BONJORNO, J; BONJORNO, R BONJORNO, V; RAMOS, C. Física Fundamental. Volume 3. São Paulo: FTD 2015.

BOSCH, M., CHEVALLARD Y. La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs: objet d'étude et problématique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, v. 19, n. 1, p. 77-123, 1999.

BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Lei Nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm>.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf. Acesso em: 13 maio 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio – Ciências da Natureza. Brasília: Ministério da Educação, 2013.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio). Brasília: MEC, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2002. M. Giordan, Y. Guimarães e L. Massi, Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: tendências no ensino de ciências, disponível em: http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viiienpec/res_umos/R0875-3.pdf.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. v. 2. Brasília: 2006.

BROWN, A. (1992). Design experiments: theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Science*, 2(2), 141-178. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0202_2

BULCÃO M. , Bachelard, imagem e criação: uma análise da poesia primitiva e visceral de Lautréamont , , Reflexão: v. 34 n. 95 (2009)

BURGOS, M.B. Ciência na periferia: a luz síncrotron brasileira. Juiz de Fora, UFJF, 1999.

CARUSO, F. E OGURI V., Física Moderna – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos, Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2006

CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A. Partículas Elementares: 100 anos de descobertas. São Paulo: Editora e Livraria da Física, 2012

CASTELAO-LAWESS, T. Phenomenotechnique in historical perspective: it's origins and implications for philosophy of science. *Philosophy of Science*, v. 62, n. 1, p. 44-59. 1995. <https://doi.org/10.1086/289838>

CHEVALLARD, Y. (1991). La transposition didactique. Grenoble: La pensée Sauvage.

Freitas, M. V. C. (2015). Um estudo sobre volume de sólidos geométricos em uma coleção de

livros didáticos do Ensino Médio. Dissertação de Mestrado em Educação Matemática. Campo Grande: Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Gascón, J. (2003) La necesidad de utilizar modelos em didáctica de la matemáticas. *Educación Matemática e Pesquisa*, São Paulo, v. 5, n. 2, pp. 11 – 37.

CHEVALLARD, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique: perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 12(1), 73-112.

CHEVALLARD, Y. (1998) Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques: L'approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(2), 221-266.

CNPEM - A. Por dentro do CNPEM: O novo acelerador de elétrons brasileiro. *Revista Sirius - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais*, Campinas 2018. Disponível em: Acesso em: 29 maio 2023.

CNPEM - B. Projeto Sirius: A nova fonte de luz Síncrotron brasileira. Livro Projeto Sirius - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, Campinas, 2014. Disponível em: Acesso em: 22 maio 2023.

DBR-COLLECTIVE. Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, v. 32, n. 1, p. 5–8., 2003. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>

Dominguini L. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 2, 2502 (2012) <https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000200013> www.sbfisica.org.br

EISBERG, R.M., *Fundamentos da Física Moderna*, Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1979

FERNANDES E.F. As dificuldades de compreender física dos alunos do ensino médio das escolas públicas de 2016 Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual do Ceará, Faculdade de Educação, Ciências e Letras de Iguatu, Graduação em Física,

GOMES, E. C. Ondas eletromagnéticas: possibilidades da aplicação no ensino médio a partir das relações cts. (Centro de Ciências Exatas Programa de PósGraduação Em Educação para a Ciência e a Matemática) Universidade Estadual De Maringá. Maringá, 2017. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br>. Acesso em: 27/04/2023

GONÇALVES, D. K.G. Uma proposta para o ensino de conceitos de física a partir do acelerador de partículas sirius para alunos do ensino médio, Instituto Federal de Pernambuco, 2021.

GOULART J.S. Reading Using the Lens of the Anthropological Teaching Theory about a Lesson on Numerical Expressions. *Boletim de educação matemática (Bolema)*, Rio Claro (SP), v. 33, n. 65, p. 1570-1594, dez. 2019. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v33n65a28>

GUERRA E A.V. MORAIS, História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio.

<https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000100018>

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 3

KARAM, R.A.S. Relatividades no Ensino Médio: O debate em sala de aula. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 105-114, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000100017>

KERST, D. W. Acceleration of electrons by magnetic induction. Physical Review Journals Archive, [s. l.], v. 58, n. 9, nov. 1940. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.58.841>. Disponível em: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.58.841>. Acesso em: 13 abr. 2023. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.58.841>

KNEUBIL, F. B., & PIETROCOLA, M. (2017). A pesquisa baseada em design: visão geral e contribuições para o ensino de ciências. *Investigações Em Ensino De Ciências*, 22(2), 01–16. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2017v22n2p01>

M. M'EHUT E D. PSILLOS, International Journal of Science Education 26, 515 (2004). A.L. Brown e J.C. Campione, em: Innovations in learning: New environments for education, editado por L. Schauble e R. Glaser (Lawrence Erlbaum Associates, Nova Jersey, 1996). <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>

GUIMARÃES O, PIQUEIRA J E CARRON W., Física 3 (Ática, São Paulo, 2016), 2ª ed.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000300016>

OSTERMANN, F.; RICCI, T. F. Relatividade Restrita no Ensino Médio: contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de Física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 19, n. 2, p.176-190, maio 2002.

PASQUALETTO, T. I.,. Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino de Física: uma Revisão da Literatura. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 17, n. 2, p. 551, 2018. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2017172551>

PEREIRA, P. A; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. Investigação em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.14, n.3, p.393-420, 2009.

PESSANHA, M.B.; Pietrocola, M. O ensino de estrutura da matéria e aceleradores de partículas: uma pesquisa baseada em design. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 16, n. 2, p. 361-388, 2016.

PIETROCOLA M. (2010). Inovação Curricular e Gerenciamento de Riscos Didático-Pedagógicos: o ensino de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea na escola média. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo. Recuperado de <http://docplayer.com.br/22288236-Inovacao-curricular-e-gerenciamento-de-riscos-didatico->

pedagogicos-o-ensino-de-conteudos-de-fisica-moderna-e-contemporanea-na-escola-media.htm

PIETROCOLA, M. Inovação Curricular e Gerenciamento de Riscos Didático Pedagógicos: o ensino de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea na escola média. Faculdade de Educação, USP. Out. 2010.

PIETROCOLA, M. A Transposição da Física Moderna e Contemporânea para o Ensino Médio: superando obstáculos epistemológicos e didático-pedagógicos.

PIETROCOLA, Maurício et al. Física em contextos, 3: ensino médio. São Paulo, SP: Do Brasil, 2016. 288 p., il. color., 35 cm. (Física em contextos). ISBN 9788510062657.

PINHEIRO, L. A. A câmara de nuvens: uma abordagem integrada entre a Física Clássica e a Física Moderna. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 32, p. 517-528, 2015. PINTO, A.C; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.16, n.1, p.7-34, 1999. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n2p517>

PLOMP, T. E.; NIEVEEN, N. An Introduction to Educational Design Research. 3 rd. Netzodruk Enschede, 2010. p. 10-51.

RAPPOPORT, T. G. SPINTRÔNICA: uma palestra introdutória. In: ESCOLA BRASILEIRA DE MAGNETISMO, 7., Natal, 2009. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/~joras/Disciplinas/07.1/topicos/tatiana.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2023.

RICHEY, R. C., KLEIN, J. D., & NELSON, W. A. (2004). Development research: studies of instructional design and development. In Jonassen, D. H. Handbook of research on educational communications and technology. New Jersey: LEA.

RODRIGUES, A. Levitação magnética. 2009. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAOW4AB/levitacao-magnetica>. Acesso em: 27 abr. 2023.

SANTOS, A. C. Luz Síncrotron, o que é isso?: Ciência hoje. Artigo - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: . Acesso em: 07 maio 2023.

SCHIVANI, M. Contextualização no Ensino de Física à luz da Teoria Antropológica do SILVA, Antônio José Roque da; WESTFAHL JÚNIOR, Harry. Projeto Sirius. Ciência. Culto. , São Paulo, v. 3, pág. 23 a 29 de julho de 2017. Disponível em <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252017000300008&lng=en&nrm=iso>. acesso em 03 de fevereiro de 2024. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602017000300008>.

SILVA, R.P. ; História de laboratório: livro e trailer como instrumento de divulgação científica, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Universidade de Brasília, FÍSICA, 2018.

SILVA, C.G. da. “The National Laboratory for Synchrotron Light: The Brazil Experience”. Beamline. Stanford, Stanford Linear Accelerator Center, v.26, n.1, 1996, p.10-15.

SILVA, C.G. DA; RODRIGUES, A.R. E CRAIEVICH, A.F. “The National Laboratory for Synchrotron Light of Brazil”. *Synchrotron Radiation News Compendium*. Nova York, Gordon and Breach Science Publishers, v.1, 1988, p.52-6. <https://doi.org/10.1080/08940888808602489>

SILVA, Y. A. R.; SIQUEIRA, M.; BATISTA, C. A. S. Aceleradores e detectores de partículas sob o olhar da Transposição Didática. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2015, Águas de Lindoia.

SIQUEIRA, M. Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio. 2006. Dissertação (Mestrado em Educação) -USP, São Paulo.

SOUZA M. Livros didáticos de física para o ensino médio: uma análise de conteúdo das práticas de eletricidade e magnetismo. 2004. 133 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências de Bauru, 2004.

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

TERRAZZAN, E. A. Perspectivas para a Inserção da Física Moderna na Escola Média. 1994. 241 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo 1994.

TIBERGHEN, A.; Vince, J.; Gaidioz, P. Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, v.31, n.17, p. 2275-2314, 2009. <https://doi.org/10.1080/09500690902874894> Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma Licença Creative Commons.

VELHO L. PESSOA O. The decision- Making Process in the construction of the Synchrotron light National Laboratory in Brazil social studies of science Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/030631298028002001> acesso em: 29/11/2022

ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

APÊNDICE A - AULA 1 PRODUTO PILOTO ACELERADORES DE PARTÍCULAS

Objetivos: Sondar o que os estudantes sabem ou ouviram falar a respeito de aceleradores de partículas.

Descrição: Nesta aula serão realizadas algumas atividades com estudantes do 2º ano do ensino médio, cuja finalidade será averiguar o conhecimento dos estudantes sobre aceleradores de partículas.

As atividades envolverão assistir a um pequeno trecho do filme “Anjos e Demônios”, responder a um formulário sobre o seu conhecimento sobre aceleradores de partículas e um desenho que deverá ser feito pelos estudantes, de modo que eles descrevam como eles imaginam que os átomos estão agrupados em uma folha de papel.

Materiais: Multimídias, telefone celular e folhas de papel.

Tempo: 40 a 50 minutos.

1ª. Etapa:

No início da aula, será questionado aos estudantes como podemos “enxergar” algo muito pequeno?

Será que existem máquinas capazes de fazer isso?

Apresentação dos primeiros dez minutos do filme “Anjos e Demônios” (disponível em *Amazon Prime*), a fim de que os estudantes tenham um contato inicial com máquinas que aceleram partículas como retratado no filme o LHC (*Large Hadron Collider*), Grande Colisor de Hádrons.



Em seguida será apresentado também os primeiros dez minutos do filme “O homem do Futuro” (disponível no *Youtube*), a fim de que os estudantes façam uma breve análise, não da história do filme, mas do local onde inicialmente se passa o filme o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. (LNLS).



2ª. Etapa:

Após assistirem aos trechos dos filmes será proposto aos estudantes que respondam ao questionário do Google Forms disponível no link e no QRcode abaixo:

Link:

https://docs.google.com/forms/d/1fqJd2P8Hvu0i7z_ZlK9h42WzzCuaUVpnHsRu6sVR0kk/edit



Aponte seu celular para o QR code para responder ao questionário!

3ª Etapa:

Nesta etapa será averiguado de que forma os estudantes acreditam que os átomos estão agrupados em uma folha de papel.

- Entregar uma folha sulfite em branco para cada um dos estudantes;
- Pedir para que os estudantes façam desenhos na folha sulfite de como eles acreditam que os átomos estão distribuídos por essa folha.
- É essencial que o professor reforce que há muito átomos constituindo a folha de papel.
- O professor também deve enfatizar de que não há resposta errada, logo é de suma importância que cada estudante coloque a sua ideia no papel.

APÊNDICE B – PRODUTO EDUCACIONAL – SIRIUS: A LUZ DA CIÊNCIA BRASILEIRA

Descrição Técnica do Produto Educacional

Nível de Ensino: Ensino Médio

Área de Conhecimento: Ciências da Natureza

Público-alvo: Estudantes do ensino médio

Categoria deste produto: Livro digital

Finalidade: Introduzir conteúdos de Física Moderna utilizando o acelerador de partículas brasileiro e histórico de sua implantação.

Organização do produto: Módulo didático organizado em capítulos com orientações adicionais para professores.

Registro de propriedade intelectual: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/917482>
- Licença *creative commons*



Produto disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/917482>

APÊNDICE C – EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO DA AULA 2

1. UFB- Há três barras, AB, CD e EF, aparentemente idênticas. Experimentalmente, constata-se que:



I – A extremidade A atrai a extremidade D;

II – A atrai a extremidade C;

III – D repele a extremidade E.

Então:

- a) AB, CD e EF são ímãs.
- b) AB é ímã, CD e EF são de ferro.
- c) AB é de ferro, CD e EF são ímãs.
- d) AB e CD são de ferro, EF é ímã.
- e) CD é ímã, AB e EF são de ferro.

2. ITA - Um pedaço de ferro é posto nas proximidades de um ímã, conforme o esquema abaixo.



Qual é a única afirmação correta relativa à situação em apreço?

- a) É o ímã que atrai o ferro.
- b) É o ferro que atrai o ímã.
- c) A atração do ferro pelo ímã é mais intensa do que a atração do ímã pelo ferro.
- d) A atração do ímã pelo ferro é mais intensa do que a atração do ferro pelo ímã.
- e) A atração do ferro pelo ímã é igual à atração do ímã pelo ferro.

3. As bússolas são dispositivos usados ao longo dos séculos para facilitar a navegação. Assinale a alternativa correta em relação às bússolas.

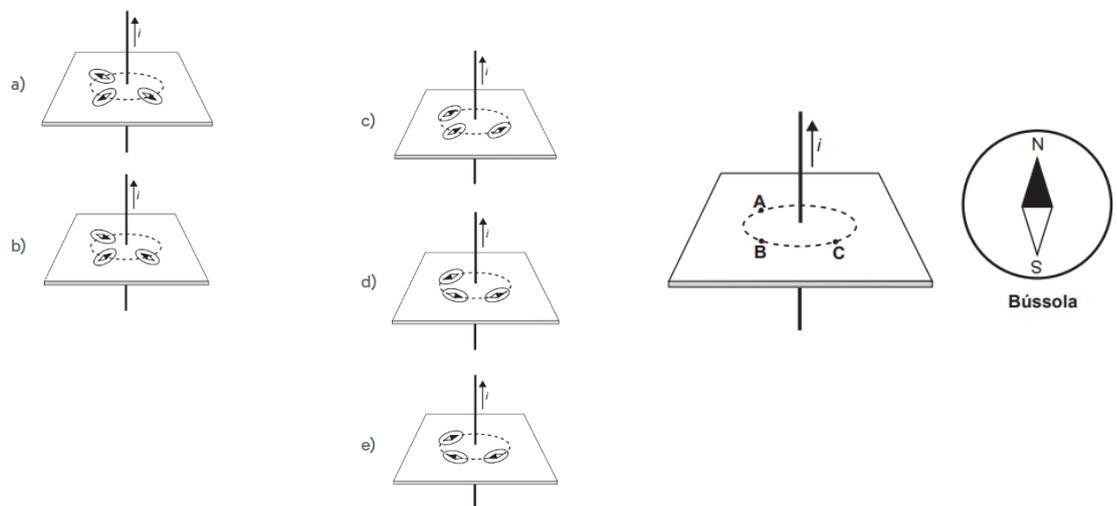
- a) As bússolas são pequenos ímãs que se orientam de acordo com o campo elétrico da Terra.
- b) As bússolas são capazes de apontar na direção exata do Norte geográfico.
- c) As bússolas são úteis em qualquer região do planeta Terra.
- d) As bússolas são agulhas magnetizadas que se alinham de acordo com o campo magnético da Terra.

4. (UFRGS) O primário de um transformador alimentado por uma corrente elétrica alternada tem mais espiras do que o secundário. Nesse caso, comparado com o primário, no secundário:

- a) a diferença de potencial é a mesma e a corrente elétrica é contínua
- b) a diferença de potencial é a mesma e a corrente elétrica é alternada
- c) a diferença de potencial é menor e a corrente elétrica é alternada
- d) a diferença de potencial é maior e a corrente elétrica é alternada
- e) a diferença de potencial é maior e a corrente elétrica é contínua

5. ENEM 2022- O físico Hans C. Oersted observou que um fio transportando corrente elétrica produz um campo magnético. A presença do campo magnético foi verificada ao aproximar uma bússola de um fio conduzindo corrente elétrica. A figura ilustra um fio percorrido por uma corrente elétrica i , constante e com sentido para cima. Os pontos A, B e C estão num plano transversal e equidistantes do fio. Em cada ponto foi colocada uma bússola.

Considerando apenas o campo magnético por causa da corrente i , as respectivas configurações das bússolas nos pontos A, B e C serão



APÊNDICE D - AULA 4: EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO – FORÇA E ENERGIA MAGNÉTICA

1. (MED – Itajubá) A respeito de carga elétrica, campo magnético e força magnética analise as sentenças abaixo:

I. Uma carga elétrica submetida a um campo magnético sofre sempre a ação de uma força magnética.

II. Uma carga elétrica submetida a um campo elétrico sofre sempre a ação de uma força elétrica.

III. A força magnética que atua sobre uma carga elétrica em movimento dentro de um campo magnético é sempre perpendicular à velocidade da carga.

Aponte abaixo a opção correta:

- a) Somente I está correta.
- b) Somente II está correta.
- c) Somente III está correta.
- d) II e III estão corretas.
- e) Todas estão corretas.

2. (UFU) Uma carga q movendo-se com velocidade v imersa em um campo magnético B está sujeita a uma força magnética F_{mag} . Se v não é paralela a B , marque a alternativa que apresenta as características corretas da força magnética F_{mag} .

- a) O trabalho realizado por F_{mag} sobre q é nulo, pois F_{mag} é perpendicular ao plano formado por v e B .
- b) O trabalho realizado por F_{mag} sobre q é proporcional a v e B , pois F_{mag} é perpendicular a v .
- c) O valor de F_{mag} não depende de v , somente de B , portanto F_{mag} não realiza trabalho algum sobre q .
- d) O valor de F_{mag} é proporcional a v e B , sendo paralela a v , portanto o trabalho realizado por F_{mag} sobre q é proporcional a v .

