

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA**

**Ensino de Ondulatória no Colégio de Aplicação da UFRGS:
Um Relato de Experiência**

MAURÍCIO MARÇAL GONÇALVES PAZETTO

**Porto Alegre
2024**

MAURÍCIO MARÇAL GONÇALVES PAZETTO

**Ensino de Ondulatória no Colégio de Aplicação da UFRGS:
Um Relato de Experiência**

**Trabalho de conclusão de curso
programa de graduação em Licenciatura
em Física da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito parcial à
obtenção de diploma em Licenciatura em
Física**

Orientador: Ives Solano Araújo

**Porto Alegre
2024**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**Reitora: Márcia Cristina Bernardes Barbosa****Vice-reitor: Pedro de Almeida Costa****INSTITUTO DE FÍSICA****Diretora: Naira Maria Balzaretto****Vice-diretor: Ives Solano Araújo****PROGRAMA DE GRADUAÇÃO****Coordenador: Leonardo Albuquerque Heidemann****Vice-coordenador: Matheus Monteiro Nascimento**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESCOLA.....	8
3 RELATOS DAS OBSERVAÇÕES.....	11
3.1 Data: 2 de setembro de 2024.....	11
3.1.1 Turma: 202 - um período de aula das 15h às 15h45min.....	11
3.2 Data: 5 de setembro de 2024.....	13
3.2.1 Turma: 202 - um período de aula das 8h45min às 9h30min.....	13
3.2.2 Turma: 102 - um período de aula das 9h30min às 10h15min.....	15
3.3 Data: 9 de setembro de 2024.....	16
3.3.1 Turma: 202 - um período de aula das 15h às 15h45min.....	16
3.4 Data: 11 de setembro de 2024.....	17
3.4.1 Turma: 101 - um período de aula das 15h às 15h45min.....	17
3.4.2 Turma: 201 - dois períodos de aula das 16h às 17h30min.....	19
3.5 Data: 12 de setembro de 2024.....	20
3.5.1 Turma: 202 - um período de aula das 8h45min às 9h30min.....	20
3.5.2 Turma: 102 - um período de aula das 9h30min às 10h15min.....	22
3.6 Data: 13 de setembro de 2024.....	24
3.6.1 Turma: 101 - um período de aula das 9h30min às 10h15min.....	24
3.7 Data: 16 de setembro de 2024.....	26
3.7.1 Turma: 202 - um período de aula das 15h às 15h45min.....	26
3.8 Data: 18 de setembro de 2024.....	28
3.8.1 Turma: 102 - um período de aula das 8h às 8h45min.....	28
3.8.2 Turma: 101 - um período de aula das 15h às 15h45min.....	30
3.8.3 Turma: 201 - dois períodos de aula das 16h às 17h30min.....	31
3.9 Data: 19 de setembro de 2024.....	33
3.9.1 Turma: 202 - um período de aula das 8h45min às 9h30min.....	33
3.9.2 Turma: 102 - um período de aula das 9h30min às 10h15min.....	35
3.10 Data: 30 de setembro de 2024.....	37
3.10.1 Turma: 102 - um período de aula das 8h às 8h45min.....	37
3.11 Data: 3 de outubro de 2024.....	38
3.11.1 Turma: 202 - um período de aula das 8h45min às 9h30min.....	38
3.11.2 Turma: 102 - um período de aula das 9h30min às 10h15min.....	39
4 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO.....	40
4.1 Referencial Teórico.....	40
4.2 Referencial Metodológico.....	44
5 PLANEJAMENTO DIDÁTICO.....	47
5.2 Planos das aulas com relatos de regência.....	47
5.2.1 Aula 1: Apresentação e Experimento das Figuras de Chladni.....	47
5.2.2 Aula 2: Tipos de ondas e suas características.....	53
5.2.3 Aula 3: Relações matemáticas entre as grandezas físicas das ondas.....	62
5.2.4 Aula 4: Resolução de exercícios.....	69
5.2.5 Aula 5: Timbre.....	73

5.2.6 Aula 6: Reflexão.....	78
5.2.7 Aula 7: Medindo a Velocidade do Som.....	82
5.2.8 Aula 8: Refração.....	88
5.2.9 Aula 9: Ressonância.....	95
5.2.10 Aula 10: Difração, Interferência e Batimentos.....	103
5.2.11 Aula 11: Introdução às ondas eletromagnéticas.....	111
5.2.12 Aula 12: Ondas estacionárias.....	114
5.2.13 Aula 13: Resolução de Exercícios da Lista.....	119
5.2.14 Aula 14: Prova.....	121
6 CONCLUSÃO.....	123
REFERÊNCIAS.....	125
APÊNDICE A - Questionário sobre as atitudes dos alunos frente à disciplina de Física.....	128
APÊNDICE B - Cronograma de Regência.....	129
APÊNDICE C - Slides da Aula 1 e 2.....	133
APÊNDICE D - Lista de Exercícios de Ondulatória 1.....	138
APÊNDICE E - Prova do 3º bimestre.....	140
ANEXO A - Lista de Exercícios de Ondulatória.....	142

1 INTRODUÇÃO

Este foi mais um semestre atípico na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Devido às enchentes que atingiram Porto Alegre entre abril e maio de 2024, o semestre 2024/1 se estendeu até 31 de agosto, e o semestre seguinte, 2024/2, precisou começar em 23 de setembro, com término em 18 de janeiro de 2025. Essas mudanças trouxeram diversos desafios para a disciplina de Estágio III. Por exemplo, isso fez com que as aulas tivessem de começar em 15 de agosto, antes mesmo do fim do semestre 2024/1, e nossas férias foram suprimidas para que o cronograma da disciplina pudesse se alinhar ao das escolas onde os estágios seriam realizados.

A disciplina de Estágio III, de caráter obrigatório, é oferecida no último semestre do curso de Licenciatura em Física da UFRGS. Seu objetivo é inserir os futuros professores no contexto escolar no papel de docente em instituições de ensino médio de Porto Alegre e região metropolitana. É o primeiro contato mais intenso com o trabalho que envolve não apenas a experiência de ministrar aulas, mas também a elaboração de planos de aula e a realização de uma série de atividades burocráticas que ficam nos bastidores da atividade docente. O desafio já se apresenta na etapa inicial, que consiste em encontrar uma instituição escolar que atenda às necessidades do licenciando, às exigências da disciplina e que esteja disposta a receber estagiários. Após a escolha da instituição, é necessário cumprir os procedimentos burocráticos para formalizar o estágio, como o preenchimento de documentos, a coleta de assinaturas e a entrega dos termos de compromisso entre as partes envolvidas. Todo esse processo ocorre com o suporte do regente da disciplina e do orientador de estágio.

Uma das exigências da disciplina é o cumprimento de 20 horas de observação e 14 horas de regência. Dada a situação atípica do segundo semestre de 2024, foi autorizado que as observações começassem o mais cedo possível, incluindo a possibilidade de observar mais de uma turma e disciplina. Isso foi necessário para que a regência, que deveria obrigatoriamente começar entre os dias 21 e 25 de outubro, pudesse ser concluída até 6 de dezembro, em conformidade com o calendário escolar

Porém, como a minha regência foi no Colégio de Aplicação da UFRGS, que tem seu próprio cronograma que inclui atividades como o Conselho Participativo que

ocorreu entre 23 e 25 de setembro e as Olimpíadas do Colégio de Aplicação (OCA) que ocorreu entre os dias 14 e 19 de outubro, tive que começar minha regência ainda antes, no dia 9 de outubro.

Observei as turmas de primeiro e segundo ano, mais especificamente as turmas 101, 102, 201 e 202. Nas aulas o professor adotou uma metodologia interessante na resolução de exercícios, incentivando a participação dos alunos ao pedir que eles sugerissem as respostas antes de fornecê-las. Isso tornou as aulas mais interativas, evitando que os alunos fossem meros espectadores. No entanto, a falta de controle sobre a turma prejudicou o andamento das aulas, pois muitos estudantes se distraíram, conversavam ou usavam o celular, o que comprometeu o aproveitamento da maioria.