3. (UniMontes) Qual a carga elétrica de uma partícula que se move perpendicularmente em um campo magnético de 6 T a uma velocidade de 200 m/s quando uma força de 0,05 N atua sobre ela?

- a) 42 C
- b) 42 μC
- c) 42 mC
- d) 42 pC
- e) 42 nC

4. (IFTM) Calcule o campo magnético em um condutor retilíneo de comprimento 5 metros que conduz uma corrente elétrica de 0,5 A e que apresenta uma força magnética de 8,75 N, sabendo que a direção do fio com a direção do campo magnético forma um ângulo de 45° . Caso necessário, considere $\sqrt{2} = 1,4$.

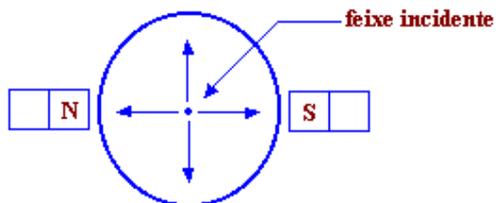
- a) 2
- b) 3
- c) 4
- d) 5
- e) 6

5. (UNIP) Uma aplicação dos eletroímãs supercondutores é no trem de transporte levitado magneticamente, ou *maglev*. Esse trem usa o campo magnético gerado pelos eletroímãs para produzir forças de repulsão entre o trem e o trilho. Assim, ele flutua acima dos trilhos e pode atingir velocidades superiores a 300 km/h. HEWITT, P. **Física conceitual**. São Paulo: Artmed, 2002 (adaptado).

O *maglev* consegue atingir altas velocidades porque

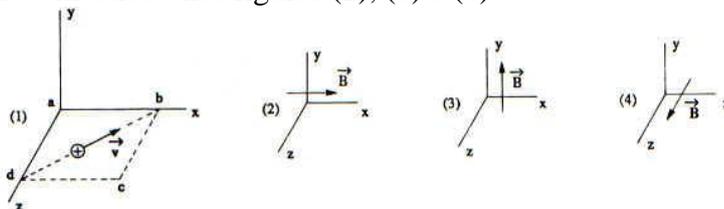
- a. O *maglev* consegue atingir altas velocidades porque não ocorre resistência elétrica nos trilhos.
- b. Não há atrito entre o trem e os trilhos.
- c. o trem é construído de material muito leve.
- d. O campo magnético gerado é capaz de impulsionar o trem.

6. (UFU) A figura mostra a tela de um osciloscópio onde um feixe de elétrons, que provém perpendicularmente da página para seus olhos, incide no centro da tela. Aproximando-se lateralmente da tela dois ímãs iguais com seus respectivos polos mostrados, verificar-se-á que o feixe:



- a) será desviado para cima ↑
- b) será desviado para baixo ↓
- c) será desviado para a esquerda ←
- d) será desviado para a direita →
- e) não será desviado.

7. (UNESP) Uma partícula com carga elétrica positiva desloca-se no plano Z – X na direção d – b, que é diagonal do quadrado a, b, c, d indicado na figura (1). É possível aplicar na região do movimento da carga um campo magnético uniforme nas direções dos eixos (um de cada vez), como é mostrado nas figuras (2), (3) e (4).



Em quais casos a força sobre a partícula será no sentido negativo do eixo Y?

- a) Somente no caso 2.
- b) Nos casos 2 e 4.
- c) Somente no caso 3.

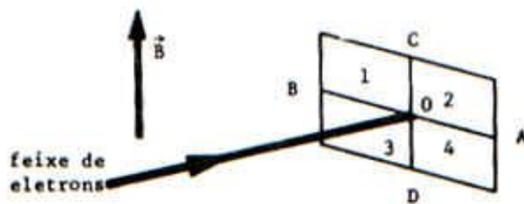
- d) Nos casos 3 e 4.
e) Somente no caso 4

8. (UFRS) No interior de um acelerador de partículas existe um campo magnético muito mais intenso que o campo magnético terrestre, orientado de tal maneira que um elétron lançado horizontalmente do sul para o norte, através do acelerador é desviado para o oeste. O campo magnético do acelerador aponta:

- a) do norte para o sul
b) do leste para o oeste
c) do oeste para o leste
d) de cima para baixo
e) de baixo para cima



9. (PUC) Um feixe de elétrons incide horizontalmente no centro do anteparo. Estabelecendo-se um campo magnético vertical para cima, o feixe de elétrons passa a atingir o anteparo em que região?



- a) região 1
b) região 2
c) segmento OB
d) segmento OA
e) região 3

APÊNDICE E - AULA 6: EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. (Unicamp 2021) Um dos fatores que determinam a capacidade de armazenamento de dados nos discos laser é o comprimento de onda do laser usado para gravação e leitura (ver figura abaixo). Isto porque o diâmetro d do feixe laser no ponto de leitura no disco é diretamente proporcional ao comprimento de onda, λ . No caso do Blu-Ray, usa-se um comprimento de onda na faixa azul (daí o nome, em inglês), que é menor que o do CD e o do DVD. As lentes usadas no leitor de Blu-Ray são tais que vale a relação $d_{BR} \equiv 1,2\lambda_{BR}$.

A partir das informações da figura, conclui-se que a frequência do laser usado no leitor Blu-Ray é

- a) $3,2 \times 10^{14}$ Hz.
- b) $5,2 \times 10^{14}$ Hz.
- c) $6,2 \times 10^{14}$ Hz.
- d) $7,5 \times 10^{14}$ Hz.

2. (Unilago) A luz visível, com comprimento de onda entre 400 nm e 700 nm, constitui apenas uma pequena “janela” de todo o espectro eletromagnético. Em outros intervalos de comprimento de onda, a radiação eletromagnética recebe outros nomes. Com relação a esses nomes, considere as afirmativas a seguir.

- I. Corrente elétrica e radiação ultravioleta.
- II. Radiação beta (β) e radiação de fundo.
- III. Radiação gama (γ) e ondas de rádio.
- IV. Radiação infravermelha e raios X.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b) Somente as afirmativas I e IV são corretas.
- c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
- e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

- 3.(UFSC 2016) Os Raios X são ondas eletromagnéticas que, por suas características peculiares, começaram a ser utilizados na medicina apenas alguns meses após a sua descoberta. Hoje, suas aplicações são muito mais amplas, pois se estendem de consultórios odontológicos, nos quais são utilizados aparelhos que operam com uma tensão da ordem de 50 kV, até aeroportos.

Sobre os Raios X, é CORRETO afirmar que:

- 1. foram detectados pela primeira vez em 1895, pelo cientista alemão Röntgen, quando trabalhava com um tubo de raios catódicos.
- 2. receberam este nome porque formavam um X quando eram detectados.
- 4. como eles têm pouco poder de penetração, para que um operador de máquina de Raios X tenha proteção adequada é suficiente que fique atrás de uma fina barreira de madeira.
- 8. um dos efeitos biológicos possíveis da exposição aos Raios X é a morte celular.

16 permanecem no corpo humano, criando um efeito cumulativo, incrementado a cada nova exposição.

Soma:

4. (UFRGS) Os raios X são produzidos em tubos de vidro a vácuo, nos quais elétrons sofrem uma brusca desaceleração quando colidem contra um alvo feito de metal. Desta forma podemos dizer que os raios X constituem um feixe de:

- a) elétrons
- b) fótons
- c) prótons
- d) nêutrons
- e) pósitrons

5. Porque os raios- X não atravessa os ossos?

6. O que são radiações ionizantes e não ionizantes?

APÊNDICE F - AULA 8 : QUESTIONÁRIO FINAL

1. Durante nossas aulas, pudemos explorar mais a respeito do acelerador de partículas existente no Brasil.

a. Qual(is) ideia(s) você tinha a respeito de um acelerador de partículas antes das aulas sobre esse assunto?

b. O que você pensa/aprendeu sobre o acelerador de partículas após as aulas?

2. Inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas no acelerador de partículas brasileiro, o Sirius, trabalhos na área de fármacos, exploração da indústria petroleira, análise da estrutura da matéria são alguns exemplos. Explique a importância de desenvolver um acelerador de partículas feito por brasileiros e para brasileiros.

3. Das pesquisas citadas na questão anterior ou outras abordadas nas aulas, que são desenvolvidas no acelerador de partículas brasileiro, explique qual você identifica como determinante para o desenvolvimento tecnológico num futuro de médio prazo e justifique sua resposta.

4. No acelerador de partículas é produzida o que chamamos de radiação síncrotron. Toda radiação é prejudicial à nossa saúde? Explique e cite exemplos.

5. A tecnologia dos raios X permite que médicos vejam através dos tecidos humanos e examinem, com grande facilidade, ossos quebrados, cavidades, além de tornar possível o diagnóstico de várias doenças. O raio-X trata-se de radiação ionizante ou não ionizante? O Raio-X oferece riscos à nossa saúde? Justifique sua resposta.

6. Os raios-X são uma forma de radiação eletromagnética localizada entre a radiação ultravioleta (comprimentos de onda maiores) e os raios gama (comprimentos de onda menores) no espectro eletromagnético. Tipicamente, suas energias estão na faixa entre 100 eV e 100 keV, apesar de algumas aplicações industriais e medicinais utilizarem raios X com energias da ordem de 1 MeV. Raios X com energias de até 5 keV são chamados de raios-X moles, e com energias acima disso, de raios-X duros.

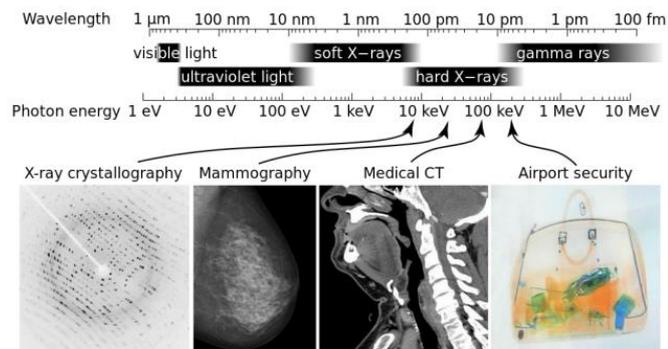
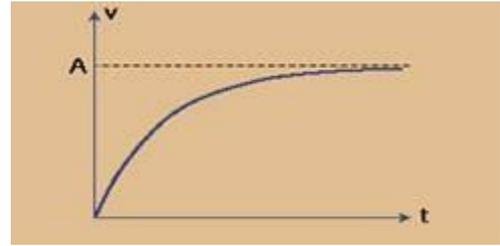


Figura 1: A localização dos raios X e subdivisões no espectro eletromagnético. Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b7/X-ray_applications.svg/1000px-X-ray_applications.svg.png.

Analisando a imagem e o que foi estudado, explique do que depende principalmente a forma com que os raios -X interagem com a matéria.

7. Aceleradores de partículas são o principal instrumento usado pelos cientistas para pesquisas em física de altas energias. No maior acelerador linear do mundo, localizado em Stanford, elétrons podem ser acelerados até uma energia da ordem de 50GeV (1 GeV =109 eV).

Com essa energia, o comprimento de onda de De Broglie associado ao elétron vale $25 \cdot 10^{-18}$ m. O gráfico representado a seguir mostra como a velocidade v do elétron varia com o tempo t nesse acelerador:



Qual é o significado físico da ordenada A mostrada no gráfico, qual constante física ela representa?

8. Uma partícula eletricamente carregada penetra, com uma dada velocidade, em uma região de campo magnético uniforme. Leia as afirmações a seguir.

- I. A trajetória da partícula será circular se sua velocidade for perpendicular à direção do campo magnético.
- II. A trajetória da partícula será sempre circular.
- III. A força magnética que age sobre a partícula não altera sua velocidade vetorial.
- IV. A força magnética que age sobre a partícula não modifica sua energia cinética.

Assinale

- A) se III e IV são incorretas.
- B) se I e III são corretas.
- C) se I e II são incorretas
- D) se I e IV são corretas.

9. O tubo de televisão possui um canhão eletrônico que faz a varredura da tela fotoluminescente numa sucessão de linhas da esquerda para a direita e de cima para baixo. Tal varredura é feita com rapidez suficiente para que nossos olhos não percebam o desaparecimento de uma linha e o surgimento de outra e, além disso, nos dê a sensação de movimento da imagem. Sobre a força responsável por esse movimento de varredura da tela de TV, é correto afirmar:



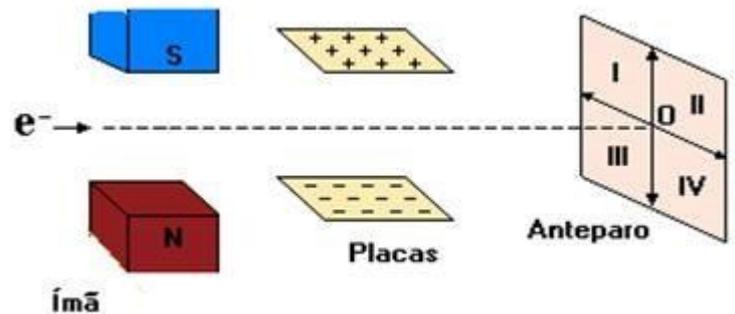
Tubo de vidro de uma televisão de tubo

- a) É uma força eletrostática que atua na direção do feixe eletrônico.
- b) É uma força magnética que atua na direção perpendicular ao feixe eletrônico.
- c) É uma força eletrofraca que atua nos neutrinos do feixe eletrônico.
- d) É uma força elétrica que atua nos neutrinos do feixe eletrônico.
- e) É uma força eletromagnética que atua nos nêutrons do feixe eletrônico.

10. Uma partícula de massa m , eletrizada com carga q , descreve uma trajetória circular com velocidade escalar constante v , sob a ação exclusiva de um campo magnético uniforme de intensidade B , cuja direção é sempre perpendicular ao plano do movimento da partícula. Nesse caso, a intensidade da força magnética que age sobre a partícula depende de:

- m e B , apenas.
- q e B , apenas.
- q , v e B , apenas.
- m , v e B , apenas.
- m , q , v e B .

11. Um feixe de elétrons passa inicialmente entre os polos de um ímã e, a seguir, entre duas placas paralelas, carregadas com cargas de sinais contrários, dispostos conforme a figura a seguir. Na ausência do ímã e das placas, o feixe de elétrons atinge o ponto O do anteparo.



Em virtude das opções dos campos magnético e elétrico, pode-se concluir que o feixe

- passará a atingir a região I do anteparo.
- passará a atingir a região II do anteparo.
- passará a atingir a região III do anteparo.
- passará a atingir a região IV do anteparo.
- continuará a atingir o ponto O do anteparo.



ANEXO 1



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências
e Matemática**

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PESQUISA NA
ÁREA DE EDUCAÇÃO DESTINADO AOS RESPONSÁVEIS POR ALUNOS DA
EDUCAÇÃO BÁSICA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UBERLÂNDIA - MINAS GERAIS

Título do Projeto: “*Estudo da Interação da Radiação com a Matéria através da Divulgação do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron*”

Pesquisadoras responsáveis: Profa. Dra. Débora Coimbra

e-mail: debora.coimbra@ufu.br / fones: (34) 99206-1481

Mestranda: Laís Estevão Moraes de Oliveira

e-mail: lais.moraes@ufu.br / fone: (15) 99680-7009

1. Esta seção fornece informações acerca do estudo em que seu (sua) filho(a) estará participando:

Seu (sua) filho(a) está sendo convidado(a) a participar em uma pesquisa que visa analisar de que maneira os adolescentes se organizam para resolver problemas em Física, a partir da utilização de diversas estratégias didáticas diferentes (discussões entre os estudantes, realização experimentos didáticos e virtuais, resolução de problemas, utilização de *softwares* didáticos e leitura de textos de divulgação científica). Os resultados deste estudo poderão contribuir para que professores aprimorem suas atividades em sala de aula, colaborando para a aprendizagem dos estudantes e de docentes em formação.

Em caso de dúvida, você pode entrar em contato com os pesquisadores responsáveis através dos telefones e endereços eletrônicos fornecidos nesse termo.

Os procedimentos de pesquisa, caso haja consentimento dos envolvidos, estarão ligados à:

- coleta e reprodução de tarefas realizadas nas aulas de Física;

Na comunicação de resultados da pesquisa, os nomes do professor e dos alunos serão retirados de todos os trabalhos e substituídos por nomes fictícios. Os pesquisadores se comprometem, ainda, a utilizar os dados aqui coletados apenas para fins desta pesquisa ou de outras, com propósitos semelhantes e com os mesmos cuidados éticos na preservação da identidade dos envolvidos.

2. Esta seção descreve os direitos de seu (sua) filho(a) como participante desta pesquisa:

Você e seu (sua) filho(a) podem fazer perguntas sobre a pesquisa a qualquer momento e todas as questões serão respondidas.

A participação é confidencial. Apenas os pesquisadores responsáveis terão acesso à sua identidade. No caso de haver publicações ou apresentações relacionadas à pesquisa, nenhuma informação que permita a identificação será revelada.

A participação de seu (sua) filho(a) é voluntária e a não participação na pesquisa (ou seja, a não utilização das tarefas escritas reproduzidas) não é passível de qualquer punição.

Este estudo não envolve qualquer risco à saúde mental ou física das pessoas e não irá interferir, senão positivamente, na qualidade do ensino e na atenção, a elas dispensada, em sala de aula.

É garantido ao participante da pesquisa ou ao seu representante legal o recebimento de indenização por danos morais e/ou materiais decorrentes direta ou indiretamente da participação nesta pesquisa.

3. Esta seção indica que você está dando seu consentimento para que seu (sua) filho(a) participe da pesquisa:

Responsável pelo(a) participante:

A pesquisadora Prof. Débora Coimbra do PPGECM/UFU solicitou a minha participação neste estudo intitulado “*Estudo da Interação da Radiação com a Matéria através da Divulgação do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron*”.

Eu concordo que meu(minha) filho(a) participe desta investigação, autorizo a utilização de trabalhos produzidos em aulas de Física.

Estou ciente, ainda, de que os registros farão parte de um banco de dados que poderão ser utilizados em outras pesquisas do grupo do qual os pesquisadores fazem parte, para estudo e compreensão de processos de ensino e aprendizagem em ciências.

Eu li e compreendi as informações fornecidas. Eu entendi e concordo com as condições do estudo como descritas. Eu entendo que este documento foi redigido em duas vias idênticas e que receberei uma cópia assinada deste formulário de consentimento.

Eu, voluntariamente, aceito que meu(minha) filho(a) participe desta pesquisa. Portanto, concordo com tudo que está escrito neste documento e dou meu consentimento.

Uberlândia, _____ de outubro de 2022.

Assinatura do(a) aluno(a):

Nome legível do responsável pelo(a) aluno(a):

Assinatura do responsável pelo(a) aluno(a):

Pesquisadora: Prof.a Dra Débora Coimbra

Uberlândia, 18 de outubro de 2022.

Assinatura do Pesquisador



SIRIUS: A LUZ DA CIÊNCIA BRASILERA

LAIS ESTEVÃO MORAES
DÉBORA COIMBRA

Título: Sirius: A luz da Ciência Brasileira

**Edição de texto: Laís Estevão Moraes e Débora
Coimbra**

Revisão: Débora Coimbra

Revisão Gramatical: Scarlett Sarah A. Arcanjo

Diagramação: Scarlett Sarah A. Arcanjo

Imagem da Capa: Carlos Eduardo de Moura Luz

SUMÁRIO

1. Ímãs

2. Campo magnético

3. Força magnética

4. Exercícios de aplicação: força e energia magnéticas

5. Uma máquina que nos permite enxergar: o Síncrotron

6. Espectros eletromagnéticos: Raio-X, como o enxergamos?

7. O Sirius

8. Questionário final

9. Bibliografia

APRESENTAÇÃO

A tecnologia é uma realidade recorrente na vida dos jovens, e é uma forte aliada para tornar as tarefas cotidianas mais simples, rápidas e eficientes. A Física Moderna e Contemporânea é responsável pelo desenvolvimento de muitas dessas tecnologias, como fornos micro-ondas, termômetro infravermelho, lasers, exame de raio-x, leitores de códigos de barras e *QR codes*.

De acordo com a Base Nacional Curricular Comum (BNCC), a física dos primórdios do século XX não está acessível na educação básica, pela forma atual de se pensar os currículos, pela formação inicial docente que é engessada em nível nacional e pela oferta escassa de ferramentas para o desenvolvimento do trabalho do professor, que de tão raras são designadas inovações curriculares. Amplos são os clamores na literatura especializada pelo desenvolvimento de instrumentos didáticos bem fundamentados, que contribuam para aproximar os conteúdos vistos em salas de aula com esses temas mais atuais, de forma a facilitar e engajar professoras/es e alunas/os.

Durante a trajetória no curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM), que visa a inserção da educação científica e tecnológica em todos os espaços da educação formal e não formal e que busca desenvolvimento de ações sistemáticas de modo a proporcionar condições para abordagem diferentes temas, projetos e produtos educacionais, desenvolvemos uma sequência didática. Articulando conceitos eletromagnéticos, essa foi pensada tendo o acelerador de partículas Sirius e as pesquisas desenvolvidas em seu laboratório correlato como cenário.

O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) abrigou a primeira fonte de luz síncrotron do Brasil, chamada UVX, no período entre 1997 e 2019, atualmente é o responsável pela operação do Sirius, inaugurado em 2018. Trata-se de um acelerador de partículas de quarta geração, acelerando elétrons a uma velocidade muito próxima à da luz. As pesquisas são variadas, desde a observação de

combustíveis fósseis armazenados no espaço poroso de rochas carbonáticas (linha de luz de micro e nanotomografia de raio-X), até pesquisas pioneiras na área da agricultura com o desenvolvimento de sensores, que possibilitam o monitoramento da quantidade de água e nutrientes no solo, tecnologia voltada ao plantio de soja e cana de açúcar.

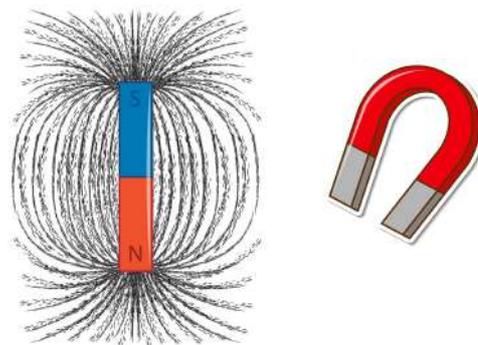
Nossa sequência didática foi desenvolvida em conformidade à metodologia de pesquisa baseada em design, que consiste no desenho, aplicação, redesenho e então validação das atividades. Esse ebook é a sistematização do redesenho e esse processo todo foi relatado na dissertação de mestrado intitulada INTERAÇÃO RADIAÇÃO MATÉRIA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O SIRIUS. A aplicação foi realizada inicialmente junto a trinta alunos e posteriormente com grupo distinto de trinta e um estudantes no contra turno, ao longo das aulas do itinerário formativo de uma escola particular de Uberlândia-MG.

Considerando o Sirius um espaço no qual as aplicações da Física Moderna e Contemporânea são pujantes, acreditamos que esse material pode subsidiar diversas atividades, podendo ser utilizado integral ou parcialmente de acordo com as necessidades do/a professor/a. Se preciso, o docente poderá realizar adaptações do material, adequando-o quando necessário em função das diferentes contingências de sua realidade escolar.

As autoras

1. Ímãs

1. Para começo de conversa ...



Você já assistiu ao filme X-Men?

Ian McKellen em X-Men: O Confronto Final (2006)

O poder do super Vilão Magneto permite que ele possua controle sobre os campos magnéticos e funcione, essencialmente, como um “ímã” vivo, seja atraindo ou repelindo elementos afetados por esses campos.



Disponível em: <https://acesse.dev/magneto>

2. Explorando a atração dos ímãs pelos materiais

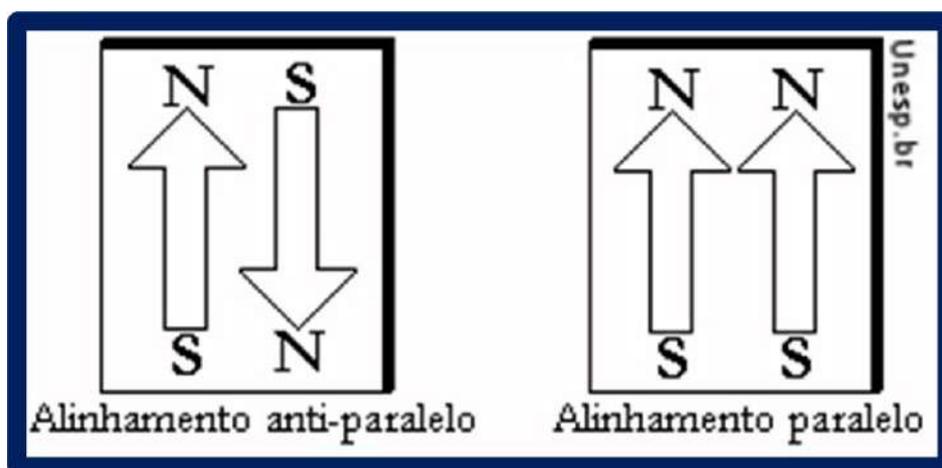


Utilize o ímã fornecido pelo professor e explore os materiais presentes na sala de aula.

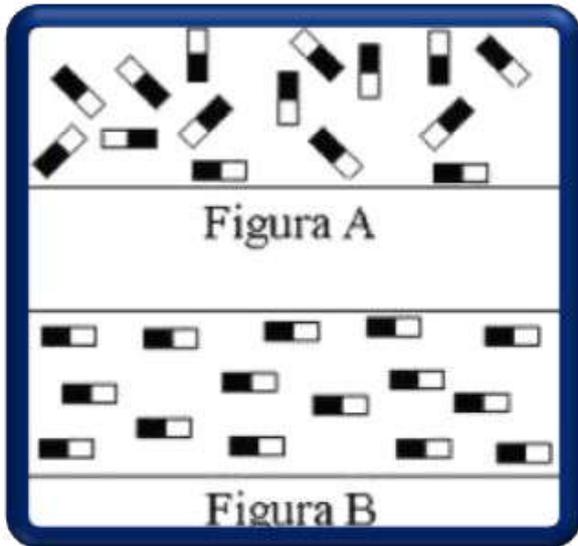
- Qual ou quais dos materiais disponíveis na sala de aula são atraídos pelo ímã?

- ❖ Se um ímã natural possui propriedades magnéticas, então todos os materiais que ele atrair ou repelir também terão propriedades magnéticas.
- ❖ Essas propriedades têm sua origem nos átomos, pois quase todos os átomos são dipolos magnéticos naturais e podem ser considerados como pequenos ímãs, com polos norte e sul.

É a interação entre os átomos que determina como os dipolos magnéticos estarão alinhados. Sabe-se que dois dipolos próximos e de igual intensidade anulam seus efeitos se estiverem alinhados antiparalelamente, e somam seus efeitos se estiverem alinhados paralelamente.



- **Propriedades importantes:**



- Se sob quaisquer condições os dipolos permanecem desalinhados, o material é considerado não-magnético.

- Se os dipolos permanecem alinhados, o material é dito ferromagnético ou ímã permanente.

- **O que ocorre no espaço entre o ímã e o objeto?**

Os domínios magnéticos se caracterizam pelo alinhamento cooperativo entre os momentos de dipolo magnético atômicos em todo seu volume. Os dipolos somente se alinham na presença de um outro ímã em três os casos:

Diamagnéticos

São materiais que, se colocados na presença de um campo magnético externo, estabelecem em seus átomos um campo magnético em sentido contrário ao que foi submetido, mas que desaparece assim que o campo externo é removido. Em razão desse comportamento, esse tipo de material não é atraído por ímãs. São exemplos: mercúrio, ouro, bismuto, chumbo, prata etc.

Paramagnéticos

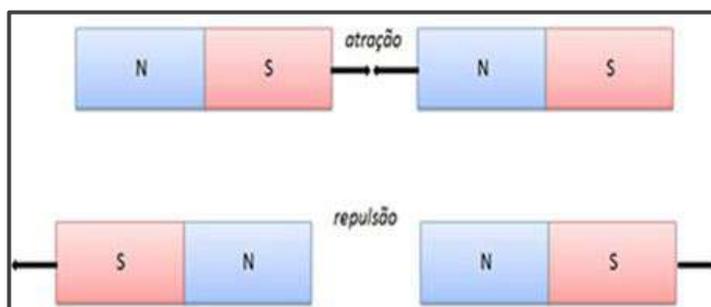
Pertencem a esse grupo os materiais que possuem elétrons desemparelhados, que, ao serem submetidos a um campo magnético externo, ficam alinhados no mesmo sentido do campo ao qual foram submetidos, que desaparece assim que o campo externo é retirado. São objetos fracamente atraídos pelos ímãs, como: alumínio, sódio, magnésio, cálcio etc.

Ferromagnéticos

Quando esses materiais são submetidos a um campo magnético externo, adquirem campo magnético no mesmo sentido do campo ao qual foram submetidos, que permanece quando o material é removido. É como se possuíssem uma memória magnética. Eles são fortemente atraídos pelos ímãs, e esse comportamento é observado em poucas substâncias, entre elas estão: ferro, níquel, cobalto e alguns de seus compostos.

3. Determinando os pólos de um ímã

Todo ímã apresenta duas regiões distintas, em que a influência magnética se manifesta com maior intensidade. Essas regiões são chamadas de polos do ímã. Esses polos possuem comportamentos diferentes na presença de outros ímãs, e são denominados Norte (N) e Sul (S).



Disponível em: <https://encurtador.com.br/dzTX3>



- ❖ *Existe monopolo magnético, um ímã com apenas um polo?*
- ❖ *Ainda que quebrems um ímã ele ainda continuará tendo um polo Sul e um polo Norte?*

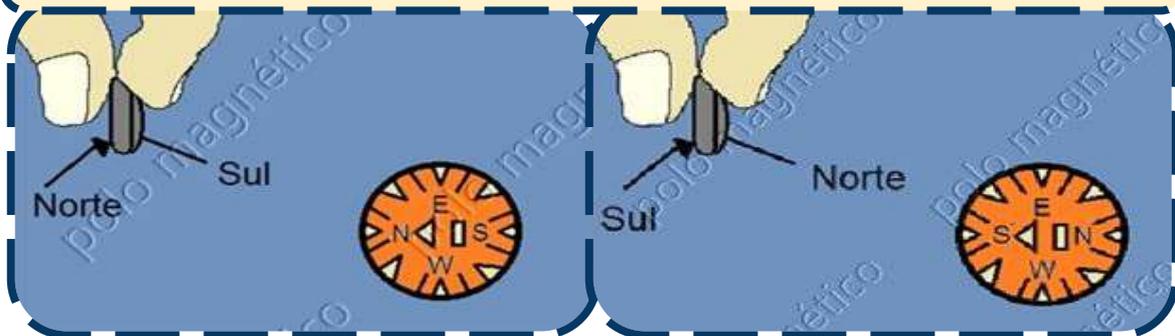


Inseparabilidade dos polos magnéticos

4. Experimentação:

- 1 Bússola
- 1 ímã

Aproximar as extremidades dos ímãs da bússola e analisar o seu comportamento.



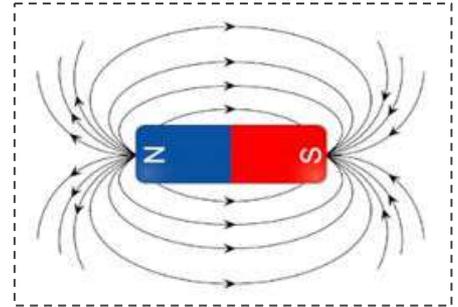
Note que a bússola varia à medida que aproximamos as extremidades diferentes do ímã, ou seja, quando a bússola apontar o polo sul para o ímã aquela extremidade do ímã será o polo norte e quando a bússola apontar o polo norte para o ímã aquela extremidade do ímã será o polo Sul.

Linhas de campo magnético

É possível enxergarmos as linhas de campo de um ímã?

O campo magnético é representado com linhas, para facilitar seu estudo. Essas linhas, por convenção, seguem uma direção: saem do polo norte e entram no polo sul. Cada ponto que constrói essa linha possui um módulo (valor), uma direção e um sentido. Essas linhas não se cruzam.

Linhas de campo magnético saindo do polo norte e entrando no polo sul em um ímã.



Disponível em:
<https://acesse.one/cam/pomagnetico>

O campo magnético distorce o espaço, portanto nesses pontos o campo pode ser identificado ou interagir com cargas em movimento, no qual as cargas elétricas sofrem interferência de forças. Ele é representado por linhas e é uma grandeza vetorial (possui intensidade, direção e sentido).

Experimentação:

- 1 ímã
- 1 Folha de papel
- Limalha de ferro.

Ao colocar o ímã embaixo da folha de papel e espalhar limalha de ferro por cima, nota-se uma curvatura na limalha de ferro que corresponde às linhas campo magnético.

Indicação de Vídeo:

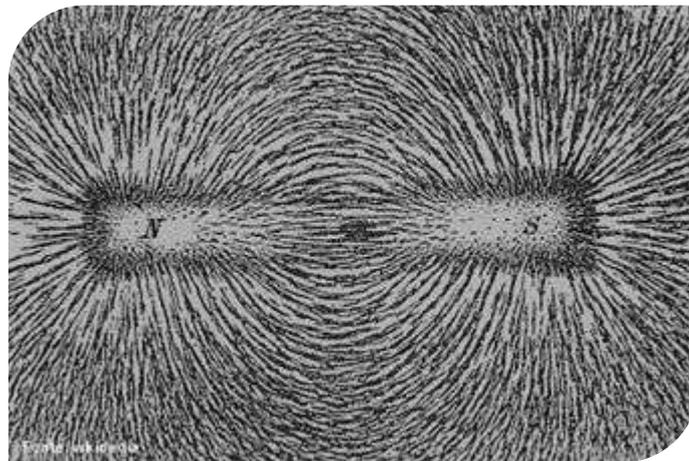
Como é feito um ímã? Disponível no Canal Manual do mundo.
Link: <https://www.youtube.com/watch?v=jCL2dLh5MME>



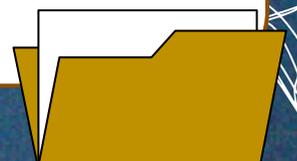
Material de apoio à/ao professora/professor:

- É aconselhável que durante essa aula, além de ímãs o professor leve outros objetos de diferentes materiais como: alumínio, plástico, cobre.
- Materiais como bússola, agulha e ímãs podem ser pedidos previamente às/aos estudantes.
- Após a experimentação, a limalha de ferro representará as linhas de campo conforme a imagem abaixo:

Representação das linhas de campo magnético



Disponível em:<https://acesse.dev/4xLN7>



2. Campo Magnético

1. Para começo de conversa ...

Você já ouviu falar ou já viu Aurora Boreal?

Trata-se de um fenômeno óptico que colore os céus nas regiões polares.

As auroras boreais são consequência da ação magnetosfera sobre as partículas solares. Elas aparecem quando os ventos solares entram em contato com o campo magnético terrestre.

Mas afinal, como as auroras boreais se formam? O que é o campo magnético tem a ver com as formação das auroras boreais?

Aurora Boreal



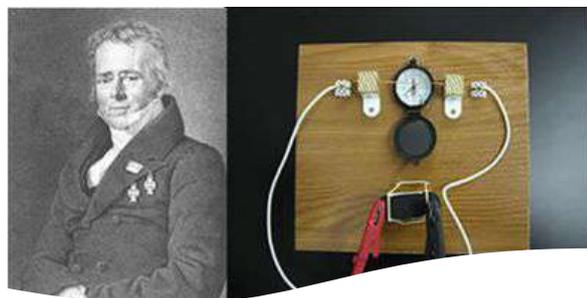
Disponível em: <https://abrir.link/WKxBt>

Mas afinal, como as auroras boreais se formam? O que é o campo magnético tem a ver com as formação das auroras boreais?

2. Campo Magnético e Corrente elétrica

Em 1820 Hans C. Oersted, percebeu que uma corrente elétrica ao percorrer um fio condutor, gera em torno dele um campo magnético

Hans Oersted e o seu experimento



Disponível em: <https://acesse.one/linkimagem3>

3. Sugestão didática: Simulador Phet.

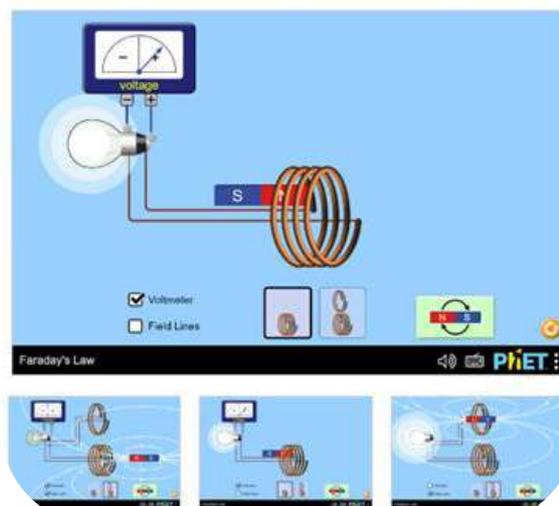
Em 1821, atraído pelo trabalho de Oersted, Faraday verificou, invertendo a experiência do físico dinamarquês, que os magnetos exercem ação mecânica sobre os condutores percorridos pela corrente elétrica. Foi graças a essa conclusão que Faraday criou o primeiro motor eletromagnético.