Havia um contraste perceptível entre o comportamento das turmas. Enquanto algumas aulas eram caóticas, com falta de atenção generalizada, outras eram mais organizadas, ainda que com alunos divididos entre os mais concentrados à frente e os mais dispersos ao fundo. Em ambos os grupos, havia participação, mas o uso do celular e as conversas frequentes contribuíram para que o foco se perdesse.

Antes de começar a regência, apliquei um questionário à turma 202 que pode ser encontrado no Apêndice A. O objetivo do questionário era compreender como os alunos se sentiam em relação tanto a Física quanto também a outras disciplinas, perguntar quais eram suas dificuldades e quais suas sugestões.

As observações me permitiram perceber o tamanho do desafio que seria dar aula para aqueles alunos, mas, apesar do frio na barriga, não me fizeram querer desistir. Logo na primeira aula tentei estabelecer alguma conexão com a turma. Na minha apresentação dei ênfase na minha infância e adolescência e nas influências que me incentivaram a fazer Física. Apresentei os desenhos animados e programas de TV que eu via quando pequeno e, por sorte, descobri que meus alunos também já haviam visto aqueles programas apesar de serem antigos do ponto de vista deles. Também falei das minhas dificuldades com a matemática, dificuldades que, pelas respostas que eles deram ao questionário do Apêndice A, eles também tinham. Tudo isso parece ter tido algum efeito, dado que a maioria das aulas que ministrei foram tranquilas, a turma prestou bastante atenção e alguns alunos me ajudaram em momentos de dificuldade, como, por exemplo na hora de fazer a chamada.

Este trabalho inicia-se com a caracterização da escola e da turma de regência no Capítulo 2. Em seguida, são apresentados os relatos das observações realizadas

no Capítulo 3. No Capítulo 4, discute-se o referencial teórico-metodológico que fundamenta a realização da minha prática docente. O Capítulo 5 traz o planejamento didático detalhado para cada aula, acompanhado dos relatos das regências realizadas. Por fim, o Capítulo 6 apresenta a análise da experiência docente desenvolvida ao longo do processo.

2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESCOLA

O Colégio de Aplicação da UFRGS é uma unidade de educação básica mantida e administrada pela universidade. Atualmente ele se encontra no Campus do Vale situado no bairro Agronomia, em Porto Alegre-RS, próximo a divisa com a cidade de Viamão. Sua finalidade é desenvolver atividades de ensino, pesquisa e extensão, com foco na inovação pedagógica e na formação docente na Educação Básica (CAp, 2024).

Figura 1 - Fachada do Colégio



Fonte: Zandavalli, 2023.

A infraestrutura do colégio é formada por três prédios. As salas de aula são equipadas com quadro branco, projetor e computador. As classes seguem o padrão da UFRGS, sendo do tipo cadeira com prancheta acoplada para escrever. O colégio também conta com enfermaria, biblioteca, sala de teatro, três laboratórios de informática, dois laboratórios de línguas estrangeiras, dois laboratórios de música, além de um laboratório de artes visuais, um laboratório Biologia e Química, um laboratório Física e Matemática, outro laboratório de fotografia e mais um laboratório de Educação Física e Atividades Múltiplas. A escola também oferece gabinetes para os professores, organizados por departamentos: Departamento de Comunicação, o Departamento de Ciências Exatas e da Natureza, o Departamento de Expressão e Movimento e o Departamento de Humanidades. Também há um campo de futebol, três quadras poliesportivas, uma horta, um refeitório e uma cantina (CAp, 2019).

Figura 2 - Planta Baixa do Colégio de Aplicação UFRGS



Fonte: CAp, 2019.

Uma característica distintiva do colégio é o Conselho de Classe Participativo. Pelo que observei, esse conselho permite que o professor converse individualmente com cada aluno sobre seu desempenho ao longo do bimestre. Durante essas conversas, o professor corrige a prova do aluno na sua presença, permitindo que o aluno faça comentários e críticas.

O colégio matricula os alunos selecionados por meio de sorteio público e o público de estudantes é heterogêneo, pois possui tanto estudantes de baixa renda quanto alunos de técnicos e professores da universidade entre outros.

A turma com a qual realizei a regência, a 202, tinha, registrados na chamada, 33 alunos, dos quais apenas 3 nunca compareceram a nenhuma aula. A faixa etária dos estudantes variava entre 16 e 17 anos. A turma era equilibrada em termos de gênero, sendo composta por metade meninas e metade meninos. Das turmas que observei, esta se destacou como a mais calma, apesar das dificuldades com os alunos que se sentavam no fundo da sala.

Havia um grupo, composto majoritariamente por meninas, que costumava se sentar mais à frente e ao centro da sala. Esses estudantes demonstravam grande dedicação e raramente se distraíam com conversas paralelas. Em contraste, o grupo do fundo era mais diversificado e bastante falante. Contudo, esse mesmo grupo também se destacou pela participação ativa durante as aulas, fazendo e respondendo perguntas com frequência.

Havia, ainda, três alunos com deficiência na turma. Um deles apresentava problemas auditivos, outra aluna tinha deficiência visual e necessitava que provas e atividades fossem impressas com fonte ampliada, e uma última aluna apresentava dificuldades de concentração, necessitando realizar provas separadamente do restante da turma para evitar distrações, além de precisar de questões mais diretas e objetivas.

A escolha dessa turma se deveu a dois fatores principais. Em primeiro lugar, foi realizado um sorteio entre os quatro estagiários para definir a ordem de escolha das turmas. Como fui o último sorteado, seria também o último a escolher. No entanto, a escolha poderia ser negociada entre nós, caso houvesse algum empecilho relacionado a horários ou outros compromissos. Optei pela turma 202 devido ao horário das aulas, que não conflitava com nenhuma outra atividade em minha agenda. Felizmente, meus colegas não apresentaram objeções durante a negociação, o que me permitiu ficar com a 202.

3 RELATOS DAS OBSERVAÇÕES

Para cumprir as 20 horas de observação exigidas, recebemos autorização para iniciar as atividades o mais rapidamente possível, com a possibilidade de acompanhar diferentes turmas e disciplinas. As observações tiveram início no dia 2 de setembro, abrangendo turmas do primeiro e do segundo ano do ensino médio, mais especificamente as turmas 101, 102, 201 e 202. A seguir, apresento os relatos detalhados das observações realizadas.

Embora houvesse a possibilidade de observar aulas em diferentes disciplinas, todas as atividades foram conduzidas em aulas de Física, ministradas pelo mesmo professor. O professor em questão possui graduação em Licenciatura em Física pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) e Mestrado em Ensino de Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Na ocasião, ele também estava cursando o doutorado em Ensino de Física, pela mesma instituição.

3.1 Data: 2 de setembro de 2024

3.1.1 Turma: 202 - um período de aula das 15h às 15h45min

Cheguei à sala e encontrei uma turma bastante agitada. Os alunos estavam divididos em duas "ilhas": a maioria se encontrava em um grupo de classes logo em frente ao quadro-branco, enquanto um segundo grupo estava encostado na parede do fundo da sala. Entre os dois grupos, havia um espaço vazio. Eles conversavam muito entre si, mas o professor não os repreendeu. Ele simplesmente começou a aula, falando mais alto do que a algazarra geral. A maioria dos alunos parou para ouvir, mas não todos.