Faraday percebeu que, quando a bateria era ligada ou desligada, formava-se uma corrente no galvanômetro, no entanto, essa corrente cessava e só voltava a surgir quando a bateria era conectada ou desconectada. Faraday realizou diferentes experimentos, em um deles descobriu que, quando se move um ímã em direção a uma bobina condutora (também conhecida como solenoide), uma corrente elétrica percorre-a. Ele havia descoberto o princípio da indução eletromagnética.

O surgimento ou a interrupção da corrente elétrica fazia o ponteiro do galvanômetro mover-se.

Michael Faraday havia descoberto que a movimentação relativa entre um ímã e uma bobina era capaz de produzir uma corrente elétrica, Simulações da Lei de Faraday podem ser visualizadas através do Simulador interativo Phet disponível em:
<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/faradays-law>

Experimentação lei de Faraday Lei de Faraday

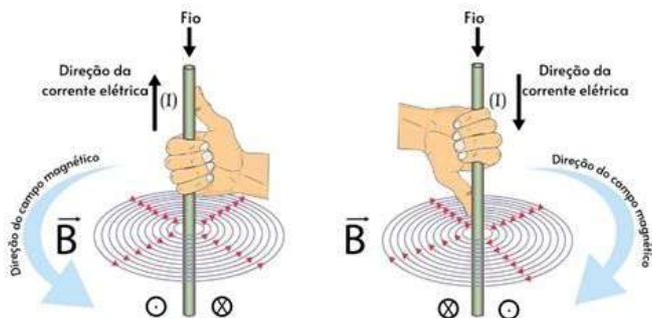


Disponível em: <https://acesse.dev/linkimagem2>

4. Vetor Campo Magnético \vec{B}

Observe a figura abaixo:

Representação da Regra da mão direita



O polegar está indicando o sentido da corrente elétrica que está atravessando o fio, enquanto os demais dedos estão dobrados envolvendo o condutor em uma região onde seria colocada a bússola. Observamos aqui que os dedos indicam o giro do polo norte da agulha da bússola.

Disponível em:

<https://brainly.com.br/tarefa/54296105>

Para calcularmos a intensidade do campo magnético produzido por um fio condutor, atravessado por uma corrente elétrica, utilizamos:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi d}$$

B – campo magnético (T)

μ_0 – permeabilidade magnética do vácuo ($4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A)

i – corrente elétrica (A)

d – distância do ponto até o fio (m)

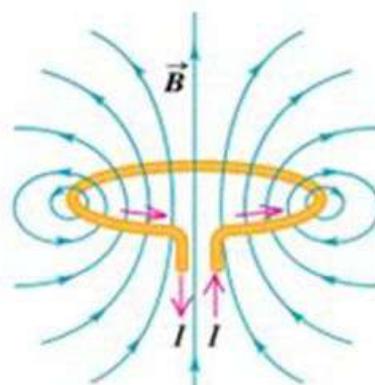
Campo magnético gerado por uma espira circular

O campo magnético gerado por uma espira circular pode ser calculado por:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2R}$$

R – raio da espira (m)

Campo magnético na espira circular



Disponível em:

<https://acesse.one/linkimagem1>

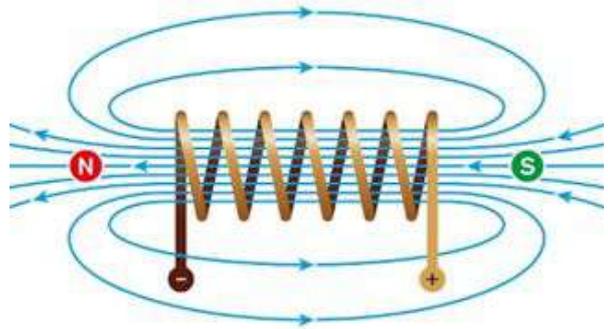
Campo magnético gerado por uma bobina

Bobinas são formadas por um conjunto de espiras condutoras. O cálculo do campo magnético produzido por uma bobina é bastante similar àquele feito para as espiras. Nesse caso, a diferença fica com o inteiro n – o número de espiras que forma a bobina:

$$B = \frac{n\mu_0 i}{2R}$$

n - número de espiras

Campo magnético gerado por uma espira circular



Disponível em: <https://acesse.one/linkimagem>

E a Aurora Boreal?

As auroras boreais são consequência da ação da magnetosfera sobre as partículas solares, elas aparecem quando os ventos solares entram em contato com o campo magnético terrestre. As luzes vistas são a concretização do fenômeno "carga acelerada irradia".

Campo magnético responsável pela formação da Aurora Boreal



Disponível em: <https://acesse.dev/linkimagem4>

As auroras polares ocorrem somente nas áreas de elevada latitude em razão da força do campo magnético da Terra. O que acontece é que os ventos solares carregados de elétrons movem-se a cerca de 1,6 milhões de km/h e, quando chegam ao nosso planeta, acabam sendo facilmente guiados pela força magnética gerada pelo núcleo terrestre, seguindo para as áreas polares.

Aplicações do uso de um ímã e Campo Magnético

Graças aos nossos ouvidos conseguimos ouvir sons produzidos por diversos dispositivos como buzinas, campainhas, alto-falantes, etc.

Os alto-falantes hoje estão em diversos aparelhos eletrônicos, sendo muito utilizados para incrementar carros de sons (figura).

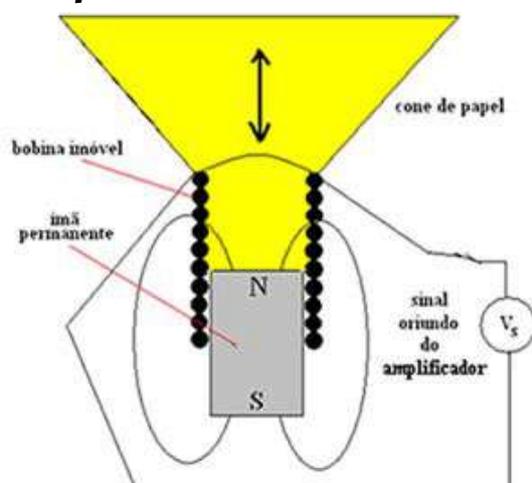
Alto falante



Disponível em:
<https://encr.pw/linkaltofalante>

Os alto-falantes funcionam a partir da conversão de energia elétrica em energia mecânica (movimento).

Componentes de um alto falante



Quando uma corrente elétrica é enviada através de uma bobina de fio, um campo magnético é induzido. Em alto-falantes, uma corrente é enviada através de uma bobina que produzindo um campo elétrico que interage com o campo magnético do ímã permanente existente no interior do alto-falante.

Disponível em: <https://l1nk.dev/linkaltofalante1>

Cargas iguais se repelem e cargas diferentes se atraem. Quando um sinal de áudio é enviado através de uma bobina e a forma de onda musical se move para baixo a para cima, a bobina é atraída e repelida pelo ímã permanente.

Isso faz com que o cone ao qual a bobina está anexa mova-se para frente e para trás. Esse movimento cria ondas de pressão no ar que ***nós percebemos como som.***



Exercícios

1.UFB- Há três barras, AB, CD e EF, aparentemente idênticas. Experimentalmente, constata-se que:



- I – A extremidade A atrai a extremidade D;**
- II – A atrai a extremidade C;**
- III – D repele a extremidade E.**

Então:

- a) AB, CD e EF são ímãs.
- b) AB é ímã, CD e EF são de ferro.
- c) AB é de ferro, CD e EF são ímãs.
- d) AB e CD são de ferro, EF é ímã.
- e) CD é ímã, AB e EF são de ferro.

2. ITA - Um pedaço de ferro é posto nas proximidades de um ímã, conforme o esquema abaixo.

Qual é a única afirmação correta relativa à situação em apreço?

- a) É o ímã que atrai o ferro.
- b) É o ferro que atrai o ímã.
- c) A atração do ferro pelo ímã é mais intensa do que a atração do ímã pelo ferro.
- d) A atração do ímã pelo ferro é mais intensa do que a atração do ferro pelo ímã.
- e) A atração do ferro pelo ímã é igual à atração do ímã pelo ferro.

3. As bússolas são dispositivos usados ao longo dos séculos para facilitar a navegação. Assinale a alternativa correta em relação às bússolas.

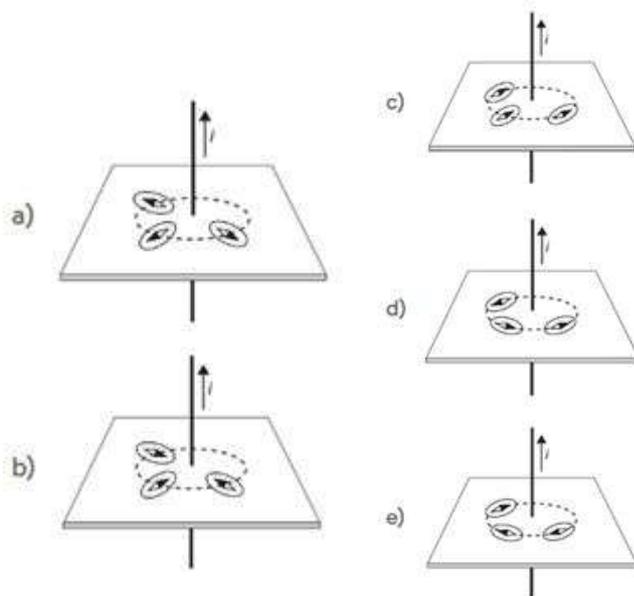
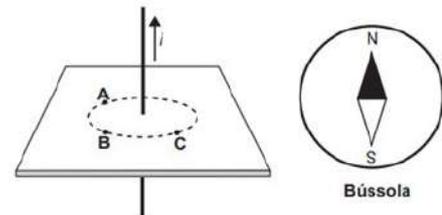
- a) As bússolas são pequenos ímãs que se orientam de acordo com o campo elétrico da Terra.
- b) As bússolas são capazes de apontar na direção exata do Norte geográfico.
- c) As bússolas são úteis em qualquer região do planeta Terra.
- d) As bússolas são agulhas magnetizadas que se alinham de acordo com o campo magnético da Terra.

4. (UFRGS) O primário de um transformador alimentado por uma corrente elétrica alternada tem mais espiras do que o secundário. Nesse caso, comparado com o primário, no secundário:

- a) a diferença de potencial é a mesma e a corrente elétrica é contínua
- b) a diferença de potencial é a mesma e a corrente elétrica é alternada
- c) a diferença de potencial é menor e a corrente elétrica é alternada
- d) a diferença de potencial é maior e a corrente elétrica é alternada
- e) a diferença de potencial é maior e a corrente elétrica é contínua

5. ENEM 2022- O físico Hans C. Oersted observou que um fio transportando corrente elétrica produz um campo magnético. A presença do campo magnético foi verificada ao aproximar uma bússola de um fio conduzindo corrente elétrica.

A figura ilustra um fio percorrido por uma corrente elétrica i , constante e com sentido para Cima. Os pontos A, B e C estão num plano transversal e equidistantes do fio. Em cada ponto foi colocada uma bússola.



Considerando apenas o campo magnético por causa da corrente i , as respectivas configurações das bússolas nos pontos **A**, **B** e **C** serão:



Material de apoio à/ao professora/professor:

Você pode sugerir à/ao estudante trazer altos falantes, caso tenha algum em casa.

O/A professor/a pode ter fácil acesso a ímãs de HD em locais que descartam lixo eletrônico

Gabarito:

1. Letra A

Para resolver essa questão, precisamos lembrar que os ímãs atraem o ferro, independentemente de qual polarização esteja mais próxima dele. No entanto, polos iguais do ímã repelem-se mutuamente. Portanto, as barras CD e EF são ímãs, já que elas se repelem, enquanto a barra A é somente atraída pelas duas extremidades da barra CD, tratando-se, dessa forma, de uma barra de ferro.

2. Letra E

Segundo a Terceira Lei de Newton, conhecida como Lei da Ação e Reação, quando um corpo exerce uma força sobre outro corpo, surge entre eles uma força de reação, de mesmo módulo e direção, mas de sentido contrário. Logo, as forças exercidas sobre o ímã e o pedaço de ferro são iguais, mas com sentidos opostos. Dessa forma, a alternativa correta é a letra E.

3. Letra D

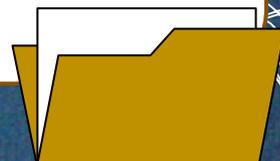
O campo magnético da Terra faz com que as agulhas magnetizadas no interior das bússolas alinhem-se e indiquem a direção Norte ou Sul.

4. Letra C

O enrolamento primário do transformador possui mais espiras do que o secundário, sendo assim, o transformador é um rebaixador de tensão, ou seja, a tensão é menor no enrolamento secundário do transformador

5. Letra D

Utilizando a regra da mão direita, podemos identificar como o sentido da corrente elétrica interfere no sentido do campo magnético gerado nas redondezas do fio retilíneo. Para uma corrente com sentido para cima, o campo magnético circular em volta do fio tem sentido anti-horário. Como a bússola segue com o seu polo Norte acompanhando o sentido do vetor campo magnético, a alternativa de demonstrar o sentido anti-horário está na letra [D].



3. Força Magnética



1. Para começo de conversa ...



- ❖ *Imagine-se num dia de muito calor, logo vem à sua mente ligar um ventilador, não é mesmo? Ou para subir lugares muito altos, você imagina haver um elevador para ajudá-lo a dispensar as escadas?*
- ❖ *Dentre tantas aplicações dos motores elétricos presentes no nosso dia-a-dia, você já se perguntou como eles funcionam?*
- ❖ *Para isso precisamos estudar a Força Magnética, em física, a Força magnética (F_m), também chamada de Força de Lorentz, representa a força de atração e/ou repulsão exercida pelos ímãs ou objetos magnéticos.*

2. Força Magnética

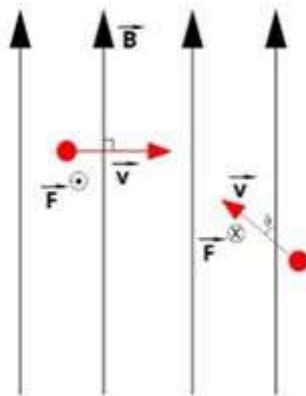
A equação que descreve a força magnética em um ponto carregado que se move em um campo magnético é dada pela Lei de Lorentz:

$$F = q.v.B.\text{sen}(\theta)$$



Para que essa força seja medida em Newtons (N), o módulo da carga líquida (q) do corpo, ou seja, a carga em excesso ou falta, deve ser dado em Coulombs; a velocidade da partícula (v) em relação ao campo magnético deve ser dada em m/s; o ângulo (θ) formado entre a velocidade (v) e o campo magnético (B), em Tesla (T), deve ser dado em graus ($^\circ$).

Observe a figura para entender melhor essa relação:



Vetores representando a força magnética

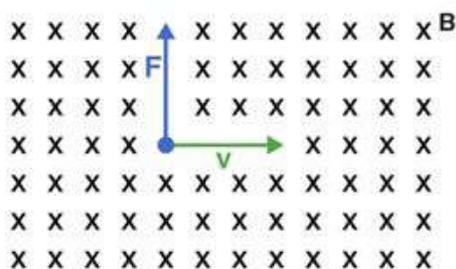
Na figura acima, temos duas partículas carregadas (em vermelho) deslocando-se com velocidade v em uma região onde o campo magnético é constante e vertical para cima. O sentido da força magnética depende da regra da mão direita. Além disso, se ela estiver “saindo” do plano do papel, usamos um círculo com um ponto no centro; se ela estiver “entrando” no plano do papel, usamos um círculo com um “X” no centro.

Para relacionar o campo magnético, o sentido do deslocamento do corpo e a força magnética, utiliza-se a regra da mão esquerda.

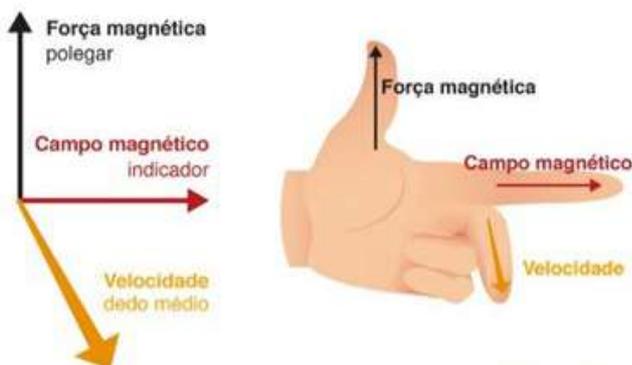
Utiliza-se a regra da mão esquerda para designar as devidas direções e sentidos na análise da força magnética de um corpo carregado positivamente. Nessa regra, o dedo médio representa a velocidade, o dedo indicador representa o campo magnético e o polegar representa a força magnética.

Regra da mão esquerda:

A imagem a seguir é a representação da força magnética, velocidade do corpo e campo magnético seguindo a regra da mão esquerda.



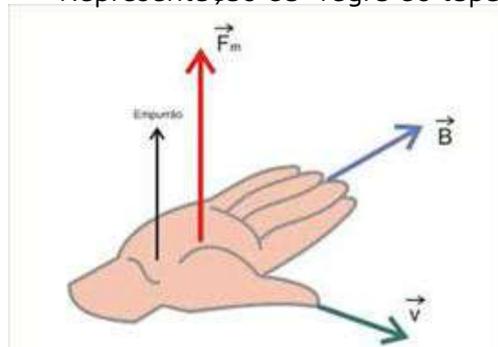
Campo entrando na folha, força para cima e velocidade para a direita. Na figura anterior, o campo magnético (B) está entrando na folha, e a velocidade (v) está para a direita. Logo, a força estará para cima, seguindo a regra da mão esquerda — lembrando que a carga é positiva. Caso a carga for negativa, deve-se inverter o sentido do componente calculado. Isso não implica inverter o sentido de todos os componentes, mas apenas do componente procurado.



Regra da mão direita ou regra do tapa:

Usamos a "regra do tapa" quando tratamos da força magnética sobre um condutor que está sendo percorrido por corrente elétrica. Considerando a mão direita, o polegar representa o sentido da corrente elétrica, os demais dedos unidos representam o sentido do campo magnético e a palma da mão representa o sentido da força.