O professor não fez a chamada e já começou a aula lembrando aos alunos que haveria uma prova na próxima aula e que a aula de hoje era para tirar dúvidas sobre as listas de exercícios. Ele perguntou quais exercícios os alunos queriam refazer. Alguns alunos fizeram sugestões, que foram anotadas no quadro. O professor projetou a lista de exercícios na tela, cujo conteúdo era sobre a teoria dos gases ideais. O primeiro exercício tratava dos processos termodinâmicos. Após ler o enunciado em voz alta, o professor perguntou aos alunos quais são os quatro processos termodinâmicos. No entanto, uma aluna que estava sentada bem na frente lembrou o professor que ele apresentou apenas três processos

termodinâmicos nas aulas passadas, ela mostrou o caderno para ele e eles descobriram que estava faltando o processo adiabático. O professor, então, apresentou rapidamente o último processo e voltou para a lista de exercícios.

A aluna da frente fez várias perguntas de forma bem decidida, que foram respondidas, mas ela parecia não entender as respostas e continuava fazendo mais perguntas, até finalmente dizer que entendeu. Após responder as dúvidas da aluna, o professor retornou à resolução do exercício. Ele não respondeu às questões diretamente; em vez disso, fez várias perguntas a alguns alunos, chamados pelo nome. Nenhum aluno pareceu se incomodar com isso; pelo contrário, eles interagiram bastante e, assim como foram questionados, também fizeram muitas perguntas.

No meio do caminho, encontraram um exercício sem a resposta certa para marcar. A aluna da frente fez mais algumas perguntas ao professor, tantas que ele se aproximou e começou a responder apenas para ela, enquanto a turma se agitava em conversas paralelas sem fim. Depois que ela pareceu entender, ele voltou a resolver outra questão, desta vez uma questão do vestibular da UFRGS sobre um balão que sobe na atmosfera até uma região onde a pressão é menor. Os cálculos foram feitos passo a passo, e o professor sempre perguntava a algum aluno aleatório o que deveria ser feito. Porém, antes de terminar essa questão, o sinal tocou.

Ao todo, foram resolvidas cerca de cinco questões. Apesar de toda a agitação da turma, havia uma menina sentada na parede da esquerda, entre as duas ilhas, que passou a segunda metade da aula dormindo em posição fetal. Achei ter ouvido ela dizer que estava com dor de cabeça, mas não tenho certeza. A posição em que ela se sentava e a sua linguagem corporal me deu a entender que ela não deve pertencer a nenhum dos dois grupos ou ilhas, mas isso pode ter sido apenas uma impressão minha sem correspondência na realidade.

Achei interessante a forma como o professor resolveu os exercícios, sempre perguntando primeiro a algum aluno o que deve ser feito, esperando que alguém dê a resposta correta e só a fornecendo caso ninguém acertar. Dessa forma, ele fez com que todos participassem da resolução e não fossem meros espectadores. Pretendo fazer do mesmo modo quando for a minha vez de ministrar aula.

3.2 Data: 5 de setembro de 2024

3.2.1 Turma: 202 - um período de aula das 8h45min às 9h30min

O professor se atrasou alguns minutos. Enquanto aguardavam, alguns alunos conversavam entre si sobre o conteúdo da prova, fazendo perguntas como o significado de uma letra em determinada equação, entre outras dúvidas. O professor chegou e, após todos se sentarem, começou a distribuir provas. São dois tipos de prova: A e B, cujo conteúdo é o mesmo, mas as questões são diferentes para se evitar colas. Durante a distribuição, um aluno perguntou se a prova deveria ser feita a caneta, apesar de essa instrução estar claramente escrita na primeira página. O conteúdo da prova era sobre Termodinâmica, mais especificamente sobre os Estados Físicos da Matéria e a Lei dos Gases Ideais. Ao todo, foram cinco questões, sendo duas delas retiradas de provas do vestibular da UFRGS. O professor escreveu as seguintes equações no quadro para auxiliar os estudantes:

$$\frac{P_1.P_1}{T_1} = \frac{P_2.P_2}{T_2} \quad (1)$$

$$T_K = T_c + 273 \quad (2)$$

$$P.V = n.R.T \quad (3)$$

Os alunos fizeram a prova em silêncio, embora eventualmente alguém perguntasse algo ao professor. Ele respondeu a alguns, mas, dependendo da pergunta, apenas disse: "não sei".

Alguns alunos terminaram ou desistiram da prova rapidamente e saíram da sala logo após entregá-la. O primeiro a entregar foi tão rápido que pareceu ter apenas lido as questões. No entanto, a maioria dos alunos permaneceu na sala até o fim do período. Ao final, tudo pareceu ter ocorrido bem e sem incidentes, com todos entregando a prova antes do sinal tocar.

Não sei se existe algo inovador que possa ser feito na aplicação de provas além do que observei o professor fazer nesta avaliação.

Quanto à prova A, que recebi, achei que a primeira questão forçou um pouco os limites da imaginação. A questão falava de Jorge e seus amigos, que se reuniam para jogar videogame e faziam um miojo para o jantar. Quando Jorge, que morava em Porto Alegre, se mudou para a Serra Gaúcha, ele notou uma diferença no tempo que a água levava para evaporar no preparo do miojo. A narrativa seria normal, exceto pelo fato de incluir situações um tanto irreais, como Jorge cronometrar o tempo exato para a água ferver e ter uma torneira térmica em casa, tanto em Porto Alegre quanto na Serra, que fazia com que a água estivesse sempre na mesma temperatura inicial. Para que ele percebesse essa diferença, seria necessário que essas condições, estranhas para o nosso cotidiano, estivessem presentes.

Uma sugestão seria usar um exemplo que uma professora me apresentou uma vez. No exemplo dela, um grupo de professores gaúchos foi para um congresso nos Andes e, lá, prepararam um chimarrão. Para saber quando a água estava na temperatura adequada para o mate, eles ouviam a chaleira. Quando a chaleira começava a chiar, era hora de desligar o fogão. Eles procederam da mesma forma nos Andes, mas descobriram que a água ainda estava fria ao tomar o mate. O que estava acontecendo? Esse exemplo é interessante porque não há nada de irreal nele. Não é necessário uma torneira especial nem medições meticulosas para que o fenômeno seja perceptível.

Outra questão da prova me deixou em dúvida. Tratava-se de uma imagem que representava moléculas dentro de um recipiente. Pela forma das moléculas, era possível supor que fossem moléculas de água. A pergunta era: "Qual o estado físico da substância na imagem?". No entanto, o desenho não me pareceu muito claro. As moléculas não estavam organizadas em uma formação cristalina, o que, no caso da água, indicaria o estado sólido. Contudo, elas estavam todas concentradas em uma pequena região, como se formassem um corpo estranho. Fiquei em dúvida se a resposta correta seria líquida ou gasosa. O termômetro da imagem indicava uma temperatura muito baixa, 150 K, mas não havia qualquer informação sobre a pressão. Enfim, acredito que a melhor resposta seja líquida, já que as moléculas estavam muito próximas e não apresentavam uma formação cristalina, mas não tenho certeza. Acho que o professor não queria uma resposta exata, mas sim o desenvolvimento do raciocínio; ele queria avaliar os argumentos dos alunos, talvez. Se esse foi o caso, é uma ótima questão para fazer os alunos pensarem.

Os alunos me pareceram muito interessados em fazer a prova, provavelmente mais preocupados com as notas do que interessados no conteúdo de Física. Embora desejemos que eles desenvolvam uma verdadeira paixão pela disciplina, a motivação gerada pelo medo da reprovação ainda se mostra significativamente mais forte. O professor manteve-se sempre a disposição para tirar dúvidas em relação à prova, mas não ao conteúdo da mesma. Ele seguiu bem o modelo tradicional, ao meu ver.

3.2.2 Turma: 102 - um período de aula das 9h30min às 10h15min

O professor iniciou a aula separando a turma em dois grupos: à direita, os alunos que fariam a prova de recuperação; à esquerda, os que não fariam deveriam permanecer em silêncio e se distrair com os celulares. Enquanto o professor distribuía as provas, uma aluna chegou atrasada e ofegante, sentou-se junto ao grupo dos que fariam a recuperação. No quadro o professor anotou as seguintes equações:

$$v = \frac{d}{t} \quad (4)$$

$$c = \frac{1}{100} \quad (5)$$

$$m = \frac{1}{1000} \quad (6)$$

$$k = \times 1000 \quad (7)$$

$$1h = 60min \quad (8)$$

A prova abordava conteúdos de astronomia e mecânica, com foco nos seguintes tópicos: sistema solar, proporções e escalas, grandezas físicas e unidades de medida, além de uma introdução ao movimento.

Ao todo, foram cinco questões. Uma delas era da OBA (Olimpíada Brasileira de Astronomia), outra do vestibular da UFRGS e duas do ENEM.

Os alunos que ficaram utilizando os celulares realmente permaneceram em silêncio. Aos poucos, os alunos que estavam realizando a prova foram terminando e se juntando ao outro grupo. Alguns dos que finalizaram formaram pequenos grupos, conversando em voz baixa e rindo de algo.

No final da aula, o professor se lembrou de fazer a chamada e pediu que os presentes escrevessem seus nomes em uma folha e a entregassem. A recuperação transcorreu de forma tranquila, sem incidentes. Após a prova, os alunos seguiram para o recreio.

Me chamou a atenção o fato de metade da turma ter ficado quieta enquanto a outra metade fazia a prova. Pelo menos até alguns que fizeram a prova terminarem e se reunirem para conversar, o silêncio foi quase absoluto. Mais uma vez notei que havia muito interesse em passar na prova, mas não necessariamente no conteúdo de física em si.

3.3 Data: 9 de setembro de 2024

3.3.1 Turma: 202 - um período de aula das 15h às 15h45min

A turma demorou um pouco para se acomodar. O professor deu alguns minutos para que todos entrassem na sala e se sentassem. Ele pediu atenção para comentar sobre a recuperação, que será na quinta-feira da próxima semana. Enquanto ele falava, dois alunos chegaram atrasados. A prova de recuperação terá dez questões: cinco relacionadas ao conteúdo de uma prova anterior e cinco ao conteúdo da última prova. As duas provas anteriores valerem vinte pontos cada. Outros vinte pontos foram atribuídos a um mapa conceitual, outros vinte a um vídeo, e mais vinte serão pela participação em aula. A recuperação não abrange toda a nota, funcionando da seguinte forma:

$$\text{Nota final} = (\text{média das duas provas} + \text{nota da recuperação})/2 \quad (9)$$

Após essa explicação, o professor entregou as provas e disse: "quem se sentir injustiçado, pode questionar". Um aluno questionou e parece que conseguiu rever sua nota.

O professor abriu uma planilha do Excel no computador, que fica em sua mesa, para mostrar aos alunos a soma de suas notas. Aqueles que quiseram foram até a mesa, formando um pequeno grupo ao redor do professor, mas também houve

aqueles que preferiram ficar conversando no fundo da sala. No entanto, o professor dispersou o grupo e começou a chamar os alunos um a um. Depois que todos viram suas notas e receberam conselhos do professor, ele pediu novamente que alguém passasse uma folha para que os presentes assinassem seus nomes. Em seguida, pediu que os que assinassem fossem para o recreio, encerrando a aula.

Acho muito interessante a forma como o Colégio de Aplicação lida com as provas. Os professores não apenas entregam as avaliações, como faziam os meus na época de escola, mas comentam as notas individualmente com cada aluno. No semestre passado, durante meu estágio no ensino fundamental, a professora reservou uma sala para conversar individualmente com cada aluno sobre a prova e as notas. Agora, no ensino médio, o professor não reserva mais uma sala, mas faz o mesmo de forma simplificada. Essa prática é interessante, pois aproxima o professor dos alunos, permitindo que ele entenda suas necessidades e possa adaptar suas futuras aulas para melhor atender à turma, mas acho que seria mais apropriado fazer isso em um outro momento. Talvez fosse melhor marcar um período para os alunos interessados irem se encontrar com o professor na sala dele.

3.4 Data: 11 de setembro de 2024

3.4.1 Turma: 101 - um período de aula das 15h às 15h45min

Os alunos foram chegando aos poucos na sala de aula. O professor os aguardava na porta, mas após algum tempo, ele fechou a porta e começou a entregar as provas corrigidas. Os alunos que chegaram depois disso precisaram passar na diretoria para pegar o "bilhete". A turma estava agitada, e muitos estudantes nem sequer se sentaram. Um deles fez uma comemoração ao descobrir que tirou A na prova.

Depois de entregar todas as provas, o professor pediu que os alunos se sentassem, mas a maioria sequer ouviu. Foi preciso repetir o pedido três vezes até que finalmente o obedecessem. Ele iniciou a aula lembrando que o "trabalho das tabelas" deveria ser entregue até sexta-feira. Em seguida, começou a abordar o novo conteúdo do terceiro trimestre: cinemática. Assim que escreveu a palavra "cinemática" no quadro, um aluno perguntou se tinha algo a ver com cinema. O professor respondeu que sim e não, explicando que o cinema lida com imagens em

movimento, e a cinemática é a ciência do movimento. Talvez ele pudesse ter explicado isso melhor, mas devido à agitação da turma, preferiu seguir adiante.

Ele também mencionou que os alunos começariam a usar funções matemáticas na Física. Perguntou se eles lembravam o que era uma função. Alguns responderam afirmativamente, enquanto outros pareciam incertos, então ele desenhou um exemplo de função no quadro.

O objetivo do professor era apresentar os conceitos de "trajetória", "distância percorrida" e "deslocamento". Para ilustrar, ele desenhou uma vaca no quadro e contou uma história sobre ela, chamando-a de "Mimosa". Aos poucos, a turma parou de conversar e passou a prestar atenção. Um silêncio se estabeleceu enquanto o professor relatava que Mimosa, após comer um pasto estranho que a deixou com tonturas e diarreia, tentou voltar ao estábulo, mas não conseguia andar em linha reta, fazendo várias voltas e marcando o caminho com suas fezes. Ele desenhou no quadro o percurso da vaca e perguntou o que seria a trajetória dela. Depois de ouvir algumas respostas, escreveu que trajetória "é o caminho que foi ou será percorrido".

A aula prosseguiu e, ao perguntar o que seria a distância percorrida, um aluno mais atento respondeu que era a medida da trajetória. O professor confirmou a resposta e escreveu no quadro: "distância é a medida da trajetória". Conforme os tópicos mais teóricos surgiam, alguns alunos começaram a perder o foco. Quando chegou ao conceito de deslocamento, o professor alertou que era um conceito mais abstrato e fez a pergunta: "O que é deslocamento?". Deixou que os alunos pensassem enquanto ele ligava o computador. Ele marcou os pontos de partida e de chegada no quadro e explicou que o deslocamento é a distância em linha reta entre esses dois pontos. Também lembrou que, na geometria, uma linha reta é o menor caminho entre dois pontos, o que gerou alguma confusão entre os alunos.

O professor usou o aplicativo *Google Maps* para ilustrar o conceito de maneira prática, projetando o mapa no quadro. Pediu que os alunos escolhessem um destino, e uma aluna sugeriu o restaurante *Outback*. O mapa mostrou várias rotas em azul. Ao perguntar o que representava aquela linha azul, cada aluno deu uma resposta diferente. Quando entenderam que era a trajetória, o professor comparou as diferentes rotas. Uma aluna então perguntou se a trajetória mais curta seria o deslocamento. O professor tentou explicar novamente, mas não ficou claro se os alunos entenderam completamente.

A aula terminou com o professor fazendo a chamada.

Fiquei impressionado com o impacto positivo que a história da Mimosa teve em prender a atenção dos alunos. Foi um excelente recurso, pois permitiu exemplificar bem os conceitos que ele queria ensinar. Por outro lado, achei que a explicação sobre deslocamento foi um pouco confusa, o que deixou alguns alunos em dúvida. Bastava dizer que, às vezes, o caminho percorrido não é o mais importante; o essencial é saber de onde o movimento começou e onde ele terminou. O termo "deslocamento" serve justamente para expressar isso.