Representação da "regra do tapa"



Disponível em: <https://encr.pw/pbYtA>

Força de Lorentz

Quando determinada carga q fica sob ação de um campo elétrico e é inserida perpendicularmente a um campo magnético, é possível que haja superposição entre os campos e que ocorra a combinação entre a força magnética e a força elétrica.

$$F_{el} = q \cdot E$$

$$F_{mag} = q \cdot v \cdot B \text{ (para } \sin a = \sin 90^\circ = 1)$$

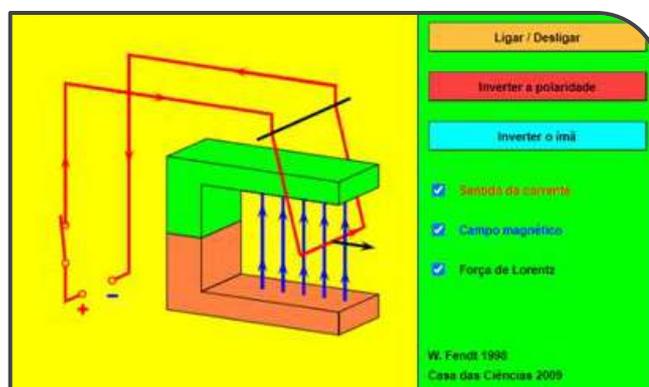
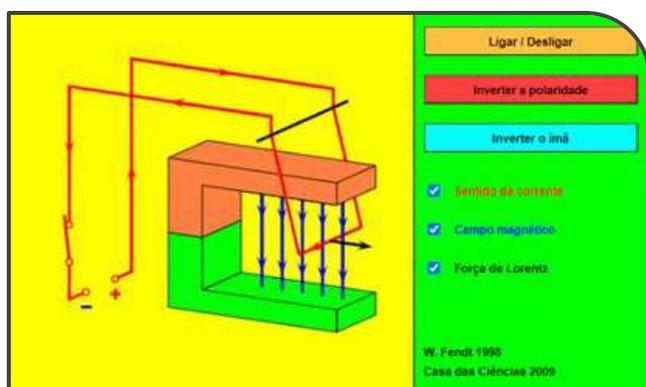
$$F_{Lorentz} = F_{el} + F_{mag} = q \cdot E + q \cdot v \cdot B$$

$$F_{Lorentz} = q(E + v \cdot B)$$

3. Sugestão didática: Simulador Water Fendt

https://www.walter-fendt.de/html5/phpt/lorentzforce_pt.htm

Representação da força magnética por simulador Water Fendt

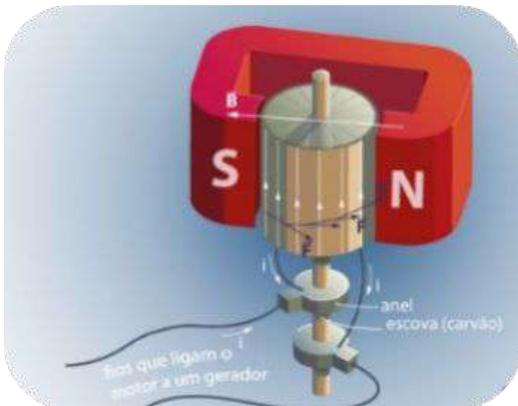


Disponível em: <https://encr.pw/IA826>

Como funciona o motor elétrico?

O motor elétrico funciona por meio dos dois princípios fundamentais do eletromagnetismo: o princípio que os campos magnéticos possuem mesma polaridade se repelem e a princípio que cargas elétricas em movimento (corrente elétrica) criam um campo magnético.

Representação de um motor elétrico (corrente elétrica) conseguem criar um campo magnético.



Disponível em: <https://acesse.one/Hv4SS>

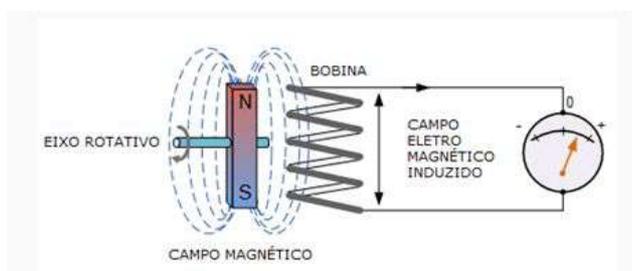
Quando ligamos o aparelho elétrico na tomada, ele passa a ser percorrido por uma corrente elétrica que energiza as escovas e bobinas do estator, gerando um campo magnético de igual polaridade àquela dos ímãs fixados no interior da sua carcaça, fazendo o motor elétrico rotacionar e, conseqüentemente, gerar energia mecânica.

4. Energia Magnética

Lei de Faraday, também conhecida como lei da indução eletromagnética, afirma que a variação no fluxo de campo magnético através de materiais condutores induz o surgimento de uma corrente elétrica..

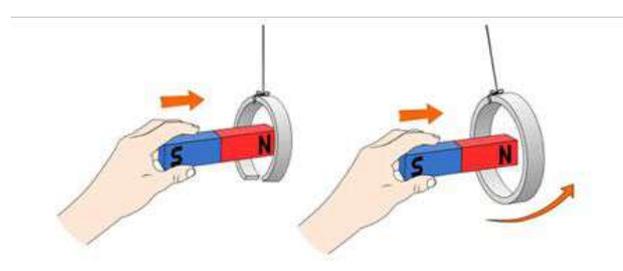
A lei de Lenz considerou que o sentido da corrente elétrica induzida nos condutores fosse tal que o campo magnético gerado por essa corrente opõe-se à variação do fluxo magnético.

Campo elétrico magnético



Disponível em: <https://acesse.dev/LSyRK>

Lei de Lenz



Disponível em: <https://l1nk.dev/saaaG>

Pega essa dica!

Construindo um trem magnético caseiro – Disponível no canal manual do mundo.

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=eTjrWF8sOHw>

Experimentação: Lei de Lenz

- *Imã de neodímio (de preferência esférico)*
- *Esfera de alumínio*
- *Tubo de cobre, cujo diâmetro comporte a espessura da esfera.*

A experiência pode ser observada em:

<https://www.youtube.com/watch?v=keMpUaoA3Tg&t=12s>



❖ ***O que ocorre quando passamos o ímã por dentro do tubo de cobre? Quais as explicações possíveis? Explique sua resposta.***

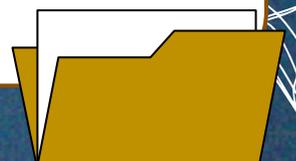


Material de apoio à/ao professora/professor:

Explicação do experimento: “Comprovando a Lei de Lenz”

O cobre interfere no campo magnético do ímã. Ao inserir o ímã de neodímio dentro de um material não magnético e condutor de eletricidade, o ímã induz uma corrente elétrica no metal.

A corrente elétrica gera um campo magnético próprio, logo, os dois campos (corrente elétrica e ímã) se opõem, resultando na diminuição da velocidade da queda do ímã.



4. Força e Energia Magnética

Exercícios

1. (MED – Itajubá) A respeito de carga elétrica, campo magnético e força magnética analise as sentenças abaixo:

- I. Uma carga elétrica submetida a um campo magnético sofre sempre a ação de uma força magnética.
- II. Uma carga elétrica submetida a um campo elétrico sofre sempre a ação de uma força elétrica.
- III. A força magnética que atua sobre uma carga elétrica em movimento dentro de um campo magnético é sempre perpendicular à velocidade da carga.

Aponte abaixo a opção correta:

- a) Somente I está correta.
- b) Somente II está correta.
- c) Somente III está correta.
- d) II e III estão corretas.
- e) Todas estão corretas.

2. (UFU) Uma carga q movendo-se com velocidade v imersa em um campo magnético B está sujeita a uma força magnética F_{mag} . Se v não é paralela a B , marque a alternativa que apresenta as características corretas da força magnética F_{mag} .

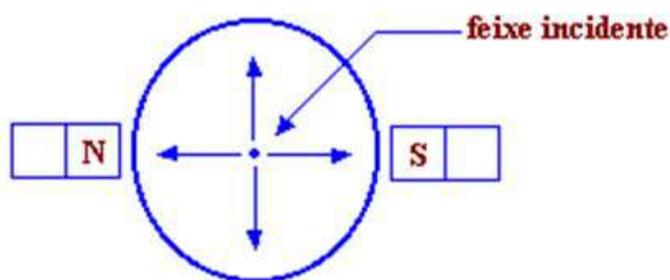
- A) O trabalho realizado por F_{mag} sobre q é nulo, pois F_{mag} é perpendicular ao plano formado por v e B .
- B) O trabalho realizado por F_{mag} sobre q é proporcional a v e B , pois F_{mag} é perpendicular a v .
- C) O valor de F_{mag} não depende de v , somente de B , portanto F_{mag} não realiza trabalho algum sobre q .
- D) O valor de F_{mag} é proporcional a v e B , sendo paralela a v , portanto o trabalho realizado por F_{mag} sobre q é proporcional a v .

5. (UNIP) Uma aplicação dos eletroímãs supercondutores é no trem de transporte levitado magneticamente, ou maglev. Esse trem usa o campo magnético gerado pelos eletroímãs para produzir forças de repulsão entre o trem e o trilho. Assim, ele flutua acima dos trilhos e pode atingir velocidades superiores a 300 km/h. HEWITT, P. Física conceitual. São Paulo: Artmed, 2002 (adaptado).

O maglev consegue atingir altas velocidades porque

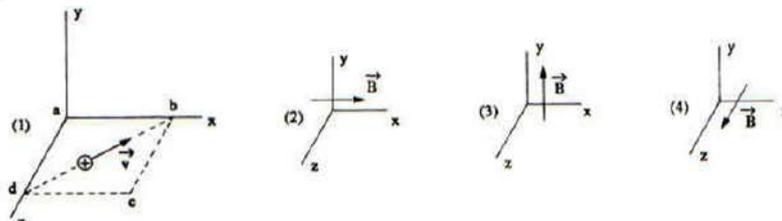
- a) O maglev consegue atingir altas velocidades porque não ocorre resistência elétrica nos trilhos.
- b) Não há atrito entre o trem e os trilhos.
- c) O trem é construído de material muito leve.
- d) O campo magnético gerado é capaz de impulsionar o trem.

6. (UFU) A figura mostra a tela de um osciloscópio onde um feixe de elétrons, que provém perpendicularmente da página para seus olhos, incide no centro da tela. Aproximando-se lateralmente da tela dois ímãs iguais com seus respectivos polos mostrados, verificar-se-á que o feixe:



- a) será desviado para cima ↑
- b) será desviado para baixo ↓
- c) será desviado para a esquerda ←
- d) será desviado para a direita →
- e) não será desviado.

7. (UNESP) Uma partícula com carga elétrica positiva desloca-se no plano $Z - X$ na direção $d - b$, que é diagonal do quadrado a, b, c, d indicado na figura (1). É possível aplicar na região do movimento da carga um campo magnético uniforme nas direções dos eixos (um de cada vez), como é mostrado nas figuras (2), (3) e (4).



Em quais casos a força sobre a partícula será no sentido negativo do eixo Y?

- a) Somente no caso 2.
- b) Nos casos 2 e 4.
- c) Somente no caso 3.
- d) Nos casos 3 e 4.
- e) Somente no caso 4.

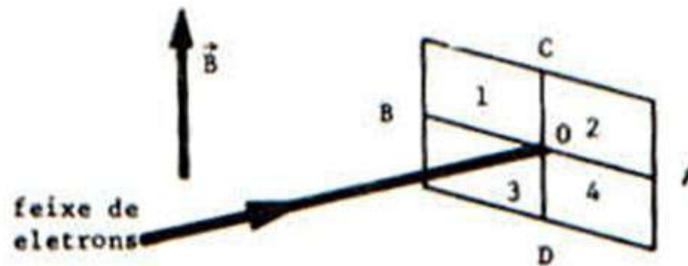
8. (UFRS) No interior de um acelerador de partículas existe um campo magnético muito mais intenso que o campo magnético terrestre, orientado de tal maneira que um elétron lançado horizontalmente do sul para o norte, através do acelerador é desviado para o oeste. O campo magnético do acelerador aponta:

- a) do norte para o sul
- b) do leste para o oeste
- c) do oeste para o leste
- d) de cima para baixo
- e) de baixo para cima



9. (PUC) Um feixe de elétrons incide horizontalmente no centro do anteparo. Estabelecendo-se um sistema de eixos cartesianos com o eixo x de direção do feixe e o eixo y de direção do campo magnético, o ponto de impacto do feixe de elétrons passa a atingir:

- a) região 1
- b) região 2
- c) segmento OB
- d) segmento OA
- e) região 3





Material de apoio à/ao professora/professor:

Gabarito:

1. Letra D

A afirmação I está incorreta pelo fato de a carga elétrica nem sempre sofrer ação de uma força magnética. Para uma carga elétrica lançada paralelamente as linhas de campo a força magnética será nula.

A afirmação II está correta, pois cargas elétricas lançadas em campos elétricos sempre sofrem a ação de uma força elétrica.

A afirmação III está correta, pois a força magnética é sempre perpendicular à velocidade da carga. Essa comprovação pode ser realizada através da regra do tapa.

2. Letra A

Como a velocidade v não é paralela ao campo magnético B , então o ângulo formado entre eles é de 90° . Assim, calcularemos o trabalho realizado pela força magnética por meio da sua fórmula:

$$W = v \cdot d \cdot \cos \theta$$

$$W = F \cdot d \cdot \cos 90^\circ$$

$$W = F \cdot d \cdot 0$$

$$W = 0 \text{ J}$$

3. Letra B

Calcularemos a carga elétrica da partícula usando a fórmula da força magnética:

$$F_{mag} = |q| \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta$$

$$0,05 = |q| \cdot 200 \cdot 6 \cdot \sin 90^\circ$$

$$0,05 = |q| \cdot 1200$$

$$q = \frac{0,05}{1200}$$

$$q \cong 4,2 \cdot 10^{-5}$$

$$q \cong 42 \cdot 10^{-6}$$

$$q \cong 42 \mu\text{C}$$

4. Calcularemos o campo magnético em um condutor retilíneo usando a fórmula da força magnética sobre o fio:

$$F_{mag} = B \cdot i \cdot l \cdot \sin \theta$$

$$8,75 = B \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot \sin 45^\circ$$

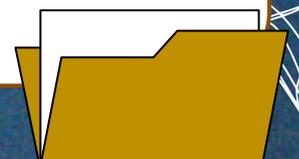
$$8,75 = B \cdot 2,5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$8,75 = B \cdot 2,5 \cdot \frac{1,4}{2}$$

$$8,75 = B \cdot 1,75$$

$$B = \frac{8,75}{1,75}$$

$$B = 5 \text{ T}$$



5. Letra B

Como não existe o contato entre o trem e o trilho, logo não há atrito.

6. Letra B

O campo magnético atua sempre do polo norte para o polo sul do ímã, portanto, nesse caso ele é horizontal para a direita. A força magnética, o campo magnético e a velocidade do feixe de elétrons devem ser perpendiculares entre si, aplicando a regra da mão direita, percebe-se que a força magnética deve ser vertical e para baixo ↓.

7. Letra B

Utilizando a regra da mão esquerda, o dedo indicador deve apontar no sentido do campo magnético, o médio no sentido da carga e o polegar no sentido da força magnética

8. Letra E

Observe na figura abaixo que utilizando a regra da mão esquerda o vetor campo magnético estaria entrando na folha, mas como se trata de elétron (carga negativa), estará saindo.

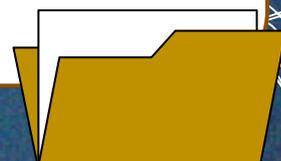
8. Letra E

Observe na figura abaixo que utilizando a regra da mão esquerda o vetor campo magnético estaria entrando na folha, mas como se trata de elétron (carga negativa), estará saindo.



9. Letra C

Utilizando a regra da mão esquerda, observamos a incidência na região 2



5. Uma máquina que nos permite enxergar: o Síncrotron



❖ *É possível “enxergar” algo muito pequeno? Será que existem máquinas capazes de fazer isso?*

Investigação: A seguir responda ao questionário disponível no QRcode abaixo:



**Capa do filme
Anjos e Demônio**

Assista aos primeiros dez minutos do filme “Anjos e Demônios” (disponível em Amazon Prime), neste é possível observar o protagonista um acadêmico de Harvard que investiga uma tentativa criminosa de destruir o Vaticano. Os criminosos usariam 0,25 gramas de anti-matéria roubadas do laboratório, LHC (Large Hadron Collider), Grande Colisor de Hádrons.



Disponível
em: <https://link.dev/gLHWK>

**Capa do filme
O homem do futuro**



Disponível em:
<https://acesse.one/GfQTZ>

Assista também aos primeiros dez minutos do filme "O Homem do Futuro" (disponível no Youtube). O laboratório do protagonista é ambientado no LNLS em Campinas-SP.

<https://l1nk.dev/glHWK>



- ❖ ***Após assistir aos trechos dos filmes, faça uma breve análise, não da história do filme, mas do local onde inicialmente se passa o filme Anjos e Demônios e o Homem do Futuro. Você sabe do que se trata esses lugares?***

**O LABORATÓRIO NACIONAL DE LUZ SÍNCROTRON –
PANORAMA HISTÓRICO**

A luz, que é uma radiação eletromagnética, é espalhada pelos objetos e detectada pelo nosso olho. Muda-se o tipo de radiação e o tipo de detector, mas o processo é essencialmente o mesmo. Para observar objetos microscópicos, por exemplo, podemos usar a luz como radiação e o microscópio ótico como detector, com um conjunto de lentes capaz de ampliar a imagem. No caso de objetos nanométricos, uma boa opção é a luz síncrotron, produzida em grandes máquinas que aceleram partículas.

Panorama Histórico:

O Brasil é o único país da América Latina a contar com equipamentos geradores de luz síncrotron, instalados na cidade de Campinas, SP. Ali se encontra o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, projetado em 1983 e inaugurado em 1997.

LNLS Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

1982

Roberto Lobo é nomeado coordenador do LNRS

1983

Reunião de 221 pesquisadores

1985

A cidade de Campinas-SP é escolhida para a construção do LNRS.

1986

Laboratório Nacional de LUZ Síncrotron

1987

Implementação do LNLS
1988 - Maquete do projeto do LNLS

1995

Em outubro, a construção do Prédio do Anel é concluída e a equipe do LNLS começa a se transferir para o local para o início da instalação do síncrotron.

1997

Inauguração do LNLS

Maquete Projeto UVX - LNLS



Disponível em: <https://l1nq.com/mruiV>

Primeira fase do laboratório UVX- LNLS



Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/uvx/acceleradores/>

Criado em 1984, o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron foi responsável pela construção e operação da primeira fonte de luz síncrotron do Hemisfério Sul. Chamada UVX (acelerador de partículas de segunda geração), a fonte de luz operou de 1997 a 2019, beneficiando cerca de mil pesquisadores a cada ano. Ao longo desta trajetória, o LNLS buscou atrair pesquisadores e engenheiros, cuja capacitação promovesse o desenvolvimento de campos tecnológicos importantes para o País.