3.4.2 Turma: 201 - dois períodos de aula das 16h às 17h30min

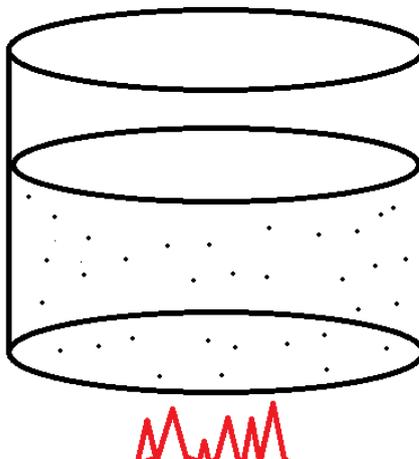
A aula começou logo após o recreio. Os alunos retornaram à sala conversando e comendo seus lanches. O professor iniciou a entrega das provas corrigidas, enquanto a turma fazia barulho e alguns alunos se distraíam com o celular. Após entregar algumas provas, ele passou a explicar como funcionaria a recuperação, conforme já descrito no item 3.3.1 deste trabalho.

Concluída a explicação sobre a recuperação, o professor terminou de entregar o restante das provas. Notei que uma aluna chorava discretamente em sua cadeira, provavelmente por causa da nota que havia recebido. Em seguida, ele começou a chamar os alunos individualmente para mostrar as notas de forma mais detalhada, seguindo o procedimento que já mencionei no item 3.3.1. Acredito que teria sido interessante se ele revisasse as questões da prova com a turma, mas isso não aconteceu.

Depois de atender o último aluno, o professor deu início à explicação sobre a Primeira Lei da Termodinâmica. Muitos alunos continuaram conversando, mesmo enquanto ele falava, e essa situação permaneceu até o final da aula. No quadro, ele desenhou um recipiente com moléculas e uma tampa móvel, semelhante a um êmbolo de seringa. O desenho original se assemelha ao da Figura 3.

Abaixo do recipiente, desenhou uma chama e perguntou o que acontecia com o gás no interior ao ser aquecido. Ele também questionou o motivo pelo qual o volume aumenta com o aumento da temperatura. Os alunos tentaram responder de diferentes maneiras; embora nenhuma resposta estivesse completamente errada, todas estavam incompletas.

Figura 3 - Recipiente com gás e tampa móvel



Fonte: Autor, 2024.

Para ilustrar melhor, o professor abriu uma simulação do PhET, mas não conseguiu fazer com que a simulação mostrasse o que ele pretendia. Enquanto ele tentava ajustar a simulação, a turma, já desatenta, continuava conversando sem controle. No final, ele não conseguiu demonstrar o que queria com a simulação e encerrou a aula fazendo a chamada em meio à desordem.

Na minha percepção, essa foi uma aula pouco proveitosa para a maioria dos alunos. Tirando um pequeno grupo que prestava atenção e participava, a maioria conversava ou mexia no celular. O professor não tentou controlar a turma em momento algum, o que, a meu ver, foi prejudicial para todos.

3.5 Data: 12 de setembro de 2024

3.5.1 Turma: 202 - um período de aula das 8h45min às 9h30min

Com exceção de alguns alunos no fundo da sala, a turma estava bastante tranquila. A maioria permanecia em silêncio em suas classes. Mais uma vez, as classes estavam organizadas em duas "ilhas": a dos que se sentam bem à frente e a dos que preferem ficar encostados na parede do fundo. Ao lado do quadro branco, em todas as salas de aula que conheci, há um aviso que diz: "Por favor, coloquem as classes no lugar". O aviso soa até irônico, considerando o estado em que as carteiras estão nesta sala e nas outras que visitei.

O professor iniciou a aula fazendo a chamada e, em seguida, entregou algumas provas corrigidas para os alunos que faltaram à aula anterior. Esta foi a primeira aula do terceiro trimestre para essa turma. Os alunos estavam atentos e em

silêncio. Uma prova já estava marcada para o dia 3 de outubro, e o professor me apresentou à turma como o estagiário que assumirá as aulas na segunda metade do bimestre. Até aquele momento, eu já havia observado três aulas dessa turma, porém não era o único estagiário a acompanhar as observações, de modo que os alunos ainda não sabiam quem seria o regente deles.

O professor seguiu com a aula, revisando a Lei Zero da Termodinâmica, e começou a introduzir a Primeira Lei. Uma aluna perguntou por que existe uma "Lei número zero", ao que o professor explicou que essa lei foi descoberta depois das demais, mas foi considerada mais fundamental. Para iniciar a discussão sobre a Primeira Lei, o professor lembrou a Lei de Conservação da Energia e começou a desenhar, como na aula anterior para outra turma, um recipiente com uma tampa móvel contendo um gás em seu interior. Abaixo do recipiente, ele desenhou uma chama. Ele perguntou à turma quais eram os parâmetros de um gás ideal. Os alunos do fundo responderam rapidamente, sobrepondo-se uns aos outros: "volume, pressão e temperatura". A resposta veio de forma rápida, confiante e correta. Aliás, eles responderam corretamente à maioria das perguntas do professor e, quando erravam, logo identificavam o erro e se corrigiam.

Depois de concluírem que, com o aumento da temperatura, a pressão e o volume também aumentam, o professor apresentou a equação:

$$Q = E_i + W \quad (10)$$

Onde Q foi definido como "quantidade de calor", E_i como "energia interna" e W como "trabalho". Os alunos não demonstraram dificuldades em compreender o que foi apresentado. A aula foi tão tranquila que terminou cinco minutos antes do sinal. Uma aluna então perguntou se o professor poderia passar mais algum conteúdo, já que havia sobrado tempo, e ele apresentou a equação do trabalho:

$$W = P \cdot \Delta V \quad (11)$$

Onde P é a pressão e V é o volume do gás. Alguns alunos tiraram fotos do quadro e, em seguida, foram liberados.

Achei muito interessante o contraste entre o comportamento das turmas 201 e 202. Enquanto a turma 201 estava extremamente caótica, com muitos alunos sem demonstrar o mínimo interesse na aula, a turma 202 parecia o completo oposto. A

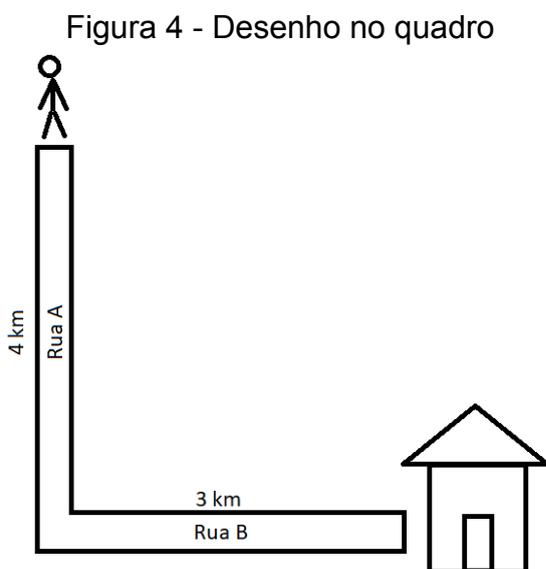
aula fluiu muito bem, o professor conseguiu apresentar todo o conteúdo planejado, e os alunos mostraram uma boa compreensão do que foi exposto, bem diferente do que ocorreu na aula anterior.

3.5.2 Turma: 102 - um período de aula das 9h30min às 10h15min

A turma estava tranquila, embora vários alunos conversassem entre si, sem gerar tumultos. As carteiras também estavam organizadas. O professor fez a chamada e, em seguida, começou a escrever um "exemplo" no quadro — uma mistura de exemplo e exercício. Enquanto ele escrevia, a maioria dos alunos se distraía com os celulares e continuava a conversar. Apenas alguns poucos copiavam em seus cadernos. O professor não disse que era necessário copiar; na verdade, ele não deu nenhuma instrução, apenas escreveu no quadro como se a turma não existisse. Ele desenhou as ruas com suas medidas, a casa e um boneco representando Zé. O desenho era semelhante ao da Figura 4.

Uma aluna passou um bom tempo reclamando que não conseguia conectar seus fones de ouvido ao celular, pois havia outro dispositivo com o mesmo nome na sala. Ela saiu, aparentemente para ir ao banheiro, mas quando voltou, descobri que tinha ido ao corredor para conectar seus fones, onde o sinal do outro fone não interferia.

No quadro, o professor escreveu: "Zé foi até a casa, passando pela rua A e pela rua B. Qual a distância percorrida? Qual o deslocamento?".



Fonte: Autor, 2024.

Além disso, o professor escreveu os termos "corpo extenso", "ponto material" e "velocidade média", seguidos por dois pontos, e a equação 12, junto a um plano cartesiano:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (12)$$

Assim que terminou de escrever, ele avisou que daria um tempo para os alunos copiarem e se sentou. O tempo que esperou foi muito maior do que o necessário. Nesse período, os alunos continuaram mexendo nos celulares, ouvindo música nos fones e conversando.

Quando o professor começou a resolver o exemplo no quadro, os alunos se acalmaram. Metade prestou atenção, enquanto a outra metade ainda estava no celular. Não houve dificuldade em calcular a distância percorrida, e logo entenderam que o deslocamento era a hipotenusa do triângulo formado pelas duas ruas. O professor então seguiu explicando o conceito de "corpo extenso" usando o exemplo de um carro, mas também utilizou o carro para ilustrar o que seria um "ponto material". Isso causou confusão, e os alunos não conseguiram distinguir claramente os dois conceitos. O professor precisou explicar com mais cuidado que, em certas situações, o carro poderia ser considerado um corpo extenso, e em outras, um ponto material. No final, acredito que os alunos que prestaram atenção acabaram compreendendo.

Uma aluna, no entanto, ainda estava confusa sobre o conceito de deslocamento e começou a fazer perguntas relacionadas ao desenho que o professor já havia explicado. Essas perguntas deram ao professor a oportunidade de questionar a turma sobre o que aconteceria com o deslocamento se Zé retornasse ao ponto inicial ao final do percurso. Cada aluno deu uma resposta diferente, até que um, que se sentava na frente, pareceu perceber que o deslocamento deveria ser zero. Essa resposta gerou polêmica, e muitos questionamentos surgiram até que as dúvidas fossem esclarecidas.

No fim, não houve tempo para abordar o conceito de velocidade média.

Na minha opinião, a atitude do professor, ou a falta dela, ao sentar e esperar que os alunos copiassem o que estava no quadro, foi improdutiva. Teria sido muito mais eficaz se ele tivesse se imposto, orientado os alunos a copiarem ou simplesmente continuado com a aula. O tempo que ele ficou parado serviu apenas

para atrasar o andamento da aula e fazer com que os alunos perdessem o foco. Faltou comunicação nesse momento. A aula não foi mal planejada, mas, em minha opinião, foi mal executada.

3.6 Data: 13 de setembro de 2024

3.6.1 Turma: 101 - um período de aula das 9h30min às 10h15min

Assim que entrou na sala, o professor começou a escrever no quadro, sem cumprimentar a turma. Ele escreveu "movimento retilíneo uniforme" e, abaixo de cada palavra, anotou: "quando algo se desloca ao longo do tempo", "em linha reta" e "da mesma forma, padronizado". Enquanto ele escrevia, a turma se distraía. No entanto, assim que começou a falar, todos ficaram em silêncio e em seus lugares. Alguns alunos estavam com o celular na mão, enquanto outros observavam atentamente.

O primeiro assunto abordado pelo professor foi o lembrete de que os alunos tinham um trabalho a ser entregue até o dia 27 de setembro e que a prova seria no dia 4 de outubro. Após isso, ele começou a explicar o MRU. Ele detalhou o significado de cada palavra, destacando que "uniforme" indicava algo padronizado no movimento, mas não especificou o que. Para ilustrar, mencionou que um uniforme escolar, como o do colégio militar, é um traje padronizado, usado por todos os estudantes. Contudo, como ele não esclareceu que, no MRU, "uniforme" se refere à velocidade, ficou a dúvida: "O que o MRU tem a ver com o uniforme do colégio militar?"

Em seguida, ele escreveu no quadro a equação:

$$x(t) = x_i + v_x t \quad (13)$$

O professor explicou que essa equação deriva da equação (12) e a chamou de Equação Horária da Posição. Um aluno, então, perguntou como essas equações se relacionavam. O professor, por falta de tempo, disse que não faria a demonstração, mas que era fácil de entender. Explicou que, ao reorganizar as variáveis da equação (12) e considerando o tempo inicial como zero, chega-se à equação (13). O aluno pareceu acompanhar o raciocínio e compreender.

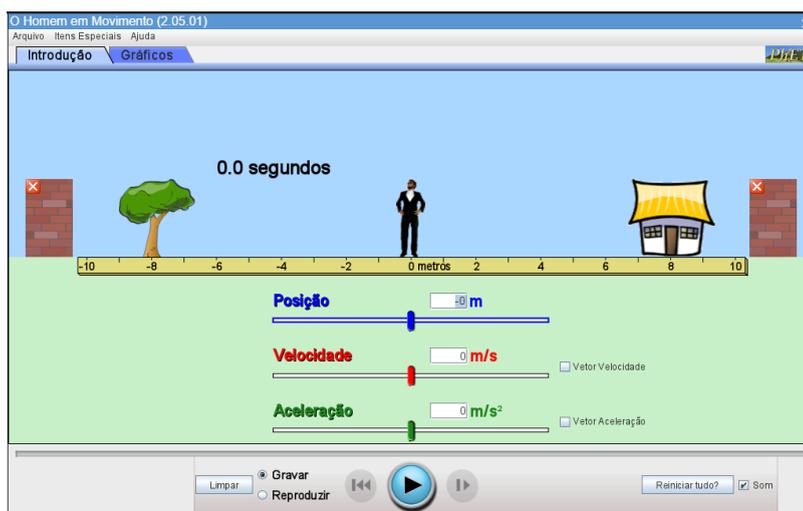
O professor então relacionou a Equação Horária do Movimento com a função de primeiro grau, que os alunos haviam aprendido em matemática:

$$f(x) = ax + b \quad (14)$$

Para demonstrar o conceito de deslocamento, o professor chutou uma lixeira, fazendo um grande barulho. A lixeira foi parar do outro lado da sala, assustando alguns alunos. Ele explicou que, antes do chute, a lixeira estava em uma posição, e agora estava em outra, ilustrando o deslocamento. Usou o piso quadriculado da sala para comparar com o papel milimetrado, usado pelos alunos para desenhar gráficos. Embora nem todos conseguissem ver as lajotas próximas aos pés do professor, ele apontou uma como a origem do gráfico cartesiano e perguntou: "Se esta é a origem, em que posição no eixo x está a lixeira?" Um aluno, que estava mais próximo, respondeu sem dificuldades. O professor repetiu o exercício ao mover a lixeira e fez a mesma pergunta, que foi novamente respondida pelo mesmo aluno.

No decorrer da aula, o professor finalmente perguntou: "Qual é a característica uniforme do MRU?" Os alunos deram diversas respostas, até que um deles adivinhou: a velocidade. O professor explicou que se tratava de uma velocidade média, mas não detalhou o motivo. O foco era comparar a função de primeiro grau com a equação horária, destacando que bastava substituir $F(x)$ por $x(t)$, a por v_x , x por t e b por x_i para transformar uma função na outra.

Figura 5 - Simulação do PhET O Homem em Movimento.