Interior do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron



Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/uvx/aceleradores/>

O LNLS também desenvolveu localmente o conhecimento sobre a construção dos aceleradores e das linhas de luz, com a produção de componentes e equipamentos no Brasil, sempre que possível. Essa estratégia reduziu o custo de construção de sua primeira fonte de luz síncrotron, além de permitir o domínio do conhecimento para a manutenção e atualização da máquina e da instrumentação científica ligada a ela.

O conhecimento técnico-científico acumulado ao longo dessas três décadas, por cientistas, engenheiros, técnicos e especialistas em diversas áreas do conhecimento, tornou possível o desenvolvimento do Sirius, um equipamento científico extremamente sofisticado e mundialmente competitivo.



Material de apoio à/ao professora/professor:

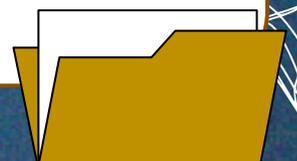
- Slides sobre o panorama histórico do LNLS, disponível publicamente em:

https://docs.google.com/presentation/d/1lodC8AxBMNbD-I568i7wK7_LTC57dbjc/edit?usp=sharing&ouid=106066975092087957455&rtpof=true&sd=true

- *Google Forms*, poderá ser acessado por meio do link:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScLfYFVEZ_EblQdQAmdnXtKuFXhBBWnFCtpUXmiy_Cy-3vIvg/viewform?usp=sharing.

Ao acessar o formulário, o/a professor/a poderá formatá-lo como preferir e direcionar as respostas das/dos estudantes para o seu próprio endereço de e-mail.



6. Espectros eletromagnéticos: Raio-X, como o enxergamos?

Pega essa Dica! Assista ao esquete Raio-X Porta dos Fundos
- disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=_L6Jrp3y1DQ

Para começo de conversa

A verdade por trás dos poderes do Super Homem

O olho humano é apenas um receptor de luz, por isso não há nenhum tipo de "raio" que possa ser disparado. Quando estamos em um quarto totalmente escuro (nenhuma fonte de luz) nós não enxergamos nada. Na verdade você vê o preto, que é a cor do nosso cérebro associado à falta de luz.

Nunca foi dada uma explicação "oficial" sobre o funcionamento da visão de raio X do Superman, por isso, vamos começar as suposições!

Embora seja chamada de visão de raio-X, esse poder tem pouco a ver com o efeito real dos raios-X. Geralmente, este superpoder é apresentado como a capacidade de ver seletivamente através de certos objetos como se fossem invisíveis ou translúcidos. Assim, o Superman pode ver através das paredes o número de criminosos. Nesses casos, as visões são geralmente em cores e tridimensionais.

Super- homem e o Raio-X

A visão de raios X dos super-heróis é possível?



Disponível em: <https://encr.pw/zPSEk>

Você já fez algum exame de raio-X?

Imagens de raio-x

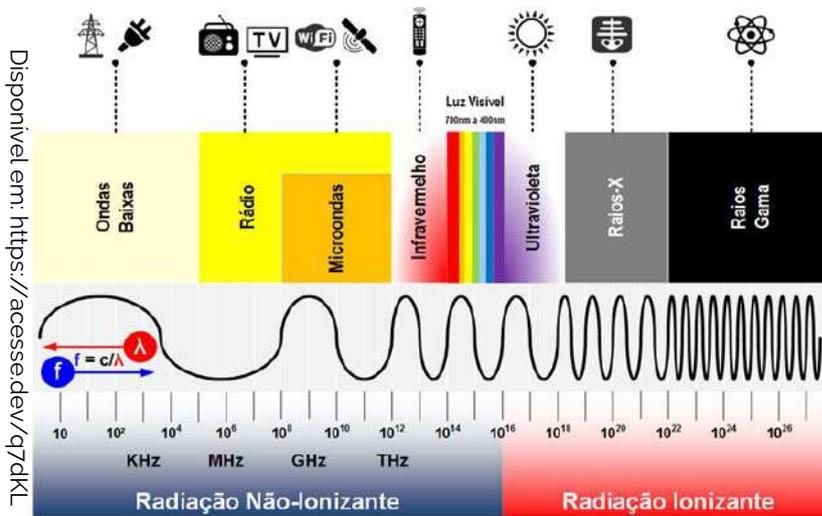


Equação fundamental da ondulatória: $v = \lambda \cdot f$

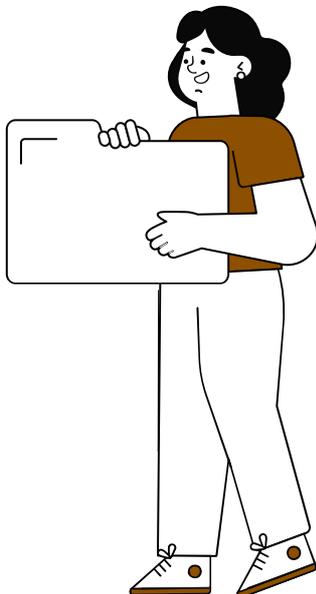
Velocidade da luz no Vácuo: $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Disponível em: <https://dapi.com.br/curiosidades-sobre-o-raio-x/>

Espectro eletromagnético



Relação entre energia e o comprimento de onda.



Disponível em: <https://1nq.com/dgDNV>

CONSTANTE DE PLANCK:
 $(6.626 \times 10^{-34} \text{ JOULE SEGUNDOS (J s)})$

VELOCIDADE DA LUZ
 $(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

ENERGIA EM JOULES (J)

COMPRIMENTO DE ONDA EM METROS

Exercícios:

1. (Unicamp 2021) Um dos fatores que determinam a capacidade de armazenamento de dados nos discos laser é o comprimento de onda do laser usado para gravação e leitura (ver figura abaixo). Isto porque o diâmetro d do feixe laser no ponto de leitura no disco é diretamente proporcional ao comprimento de onda, λ . No caso do Blu-Ray, usa-se um comprimento de onda na faixa azul (daí o nome, em inglês), que é menor que o do CD e o do DVD. As lentes usadas no leitor de Blu-Ray são tais que vale a relação $d_{BR} \equiv 1,2\lambda_{BR}$.

A partir das informações da figura, conclui-se que a frequência do laser usado no leitor Blu-Ray é

- a) $3,2 \times 10^{14}$ Hz.
- b) $5,2 \times 10^{14}$ Hz.
- c) $6,2 \times 10^{14}$ Hz.
- d) $7,5 \times 10^{14}$ Hz.

2. (Unilago) A luz visível, com comprimento de onda entre 400 nm e 700 nm, constitui apenas uma pequena “janela” de todo o espectro eletromagnético. Em outros intervalos de comprimento de onda, a radiação eletromagnética recebe outros nomes. Com relação a esses nomes, considere as afirmativas a seguir.

- I. Corrente elétrica e radiação ultravioleta.
- II. Radiação beta (β) e radiação de fundo.
- III. Radiação gama (γ) e ondas de rádio.
- IV. Radiação infravermelha e raios X.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b) Somente as afirmativas I e IV são corretas.
- c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
- e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

Rontgen e a imagem do primeiro Raio-X

O raio X é um tipo de radiação eletromagnética com frequências superiores a da radiação ultravioleta, ou seja, maiores que 10^{18} Hz. A descoberta do raio X e a primeira radiografia da história ocorreram em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Rontgen, fato esse que lhe rendeu o prêmio Nobel de Física em 1901.



Disponível em :
<https://medimagemguarapari.com.br/raio-x/>

a) Afinal, como funciona o equipamento de raio X?

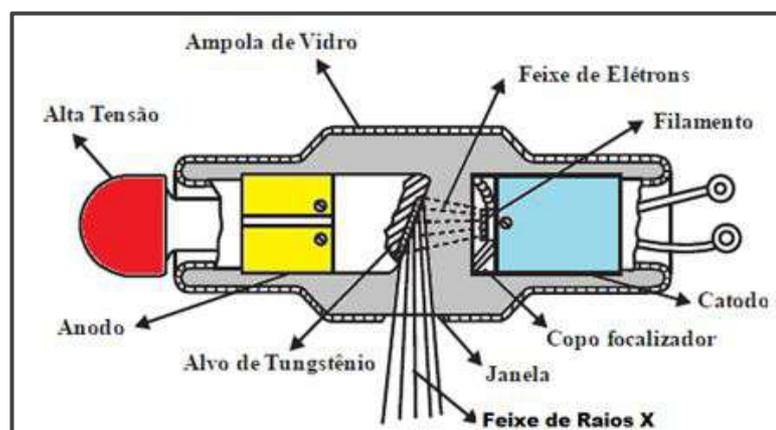
Quando o aparelho é ligado, o gerador de raios X produz um feixe de freando elétrons gerados por um filamento aquecido. Essas partículas saem pela abertura do equipamento e são irradiadas até atingirem a parte do corpo que será examinada.

Em seguida, a radiação atravessa o corpo do paciente, e uma parte dela é absorvida pelas estruturas anatômicas.

Os raios não absorvidos se chocam contra uma chapa feita de material sensível à radiação, que pode estar sob o paciente ou atrás da parte do corpo estudada, e é nesse momento que as imagens, a parte absorvida pelas estruturas corresponde à parte esbranquiçada nas radiografias, o aos ossos da mão na figura, e a parte que se chocou na chapa forma o contraste registradas.

Esquema da máquina de Raio-X

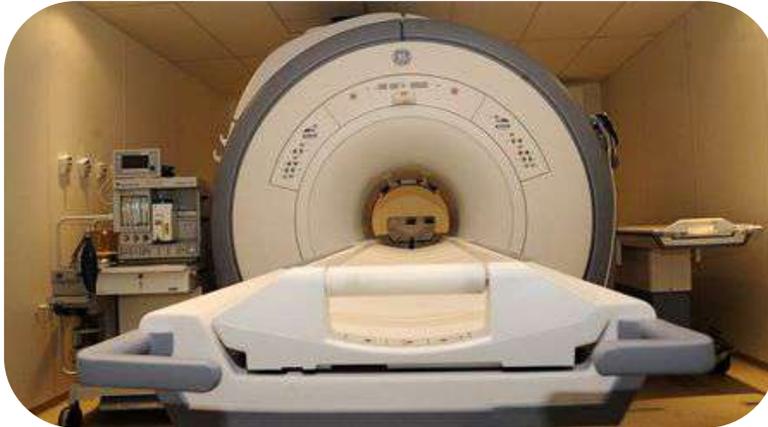
Disponível em: <https://encr.pw/00Q11>



b) E a ressonância Magnética?

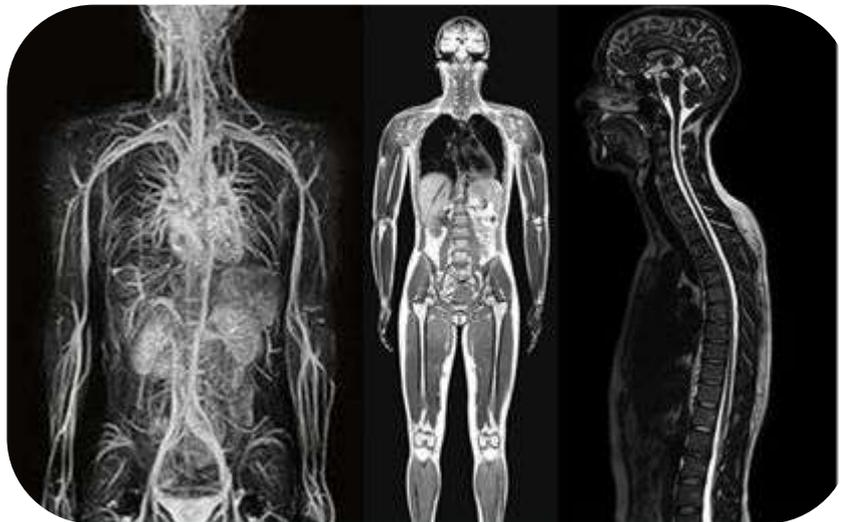
A ressonância magnética é um pouco mais complicada. Um próton era como um pequeno ímã por causa da rotação nuclear e seu spin. Quando você aplica um campo magnético gigantesco, esses prótons terão seus “ pólos magnéticos ” ao campo. Os prótons são então “ excitados ” e depois relaxam. É neste ponto onde eles emitem radiação. A ressonância magnética detecta essa radiação e usa para fazer um mapa 3D de onde todo o Hidrogênio está no corpo.

Máquina de ressonância magnética



Disponível em: <https://acesse.dev/Vo8wu>

Imagens obtidas na ressonância magnética



Disponível em: <https://encrpxw/gm8XR>



Radiação ionizante e não ionizante

A radiação ionizante é a que produz a ionização, e ionização é o processo por meio do qual um átomo ou uma molécula perde ou ganha elétrons para formar íons.

Exemplos de radiação ionizante

- Raio X.
- Radiação alfa (α),
- Radiação beta (β)
- Radiação gama (γ)

A radiação ionizante penetra de acordo com seu tipo e energia. Enquanto partículas alfa podem ser bloqueadas por uma folha de papel, partículas beta requerem alguns milímetros de, por exemplo, alumínio, para bloqueá-las, ao passo que a radiação gama de alta energia requer materiais densos para bloqueá-la, como por exemplo, chumbo ou concreto.

Radiação não ionizante

A radiação não ionizante é menos energética além de não ter poder de penetração, age principalmente sobre a superfície onde os raios incidem.

Exemplos de radiação não ionizante:

- Radiação ultravioleta
- Radiação Infravermelha
- Radiofrequência
- Lasers no espectro visível.
- Micro-ondas

Exercícios:

3.(UFSC 2016) Os Raios X são ondas eletromagnéticas que, por suas características peculiares, começaram a ser utilizados na medicina apenas alguns meses após a sua descoberta. Hoje, suas aplicações são muito mais amplas, pois se estendem de consultórios odontológicos, nos quais são utilizados aparelhos que operam com uma tensão da ordem de 50 kV, até aeroportos.

Sobre os Raios X, é CORRETO afirmar que:

- 1.foram detectados pela primeira vez em 1895, pelo cientista alemão Röntgen, quando trabalhava com um tubo de raios catódicos.
- 2.receberam este nome porque formavam um X quando eram detectados.
- 4.como eles têm pouco poder de penetração, para que um operador de máquina de Raios X tenha proteção adequada é suficiente que fique atrás de uma fina barreira de madeira.
- 8.um dos efeitos biológicos possíveis da exposição aos Raios X é a morte celular.
- 16.permanecem no corpo humano, criando um efeito cumulativo, incrementado a cada nova exposição.

Soma:

4. (UFRGS) Os raios X são produzidos em tubos de vidro a vácuo, nos quais elétrons sofrem uma brusca desaceleração quando colidem contra um alvo feito de metal. Desta forma podemos dizer que os raios X constituem um feixe de:

- a) elétrons
- b) fótons
- c) prótons
- d) nêutrons
- e) pósitrons

5. Porque os raios- X não atravessa os ossos?

6.O que são radiações ionizantes e não ionizantes?



Material de apoio à/ao professora/professor:

Gabarito

1. Letra D

Segundo a equação da ondulatória temos:

2. Letra C

Observando o espectro eletromagnético concluímos que se trata de radiação Beta e Raio-x

3. Somatória: 9

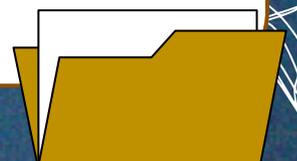
Apenas 1 e 8 estão corretas.

4. Letra B

Fótons

5. Espera-se que os estudantes se atentem que os tecidos do corpo humano têm diferentes densidades que irão determinar a imagem da radiografia. Os raios X não conseguem atravessar os ossos, então eles aparecem brancos na imagem, como sombras, pois bloqueiam a radiação.

6. Espera-se que os estudantes discutam que a radiação ionizante tem energia suficiente para remover um elétron de um átomo e, assim, produzir íons. Já a radiação não ionizante tem capacidade de elevar a temperatura e causa agitação das moléculas, mas não altera a estrutura do material.



7. O Sirius

Para começo de conversa...

Como vimos na aula 5, entre os anos de 1997 a 2019 o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) operou o acelerador de partículas UVX, que foi substituído por uma fonte de luz mais potente e precisa: o Sirius.

Foto Sirius



Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/sirius/>

Localizado na cidade de Campinas- SP, o Sirius foi inaugurado em 2018 e abriga a maior e mais complexa infraestrutura científica já construída no Brasil e uma das mais avançadas fontes de luz síncrotron do mundo.

Como vimos na aula 5, entre os anos de 1997 a 2019 o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) operou o acelerador de partículas UVX, que foi substituído por uma fonte de luz mais potente e precisa: o Sirius.

O que é a Luz Síncrotron?

A luz ou radiação síncrotron é um tipo de radiação eletromagnética com velocidade próximas a da luz, extremamente brilhante que se estende por um amplo espectro, isto é, ela é composta por diversos tipos de luz, desde o infravermelho, passando pela luz visível e pela radiação ultravioleta e chegando aos raios X.

A faixa do espectro eletromagnético da luz síncrotron.

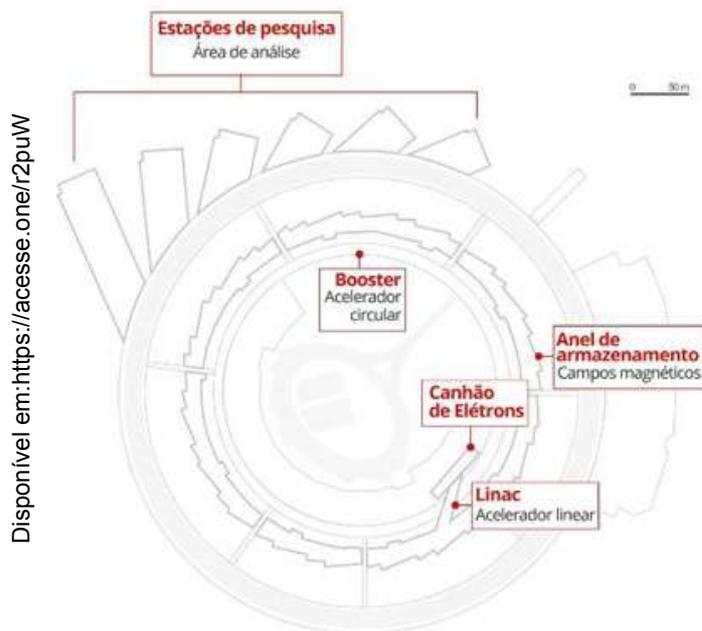


Disponível em:

<http://www.petquimica.ufc.br/projeto-sirius/>

Como funciona um acelerador de partículas?

Modelo esquemático do interior do Sirius.



Disponível em: <https://acesse.one/r2puW>

1. canhão de elétrons.
2. acelerador linear – linac
3. acelerador injetor – booster
4. acelerador principal – anel de armazenamento
5. estações de pesquisa – linhas de luz

1. Canhão de Elétrons:



Em um equipamento chamado Canhão de Elétrons, um filamento (geralmente de tungstênio) é aquecido até que comece a emitir elétrons,. Esse mecanismo é utilizado também em televisões e monitores com tecnologia de tubo e em como microscópios eletrônicos.



2. LINAC



Em um equipamento chamado Canhão de Elétrons, um filamento (geralmente de tungstênio) é aquecido até que comece a emitir elétrons,. A seguir, os elétrons são acelerados no interior do acelerador linear por campos elétricos oscilantes até velocidades próximas à da luz.

3. BOOSTER



Em seguida, as partículas são transferidas para o Acelerador Injetor, ou Booster, um anel circular menor, os elétrons vindos do Linac. A trajetória dessas partículas é controlada por um intenso campo magnético externo, responsável por focalizar o feixe de partículas, deixando-o cada vez mais estreito antes de entrar no anel de armazenamento.

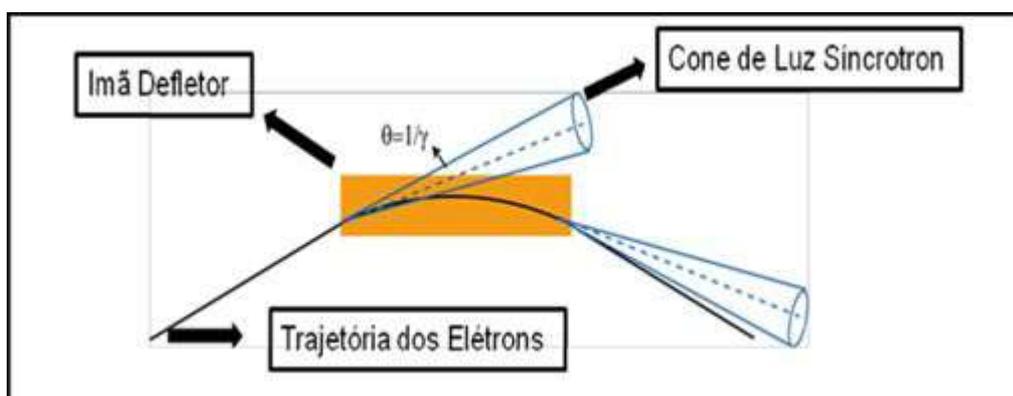
4. ANEL DE ARMAZENAMENTO

O feixe de elétrons entra no anel de armazenamento, onde percorrerá 600 mil voltas por segundo. O sentido e a direção dos elétrons são controlados por meio de campos magnéticos associados a ímãs gigantes colocados ao longo do acelerador.

Esses campos magnéticos precisam ser mais intensos à medida que a velocidade da partícula aumenta, pois, com a aceleração, os elétrons aumentam a sua energia cinética.

Ao passar pelos dipolos magnéticos o feixe de elétrons são "obrigados" a curvar sua trajetória emitindo radiação síncrotron que serão direcionadas as linhas de luz ou estações de pesquisa.

Ilustração da Emissão da Radiação Síncrotron através da deflexão magnética de um feixe de elétrons numa trajetória circular.

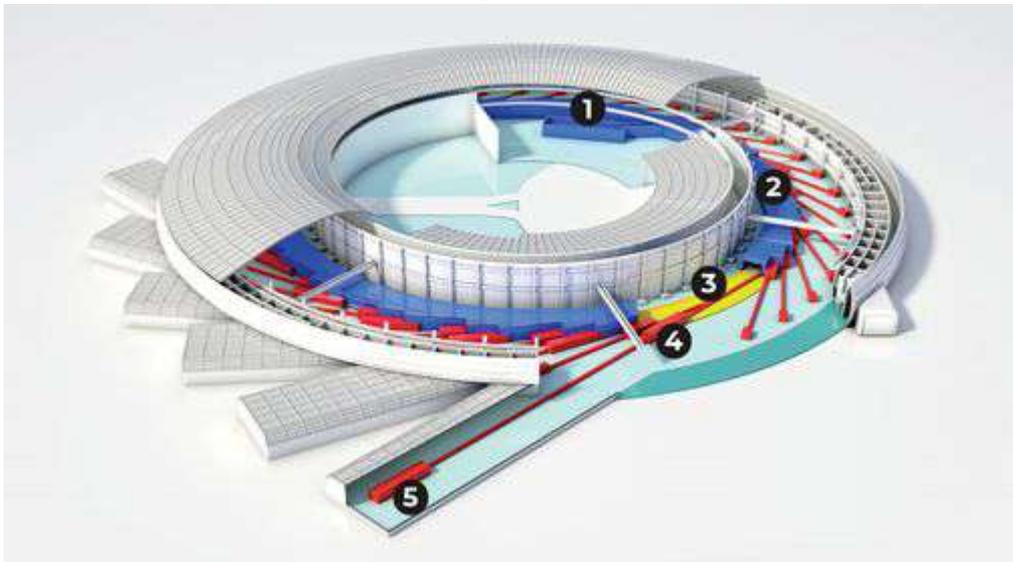


Disponível em: <https://l1nq.com/inrLv>

5. ESTAÇÃO DE PESQUISA OU LINHAS DE LUZ

A radiação sincrotron é destinada às linhas de luz, posicionadas tangentes ao anel de armazenamento. (número 5 na figura). As linhas de luz funcionam de forma independente entre si e são otimizadas para experimentos diversos, isso permite que diversos grupos de pesquisadores trabalhem simultaneamente em diferentes pesquisas.

Esquema do interior do Sirius
Ilustração: CNPEM



Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/sirius/como-funciona-o-sirius/>

6. Linhas de luz e a interação radiação matéria.

Através dessa luz especial é possível penetrar a matéria e revelar características de sua estrutura molecular e atômica para a investigação de todo tipo de material. O seu amplo espectro e diferentes faixas de energia permitem realizar diferentes tipos de análise. Já seu alto brilho permite experimentos rápidos e a investigação de detalhes dos materiais na escala de nanômetros.

As linhas de luz são como microscópios complexos, que condicionam e focalizam a luz síncrotron para que ela ilumine as amostras dos materiais que se quer analisar.

Quanto menor for a emitância, maior será a qualidade e brilho da fonte de luz.

Uma vez que a radiação síncrotron é emitida, coletada e condicionada de forma apropriada para ser utilizada pelos pesquisadores, ela deve ter seu espectro eletromagnético "filtrado" de acordo com a técnica experimental que será adotada antes de chegar à amostra. Esta filtragem, feita por dispositivos chamados monocromadores, permite a seleção do comprimento de onda desejado, seja ele no comprimento de onda da radiação infravermelha, ultravioleta ou raios X.



Maior emitância, menor a qualidade do feixe de luz



Menor emitância, maior a qualidade do feixe de luz.

Mas porque é importante selecionar o comprimento de onda?

De forma análoga a luz que pode comportar-se tanto como partícula quanto como onda. Em 1924, de Broglie postulou que deveria existir uma dualidade entre matéria e onda.

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

λ = comprimento de onda

h = Constante de Planck $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s

p = quantidade de movimento

p também é conhecido como momento linear e pode ser calculado pelo produto da massa m (em kg) do corpo pela velocidade V (em m/s), assim, podemos escrever a relação de de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

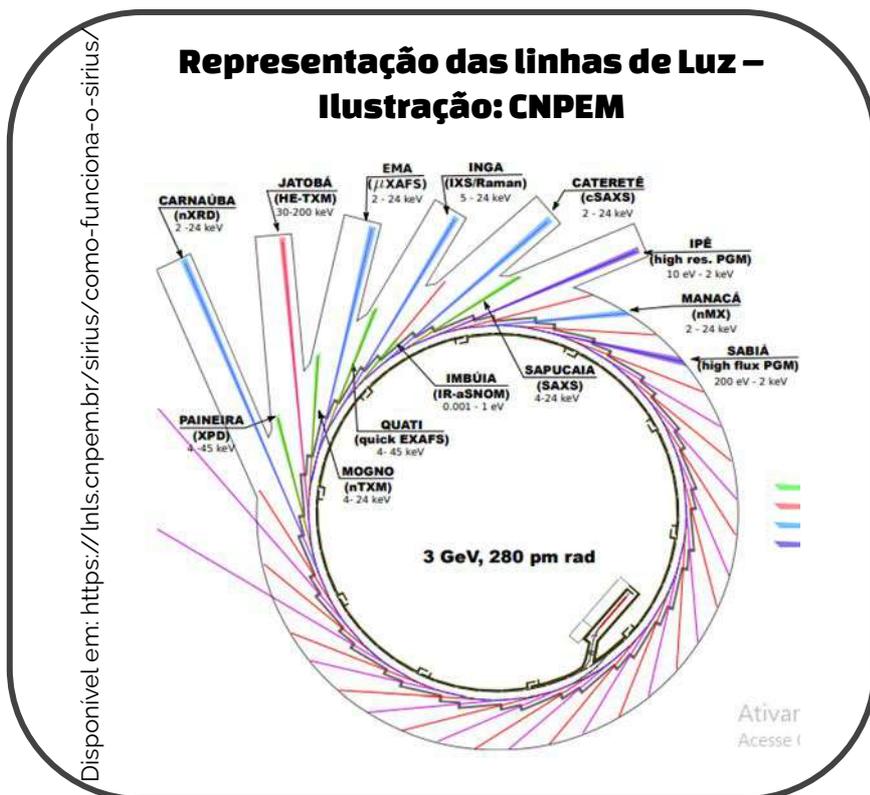
λ = comprimento de onda

h = Constante de Planck $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s

$m \cdot v = p$

Assim, nota-se que o comprimento de onda associado a uma partícula varia inversamente com sua massa e velocidade. Essa relação explica por que o Sirius exibe diversas linhas de luz, uma vez que cada amostra apresenta estruturas de dimensões distintas. Quanto maiores essas estruturas, menores serão seus comprimentos de onda.

Atualmente o Sirius abriga conta com dezesseis linhas operantes, uma está em fase de projeto, uma em comissionamento e duas na fase de montagem. A longo prazo, o objetivo do Sirius será abrigar até 38 linhas de luz.



Os requisitos técnicos de uma linha de luz dependem das características do feixe de luz tais como resolução de energia, tamanho e divergência, que serão necessárias para iluminar as amostras nas análises que se pretende realizar.

Relação entre energia e o comprimento de onda.

CONSTANTE DE PLANCK:
(6.626×10^{-34} JOULE SEGUNDOS (J s))

VELOCIDADE DA LUZ
(3.0×10^8 m/s)

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

ENERGIA EM JOULES (J)

COMPRIMENTO DE ONDA EM METROS

Disponível em:
<https://pt.wikihow.com/Calcular-Comprimento-de-Onda>

Linhas de luz atuantes no Sirius

LINHAS DE LUZ	TÉCNICA PRINCIPAL	FAIXA DE ENERGIA	SETOR	STATUS
CARNAÚBA	Nanosopia de Raios X	2,05 - 15 keV	06-ID	Aberta
CATERETÊ	Espalhamento Coerente de Raios X	3 - 24 keV	07-ID	Aberta
CEDRO	Dicroísmo Circular	3 - 9 eV	17-B2	Aberta
EMA	Espectroscopia e Difração de Raios X em Condições Extremas	2,7 - 30 keV	08-ID	Aberta
IMBUÍIA	Micro e Nanoespectroscopia de Infravermelho	70 - 400 meV	07-B2	Aberta
IPÊ	Espalhamento inelástico ressonante de raios X e Espectroscopia de Fotoelétrons	100 - 2000 eV	11-ID	Aberta
JATOBÁ	Espalhamento Total de Raios X e Análise de PDF	40 - 70 keV	14-BC	Projeto
MANACÁ	Micro e Nanocristalografia Macromolecular	5 - 20 keV	09-ID	Aberta
MOGNO	Micro e Nanotomografia de Raios X	22 39 67,5 keV	10-BC	Aberta
PAINEIRA	Difração de Raios X em Policristais	5 - 30 keV	14-ID	Aberta
QUATI	Espectroscopia de Raios X com Resolução Temporal	4,5 - 35 keV	13-BC	Montagem
SABIÁ	Espectroscopia de Fotoemissão e Absorção de Raios X Moles de Alto Fluxo	100 - 2000 eV	10-ID	Aberta
SAPÊ	Espectroscopia de Fotoemissão Resolvida em Ângulo	8 - 70 eV	13-B2	Comissionamento
SAPUCAIA	Espalhamento de Raios X a Baixos Ângulos	6 - 17 keV	17-ID	Montagem

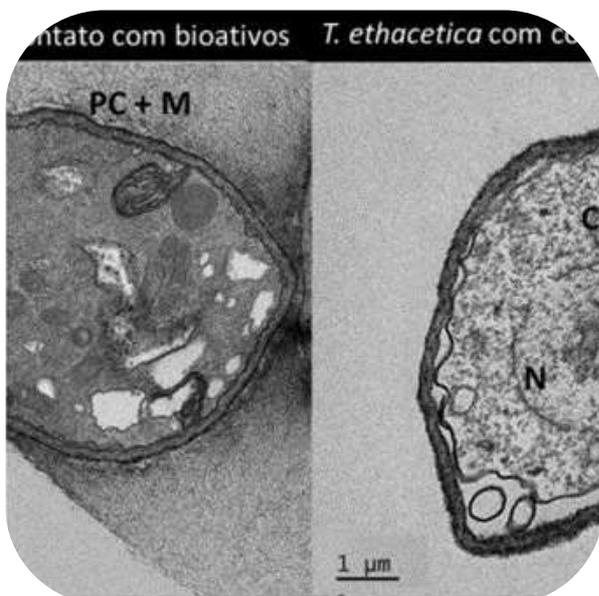
Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/linhas-de-luz/>

7. Algumas pesquisas realizadas no Sirius

A radiação sincrotron é destinada às linhas de luz, posicionadas tangentes ao anel de armazenamento. (número 5 na figura). As linhas de luz funcionam de forma independente entre si e são otimizadas para experimentos diversos, isso permite que diversos grupos de pesquisadores trabalhem simultaneamente em diferentes pesquisas.

CIÊNCIA | 1º DE ABRIL DE 2022

BIOMOLÉCULAS PARA INIBIR FUNGO QUE ATACA CANAVIAIS



Recorte de uma das pesquisas realizadas na linha de luz Ibuía.

À esquerda, vemos o fungo controle, não tratado, com uma estrutura celular preservada, com várias organelas no seu interior (Núcleo=N, citoplasma=C, parede celular e membrana=PC + M).

À direita, vemos o interior da célula totalmente degradado, sem organelas e com o desprendimento da membrana da parede celular, culminando na morte do fungo.

A alta sensibilidade com uso de infravermelho realizadas na linha de luz Imbuia, do Sirius, confirmaram que a interação com as biomoléculas selecionadas foi capaz de produzir danos ao DNA do fitopatógeno.

CIÊNCIA | 26 DE OUTUBRO DE 2022

PESQUISADORES DO CNPEM INVESTIGAM A ORIGEM DA SUPERCONDUTIVIDADE



Interior da linha de luz
EMA

Primeiro artigo científico publicado com dados obtidos na linha de luz EMA estudou a relação entre as propriedades supercondutoras de escuderuditas e a distância entre seus átomos.

Pega essa dica!

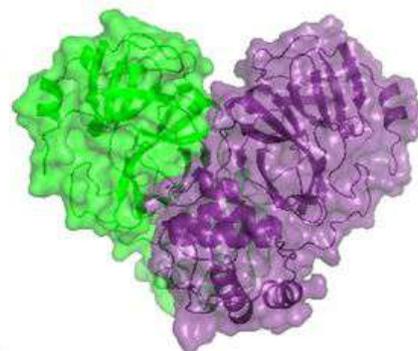
Acesse: <https://lnls.cnpem.br/ciencia/> e fique por dentro de todas as pesquisas já realizadas no Sirius.

Em 2021, o Sirius ganhou destaque na mídia em estudo sobre a replicação da proteína da Covid-19

Sirius estuda proteína que atua na replicação do Sars-CoV-2 no organismo

Cientistas brasileiros apresentam primeiros resultados de uma série de experimentos sobre o novo coronavírus realizados no acelerador de elétrons em Campinas (SP)

🕒 1 min de leitura



REDAÇÃO GALILEU

13 JUL 2020 - 11H56 | ATUALIZADO EM 13 JUL 2020 - 11H56

Estrutura da proteína 3CL Foto: CNPEM)

Os cientistas brasileiros utilizaram a difração de raios X na linha de Luz Manacá para analisar a proteína do vírus da covid-19. A enzima 3CL do coronavírus é uma protease responsável por quebrar uma cadeia de proteínas virais (poliproteína) em suas subunidades funcionais, e permitir a replicação viral e a montagem de novas partículas virais que infectarão outras células. De acordo com os dados publicados na revista FAPESP em agosto de 2021, que compreender a estrutura 3CL é importante , porque pode auxiliar no desenvolvimento de fármacos que barrem sua ação.

Acesse o QR code abaixo e faça uma visita virtual ao Sirius

<https://pages.cnpem.br/cnpem360/>



Após a visita virtual faça um relatório destacando os principais pontos abordados como: estrutura do Sirius, linhas de luz e pesquisas desenvolvidas no Sirius.



Material de apoio à/ao professora/professor:

- Após as aulas e a visita virtual ao Sirius, sugerimos a entrega do folder que divulga a escola de Ilum.

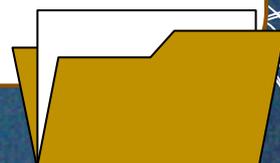
A Ilum é uma escola de ensino superior interdisciplinar em Ciência e Tecnologia com um modelo de ensino inovador, em que o aluno é protagonista da sua formação. É uma iniciativa do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), Organização Social que integra os laboratórios nacionais de referência para pesquisas em saúde, energia renovável, ciências agroambientais, materiais renováveis e tecnologias quânticas, e que abriga o Sirius, um dos mais modernos aceleradores de elétrons do mundo.

Ensino superior de excelência, em período integral, gratuito e com imersão no ambiente de pesquisa do CNPEM desde o primeiro semestre do curso. É assim que a Ilum pretende formar os futuros cientistas do nosso País. Fonte: <https://ilum.cnpem.br/>

Segue em anexo o folder de divulgação e o link com a revista “Por Dentro da Ilum”*

https://ilum.cnpem.br/wp-content/uploads/2022/10/REVISTA-ILUM_.pdf

*Todos os direitos de uso do folder e revista Ilum foram autorizados pela Ilum Comunica, responsável pela divulgação e imprensa da Escola Ilum.



O CNPEM



_imersão gradativa no Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, ambiente de pesquisa único no país.