Fonte: PhET, 2024b.

Depois, ele pediu aos alunos que copiassem o que estava no quadro enquanto ligava o computador. Uma aluna se levantou para tirar uma foto do quadro. Nesse meio-tempo, um aluno fez alguns comentários sobre sociologia, mencionando

que não concordava com certos pontos discutidos na aula de sociologia. O professor, de forma breve, respondeu o argumento apresentado na aula de sociologia era o considerado correto e voltou sua atenção para o quadro onde projetou uma simulação do PhET sobre o MRU. A simulação que o professor usou se chama O Homem em Movimento, mostrada na Figura 5.

Antes de rodar a simulação, o professor pediu que os alunos sugerissem dois números quaisquer para a velocidade e a posição inicial, que foram inseridos na equação (13). Os números escolhidos foram 2 e 5. Ele então perguntou quais seriam os valores de $x(t)$ para t igual a zero, um, dois, e assim por diante, construindo a seguinte tabela com os resultados:

Tabela 1: MRU

$t(s)$	$x(m)$
0	5
1	7
2	9
3	11

Fonte: Autor, 2024.

Após fazer as previsões com a tabela, ele testou os resultados na simulação, ajustando os parâmetros e deixando o tempo passar segundo a segundo. Repetiu o exercício duas vezes antes de fazer a chamada e liberar a turma.

Por fim, vale notar que o professor poderia se conectar mais com os alunos ao cumprimentá-los ao entrar na sala. Além disso, a falta de atenção à utilização dos celulares durante a aula prejudica a concentração dos estudantes. Embora alguns prestem atenção, parece que o professor não se importa muito com essa dispersão.

3.7 Data: 16 de setembro de 2024

3.7.1 Turma: 202 - um período de aula das 15h às 15h45min

Nem preciso dizer que os alunos estavam agitados, fazendo algazarra e brincadeiras quando o professor entrou na sala. Como de costume, ele esperou alguns minutos até que todos chegassem e se acomodassem. Antes disso, o professor de química apareceu na porta para dar um breve recado sobre a prova de

recuperação, que coincidentemente seria no mesmo dia da prova de Física. Após o recado, ele cumprimentou a turma e se despediu.

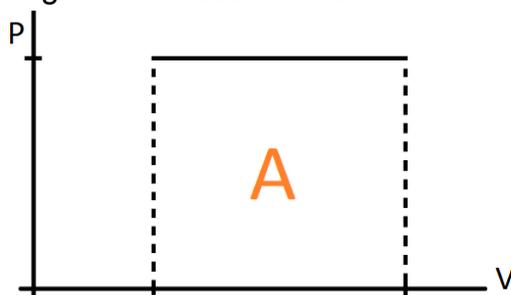
Depois de seis minutos de agitação e interrupções, o professor pediu para que os alunos se acalmassem para que ele pudesse fazer a chamada, mas isso não adiantou muito. Ele começou a chamada mesmo assim, tendo que levantar a voz para ser ouvido. Após a chamada, ele conversou e deu risada com alguns alunos que se sentavam bem à frente de sua mesa.

Finalmente, o professor se dirigiu à turma para anunciar que estava dando suas últimas aulas antes de eu assumir e que na próxima quinta-feira haveria uma aula de Filosofia no lugar da de Física. Essa notícia gerou uma comemoração entre os alunos, que mostraram ter mais simpatia por filosofia do que por Física. Curioso, o professor perguntou o que eles estavam estudando em filosofia, e uma aluna respondeu que era epistemologia.

Voltando ao conteúdo da aula, o professor começou lembrando a Primeira Lei da Termodinâmica, que havia sido abordada na aula anterior, utilizando as equações 10 e 11. Os alunos da "ilha" da frente copiavam tudo atentamente, enquanto os do fundo faziam barulho. No entanto, assim que o professor começou a explicar o que havia escrito no quadro, todos silenciaram para ouvi-lo. Ele retomou os processos isovolumétrico, isobárico, isotérmico e adiabático, que já haviam sido explicados em aulas anteriores, e pediu que os alunos definissem cada um. Alguns demonstraram dificuldade em lembrar os significados, e o professor aproveitou para revisá-los e desenhou os gráficos $P \times V$ correspondentes.

Avançando um pouco mais, desenhou outro gráfico $P \times V$ maior do que os outros, similar ao Figura 6.

Figura 6 - Pressão versus Volume.



Fonte: Autor, 2024.

O professor perguntou se os alunos lembravam das aulas de matemática sobre como calcular a área sob uma curva no gráfico. Alguns responderam que sim, e ele então pediu que calculassem a área sob a curva isobárica. A resposta foi correta, mas sem os detalhes que ele esperava, então fez mais algumas perguntas. Satisfeito com as respostas, perguntou o que aquela área representava fisicamente. A resposta estava na equação 11, logo acima do gráfico. Os alunos demoraram um pouco, mas um deles respondeu que era o "W". "E o que é o W?" questionou o professor. "O trabalho", respondeu outro aluno. O professor, então, completou: "O trabalho realizado pelo gás."

Enquanto um aluno jogava uma borracha nos colegas do fundo da sala, o professor escreveu um exemplo no quadro. O gráfico do exemplo tinha uma linha reta inclinada, diferente dos anteriores, e o enunciado perguntava: "Qual o trabalho realizado pelo gás?" Ele deu um tempo para que os alunos respondessem, mas antes que pudessem, o sinal tocou.

O que mais me chama a atenção nessa turma é o contraste entre os alunos da frente e os do fundo. Não é à toa que se dividem em duas "ilhas". Os da frente são mais quietos e concentrados, nem sequer olham para trás para ver o que os outros estão aprontando. Os do fundo são mais agitados e gostam de uma bagunça, mas, ainda assim, prestam atenção quando o professor aborda os conteúdos. Apesar das diferenças, tanto os da frente quanto os do fundo fazem e respondem perguntas ao longo da aula. Em ambos os grupos, há quem se distraia com o celular e pareça não ter muito interesse no que está sendo ensinado. A impressão que fica é que a separação tem mais a ver com a personalidade — uns mais agitados, outros mais calmos — do que com a dedicação aos estudos. O espaço livre entre as "ilhas" me faz querer propor uma atividade experimental no meio da sala, para que todos possam se juntar e ver. Ainda não sei se será possível, mas é uma ideia.

3.8 Data: 18 de setembro de 2024

3.8.1 Turma: 102 - um período de aula das 8h às 8h45min

A turma estava relativamente calma antes da chegada do professor. Como de costume, ele entrou silenciosamente e foi direto para o quadro, enquanto os alunos conversavam, alheios à sua presença. No quadro, ele escreveu "Movimento Retilíneo Uniforme" e, a partir de cada palavra, desenhou setas explicando as

definições correspondentes. Em seguida, escreveu a Equação Horária da Posição, a equação 13, e também a função 14.

Ele começou a explicar o MRU, e, à medida que falava, os alunos ficaram em silêncio. Para ilustrar o conceito, o professor usou canetas para demarcar linhas no chão e a lixeira como objeto em movimento. Ele comparou os quadrados do piso com o papel quadriculado utilizado para desenhar funções em matemática. A caneta vermelha marcou a origem do sistema de coordenadas, e a lixeira foi posicionada em diferentes pontos. A partir disso, o professor fez diversas perguntas e observações aos alunos, demonstrando como o movimento se relaciona com a função matemática que o descreve. Como na aula anterior com a turma 101, ele deu um chute na lixeira, o que assustou alguns alunos.

O professor destacou a beleza de expressar o movimento e outras grandezas físicas por meio da matemática, observando que talvez os alunos ainda não percebessem o quão fascinante isso era. Uma de suas frases foi: "Se eu consigo expressar a realidade pela matemática, talvez eu possa usar a matemática para recriar a realidade." Ele mencionou, então, os videogames que utilizam essas equações para criar uma realidade virtual, o que animou alguns alunos, especialmente quando ele citou jogos que eles costumavam jogar.