_berço do mais avançado projeto da ciência brasileira: o Sirius

_referência em pesquisa nas áreas de Biotecnologia, Nanotecnologia e Biorrenováveis

Acesse o QR Code e inscreva-se:

[f](#) [ig](#) [tw](#) [yt](#) [in](#)

Rua Lauro Vannucci, 1.020
Pq. Santa Cândida | Campinas/SP | 13087-548
(19) 3756-9100 | WhatsApp: (19) 99674-0142
secretaria.ilum@ilum.cnpem.br
ilum.cnpem.br

ilum

**_Bacharelado em
Ciência e Tecnologia**



_estude problemas e não disciplinas

Conheça os benefícios do primeiro curso de ensino superior gratuito, integral e inovador:

+ MORADIA

+ ALIMENTAÇÃO

+ COMPUTADOR PESSOAL

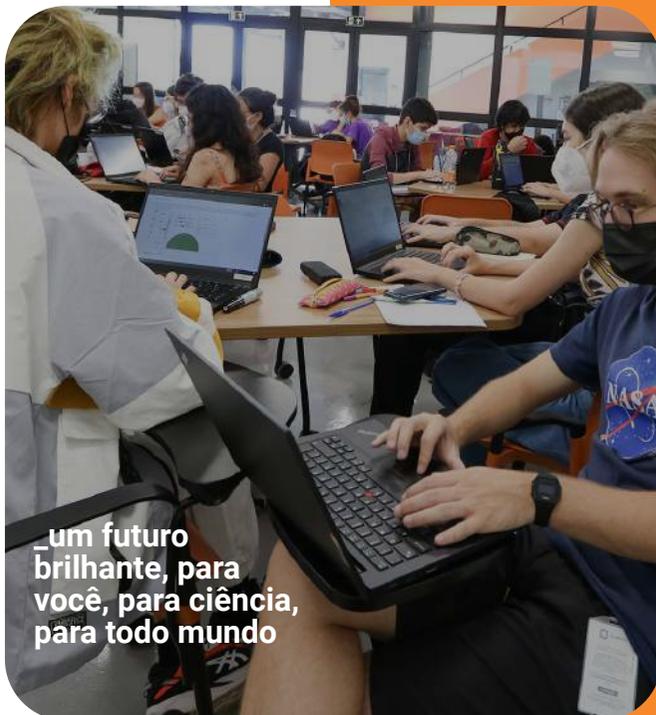
+ TRANSPORTE

+ AULAS DE INGLÊS

_3 anos de duração

_50% das vagas para estudantes do ensino público

_acesso às instalações do CNPEM



_um futuro brilhante, para você, para ciência, para todo mundo

_um convite aos curiosos e sonhadores

O CURSO

_ciências da vida:
biologia celular, biologia molecular, bioquímica, proteína, genética

_ciências da matéria:
mecânica clássica, termodinâmica, eletromagnetismo, mecânica quântica, sistemas orgânicos e inorgânicos, mecânica estatística, nanotecnologia

_linguagens matemáticas:
álgebra linear, probabilidade estatística, cálculo multivariado e biomatemática

_humanidades:
ciência moderna, ética, cultura digital, cultura e sociedade

_Ciência de dados:
aprendizado de máquina, mineração e análise de dados, lógica computacional e processamento de imagem

_traga toda sua vontade de fazer a diferença

PROCESSO DE INGRESSO

Dados pessoais
Manifestação de Interesse

Nota do ENEM

Entrevista com candidatos pré-selecionados

40 alunos convocados

 ilum escola de ciência

Confira o calendário completo: ilum.cnpem.br

8. Questionário final

Nome: _____

1. Durante nossas aulas, pudemos explorar mais a respeito do acelerador de partículas existente no Brasil.

a. Qual(is) ideia(s) você tinha a respeito de um acelerador de partículas antes das aulas sobre esse assunto?

b. O que você pensa/aprendeu sobre o acelerador de partículas após as aulas?

2. Inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas no acelerador de partículas brasileiro, o Sirius, trabalhos na área de fármacos, exploração da indústria petroleira, análise da estrutura da matéria são alguns exemplos.

Explique a importância de desenvolver um acelerador de partículas feito por brasileiros e para brasileiros.

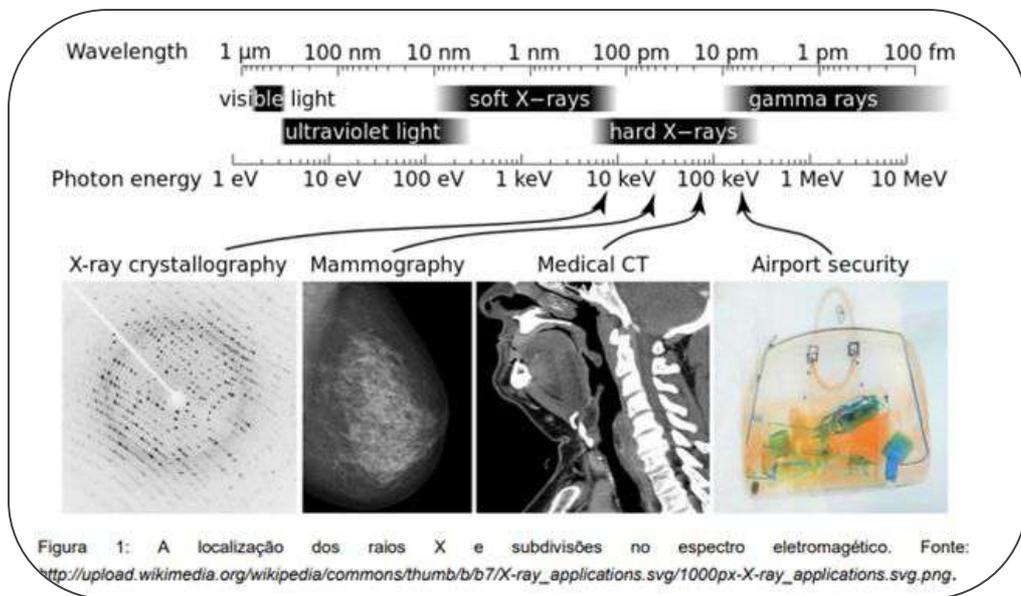
3. Das pesquisas citadas na questão anterior ou outras abordadas nas aulas, que são desenvolvidas no acelerador de partículas brasileiro, explique qual você identifica como determinante para o desenvolvimento tecnológico num futuro de médio prazo e justifique sua resposta.

4. No acelerador de partículas é produzida o que chamamos de radiação síncrotron. Toda radiação é prejudicial à nossa saúde? Explique e cite exemplos.

5. A tecnologia dos raios X permite que médicos vejam através dos tecidos humanos e examinem, com grande facilidade, ossos quebrados, cavidades, além de tornar possível o diagnóstico de várias doenças.

O raio-X trata-se de radiação ionizante ou não ionizante? O Raio-X oferece riscos à nossa saúde? Justifique sua resposta.

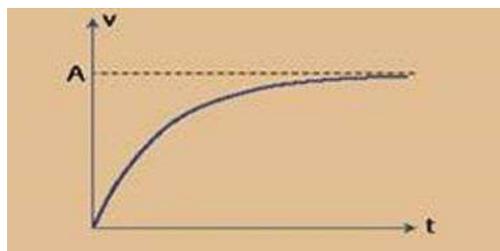
6. Os raios-X são uma forma de radiação eletromagnética localizada entre a radiação ultravioleta (comprimentos de onda maiores) e os raios gama (comprimentos de onda menores) no espectro eletromagnético. Tipicamente, suas energias estão na faixa entre 100 eV e 100 keV, apesar de algumas aplicações industriais e medicinais utilizarem raios X com energias da ordem e 1 MeV. Raios X com energias de até 5 keV são chamados de raios-X moles, e com energias acima disso, de raios-X duros.



Analisando a imagem e o que foi estudado, explique do que depende principalmente a forma com que os raios -X interagem com a matéria.

7. Aceleradores de partículas são o principal instrumento usado pelos cientistas para pesquisas em física de altas energias. No maior acelerador linear do mundo, localizado em Stanford, elétrons podem ser acelerados até uma energia da ordem de 50GeV (1 GeV =10⁹ eV).

Com essa energia, o comprimento de onda de De Broglie associado ao elétron vale 25 .10⁻¹⁸ m. O gráfico representado a seguir mostra como a velocidade v do elétron varia com o tempo t nesse acelerador:



Qual é o significado físico da ordenada A mostrada no gráfico, qual constante física ela representa?

8. Uma partícula eletricamente carregada penetra, com uma dada velocidade, em uma região de campo magnético uniforme. Leia as afirmações a seguir.

- I. A trajetória da partícula será circular se sua velocidade for perpendicular à direção do campo magnético.
- II. A trajetória da partícula será sempre circular.
- III. A força magnética que age sobre a partícula não altera sua velocidade vetorial.
- IV. A força magnética que age sobre a partícula não modifica sua energia cinética.

Assinale

- A) se III e IV são incorretas.
- B) se I e III são corretas.
- C) se I e II são incorretas
- D) se I e IV são corretas.

9. O tubo de televisão possui um canhão eletrônico que faz a varredura da tela fotoluminescente numa sucessão de linhas da esquerda para a direita e de cima para baixo.



Tubo de vidro de uma televisão de tubo

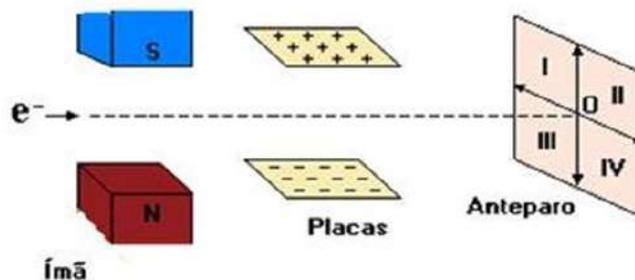
Tal varredura é feita com rapidez suficiente para que nossos olhos não percebam o desaparecimento de uma linha e o surgimento de outra e, além disso, nos dê a sensação de movimento da imagem. Sobre a força responsável por esse movimento de varredura da tela de TV, é correto afirmar:

- a) É uma força eletrostática que atua na direção do feixe eletrônico.
- b) É uma força magnética que atua na direção perpendicular ao feixe eletrônico.
- c) É uma força eletrofraca que atua nos neutrinos do feixe eletrônico.
- d) É uma força elétrica que atua nos neutrinos do feixe eletrônico.
- e) É uma força eletromagnética que atua nos nêutrons do feixe eletrônico.

10. Uma partícula de massa m , eletrizada com carga q , descreve uma trajetória circular com velocidade escalar constante v , sob a ação exclusiva de um campo magnético uniforme de intensidade B , cuja direção é sempre perpendicular ao plano do movimento da partícula. Nesse caso, a intensidade da força magnética que age sobre a partícula depende de:

- a) m e B , apenas.
- b) q e B , apenas.
- c) q , v e B , apenas.
- d) m , v e B , apenas.
- e) m , q , v e B .

11. Um feixe de elétrons passa inicialmente entre os polos de um ímã e, a seguir, entre duas placas paralelas, carregadas com cargas de sinais contrários, dispostos conforme a figura a seguir. Na ausência do ímã e das placas, o feixe de elétrons atinge o ponto O do anteparo.



Em virtude das opções dos campos magnético e elétrico, pode-se concluir que o feixe

- a) passará a atingir a região I do anteparo.
- b) passará a atingir a região II do anteparo.
- c) passará a atingir a região III do anteparo.
- d) passará a atingir a região IV do anteparo.
- e) continuará a atingir o ponto O do anteparo.



Material de apoio à/ao professora/professor:

- Essas questões podem ser inseridas no Google Forms de forma a facilitar a correção.

Gabarito:

7. Velocidade da luz

8. Letra D:

Velocidade perpendicular ao campo fará a carga descrever sempre uma trajetória circular, uma vez que haverá o aparecimento da força magnética centrípeta, apontado sempre para o centro, variando a velocidade vetorial (direção e sentido) mas não o módulo da velocidade, fazendo com que a energia cinética não se altere.

9. Letra B

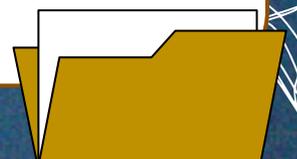
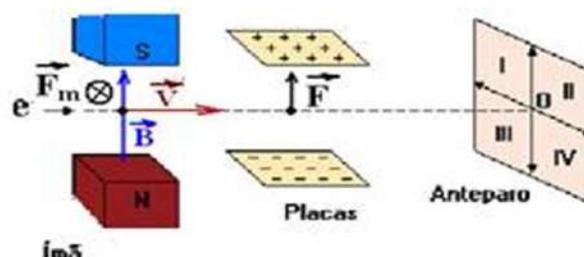
10. Letra C

A força magnética sobre uma partícula eletricamente carregada, em movimento no interior de um campo magnético é dada pela seguinte equação:

$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta$$

11. Letra A

Entre os pólos do imã a força magnética estaria saindo da folha, mas como a carga é negativa está penetrando e desviando a carga para trás da folha — quando a carga negativa passa entre as placas ela é desviada para cima (atraída pela placa positiva e repelida pela negativa).



À/ao professora/professor,

A relação entre educação, jovens e tecnologia é uma interação dinâmica que molda significativamente o panorama educacional contemporâneo. A rápida evolução tecnológica tem transformado a forma como os jovens aprendem, interagem e se engajam no processo educativo. Essa convergência entre educação e tecnologia apresenta desafios, mas também oportunidades para criar ambientes de aprendizagem mais eficazes e relevantes.

O papel do professor/a é fundamental e está em constante evolução, refletindo as mudanças na sociedade, educação e nas necessidades das/dos estudantes. Aqui desenvolvemos uma sequência didática que aborda aspectos da Física Moderna atrelados às pesquisas desenvolvidas no laboratório Sirius, além da sequência didática, buscamos promover e divulgar o laboratório para as/os estudantes do ensino médio.

O Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Materiais (CNPEM), em conjunto ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e à Sociedade Brasileira de Física (SBF) se unem para realizar a Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM). Este evento é destinado a professores/as de Física, Química e Biologia que atuam tanto na rede pública quanto privada. O curso é composto por aulas teóricas e práticas ministradas pelos especialistas do CNPEM, inclui também palestras de convidados renomados nas áreas de educação e ciências

Saiba mais em: <https://pages.cnpem.br/espem/> .



9. BIBLIOGRAFIA

ABDALA, M. C.B. **O discreto charme das partículas elementares.** São Paulo: Editora UNESP, 2006. BROWN, D.

ALMEIDA, Raquel de Silva. **Os Principais Aceleradores de Partículas: Um relato histórico da busca por altas energias.** TCC de Física - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2019. Disponível em: Acesso em: 18 maio2023.

Anjos e Demônios. Tradução de Maria Luiza Newlands da Silveira. Rio de Janeiro: Sextante, 2004.

BAGNATO, V. S.; PRATAVIEIRA, S. **Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida.** Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 37, n. 4, 4206, 2015.

BARROS, A. L. L. **Uma abordagem sobre o espectro eletromagnético por meio de estudos de caso.** 226f. Dissertação. (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física Sociedade Brasileira de Física Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense). Campos dos Goytacazes/RJ. 2018. Disponível em: http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_alice.pdf. Acesso em: 27/04/2023.

BONJORNIO, J; BONJORNIO, R; BONJORNIO, V; RAMOS, C. **Física Fundamental.** Volume 3. São Paulo: FTD 2015.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio).** Brasília: MEC, 2000.

Caruso, F. e Oguri V., **Física Moderna – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos,** Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2006

CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A. **Partículas Elementares: 100 anos de descobertas**. São Paulo: Editora e Livraria da Física, 2012
Ciência e Natureza: Forças Físicas. Pedro Paulo Poppovic
Consultores Editoriais. Rio de Janeiro – Abril Coleções. 1996.

CNPEM - A. **Por dentro do CNPEM: O novo acelerador de elétrons brasileiro**. Revista Sirius - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, Campinas 2018. Disponível em: Acesso em: 29 maio 2023.

CNPEM - B. **Projeto Sirius: A nova fonte de luz Síncrotron brasileira**. Livro Projeto Sirius - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, Campinas, 2014. Disponível em: Acesso em: 22 maio 2023.

Eisberg, R.M., **Fundamentos da Física Moderna**, Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1979 5.

GOMES, E. C. **Ondas eletromagnéticas: possibilidades da aplicação no ensino médio a partir das relações cts**. (Centro de Ciências Exatas Programa de PósGraduação Em Educação para a Ciência e a Matemática) Universidade Estadual De Maringá. Maringá, 2017. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br>. Acesso em: 27/04/2023.

Guerra e A.V. Moraes, **História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio**.
<https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000100018>

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 3;

KERST, D. W. **Acceleration of electrons by magnetic induction**. Physical Review Journals Archive, [s. l.], v. 58, n. 9, nov. 1940. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.58.841>. Disponível em: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.58.841>. Acesso em: 13 abr. 2023.

O. GUIMARÃES, J. PIQUEIRA e W. CARRON, **Física 3** (Ática, São Paulo, 2016), 2ª ed.



PIETROCOLA, Maurício et al. **Física em contextos, 3: ensino médio**. São Paulo, SP: Do Brasil, 2016. 288 p., il. color., 35 cm. (Física em contextos). ISBN 9788510062657.

RAPPOPORT, T. G. **Spintrônica: uma palestra introdutória**. In: ESCOLA BRASILEIRA DE MAGNETISMO, 7., Natal, 2009. Disponível em:
<http://www.if.ufrj.br/~joras/disciplinas/07.1/topicos/tatiana.pdf>.
Acesso em: 07 abr. 2023.

RODRIGUES, A. **Levitação magnética**. 2009. Disponível em:
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAOw4AB/levitacao-magnetica>. Acesso em: 27 abr. 2023.



SANTOS, Alberto Carlos dos. **Luz Síncrotron, o que é isso?**: Ciência hoje. Artigo - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: . Acesso em: 07 maio 2023.



Sobre as autoras:



Laís Estevão Moraes nasceu em Sorocaba-SP. Atualmente é professora de Física em um colégio particular na cidade de Uberlândia. Formou-se em Física na Universidade Federal de São Carlos e atualmente (2024) faz parte do Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal de Uberlândia.



Débora Coimbra nasceu em Araraquara-SP. É professora associada da Universidade Federal de Uberlândia desde 2007. Formada em Física pela Universidade de São Carlos, possui mestrado na mesma instituição.

Doutorado realizado na UFSCAR em 2002: estudo de propriedades eletrônicas de um sistema de filmes de He sobre substratos sólidos – uma proposta de protótipos de computadores quânticos. E pós-doutorado na UFABC em 2018 sobre elaboração de Desenho de Sequência Didática para o Ensino de Física Quântica no Ensino Médio.