Após a explicação teórica, ele abriu o simulador do PhET para realizar algumas previsões. Enquanto o computador iniciava, um aluno foi buscar o controle do projetor e outro, mais curioso, fez algumas perguntas "filosóficas" ao professor, e eles conversaram um pouco. O professor usou novamente a simulação "O Homem em Movimento", que pode ser vista na Figura 5.

Ele pediu que os alunos sugerissem um valor para a posição inicial, e um deles propôs -6 . Em seguida, solicitou um valor para a velocidade, e outro aluno sugeriu 5 . A partir dessas informações, ele construiu com a turma uma tabela semelhante à Tabela 1, onde calcularam as posições sucessivas. Sabendo as posições, ele simulou o movimento no PhET, repetindo o processo duas vezes.

Essa aula pareceu mais bem-sucedida que a anterior, realizada no dia 13 de setembro com a turma 101. O conteúdo fluiu melhor e houve menos ruídos na comunicação. No entanto, acredito que teria sido mais interessante se o professor tivesse proposto uma espécie de jogo de captura. Imaginei um cachorro fujão que precisa ser capturado. O desafio seria prever em qual posição ele estaria a cada momento, para que alguém escondido o pegasse no instante exato em que

passasse. Eu deixaria os alunos tentarem resolver esse problema antes de apresentar a equação.

3.8.2 Turma: 101 - um período de aula das 15h às 15h45min

Enquanto alguns alunos faziam algazarra no fundo da sala, o professor sentou-se à mesa para ligar o computador. Os alunos foram entrando aos poucos. Alguns se acomodaram logo e ficaram aguardando, enquanto outros permaneciam de pé, conversando. Com o tempo, todos foram se sentando. Quando o professor se levantou para iniciar a aula, um aluno pediu silêncio, e logo a turma se aquietou.

O professor começou a aula utilizando a simulação do PhET "O Homem em Movimento", exibida na Figura 5. Ele repetiu o exercício da aula anterior como forma de revisão e para os alunos que haviam faltado. Mais uma vez, elaborou uma tabela semelhante à Tabela 1 e testou os valores no simulador.

Na simulação, apresentada na Figura 5, é possível aplicar uma aceleração ao personagem. O professor apresentou essa funcionalidade e questionou a turma sobre o que aconteceria se ele aplicasse uma aceleração de 1 m/s^2 . Vários alunos deram suas respostas, discutindo entre si, ora concordando, ora discordando. O professor achou as previsões interessantes e, para verificar qual delas se confirmaria, executou a simulação, registrando os valores de posição e velocidade a cada segundo. Alguns alunos até comemoraram, pois suas previsões se mostraram corretas.

Quando parecia que todos haviam compreendido o fenômeno, o professor encerrou a simulação e escreveu no quadro: "Movimento Retilíneo Uniformemente Variado". Ao ler essa frase, um aluno perguntou: "Como o movimento pode ser uniforme e variado ao mesmo tempo?". Antes que o professor pudesse responder, outro aluno se adiantou, dizendo que acreditava saber a resposta. Ele explicou que "deve ser um movimento que varia sempre da mesma maneira". O professor confirmou a explicação e acrescentou que o que é uniforme é a aceleração, escrevendo no quadro que a aceleração define como a velocidade muda ao longo do tempo. Em seguida, ele apresentou a equação horária da posição para o MRUV:

$$x(t) = x_i + v_i t + \frac{at^2}{2} \quad (15)$$

Após uma breve explicação, o professor propôs três exemplos/exercícios e pediu aos alunos que tentassem construir uma tabela semelhante à Tabela 1. Alguns alunos trabalharam com cuidado, enquanto outros se distraíam. Algumas dúvidas surgiram, e o professor foi solicitado.

Antes que os alunos terminassem, o professor fez a chamada e prometeu que simularia os resultados na próxima aula.

Apesar de uma parte da turma ter permanecido dispersa por grande parte do tempo, esta me pareceu uma das aulas mais produtivas, graças a um grupo de alunos, sentados no centro da sala, que contribuíram muito com hipóteses, perguntas e observações. O método Predizer Observar e Explicar (POE) parece ter dado ótimos resultados nesta aula.

3.8.3 Turma: 201 - dois períodos de aula das 16h às 17h30min

A aula começou com uma “denúncia”. Uma aluna informou ao professor que alguns colegas estavam pulando o muro do colégio. O professor, sem querer se comprometer, respondeu: “todo mundo já teve 16 anos”. Essa resposta surpreendeu os alunos, gerando uma grande algazarra, pois eles não esperavam tal reação de um professor. Depois de acalmar a turma, o professor explicou que, devido à falta de tempo, havia disponibilizado algumas videoaulas no Moodle, cobrindo conteúdos que ele não conseguiria ensinar antes da regência do estagiário. Ele também mencionou a prova de recuperação, e então iniciou a aula.

Durante a aula, um grupo de alunas não parava de conversar e rir alto. O professor tentou chamar a atenção de alguns alunos, mas não obteve muito sucesso. A turma estava bastante agitada, conversando e rindo constantemente, dando à aula uma atmosfera mais próxima de uma festa.

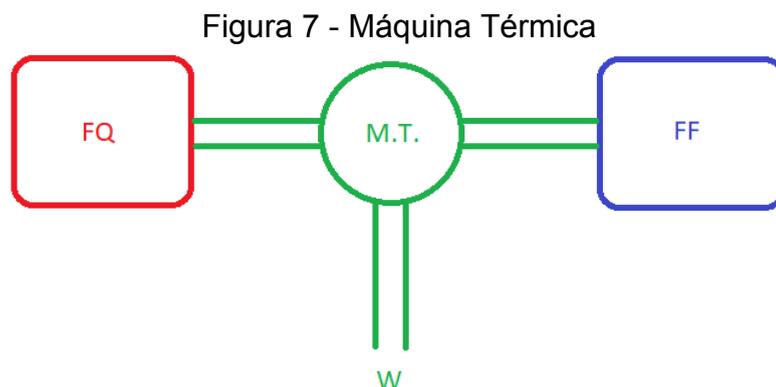
Desistindo de tentar acalmar os alunos, o professor escreveu no quadro o título da Primeira Lei da Termodinâmica, fez um desenho semelhante ao da Figura 3 e, ao lado, anotou a equação 10. No canto esquerdo da sala, um grupo de alunas continuava a conversar incessantemente, às vezes de forma discreta, até que uma delas dizia algo que fazia todas rirem.

Enquanto explicava a equação, o professor lembrou que, na aula anterior, um aluno acertou inesperadamente uma resposta, mencionando que talvez ele merecesse um ponto por isso. Ao ouvir a palavra "ponto", a sala reagiu com um tumulto, com vários alunos pedindo também, sem motivo aparente.

Apesar da dificuldade, o professor conseguiu apresentar a equação, relacionando as letras às respectivas grandezas físicas. Muitos alunos prestavam atenção, mas o grupo de meninas e os colegas ao redor continuavam conversando, aparentemente distraídos por assuntos mais engraçados. O que despertou a reação de toda a turma foi quando o professor mencionou algo que o estagiário anterior havia ensinado. Sempre que o nome do ex-estagiário era citado, os alunos demonstravam uma certa mágoa.

Com dificuldade em manter a discussão, o professor apresentou a equação 11, o que levou alguns alunos a fazerem perguntas, forçando-o a explicar melhor o conteúdo. Em seguida, ele escreveu os processos termodinâmicos no quadro e aguardou que os alunos copiassem. Eles demoraram muito, alternando entre copiar e conversar. Após um longo tempo, o professor começou a desenhar os gráficos dos processos adiabático, isobárico, entre outros, e a explicá-los. Nesse momento, os alunos parecem ter se cansado de conversar ou, talvez, tenham se interessado pela aula. Uma das alunas que antes não parava de falar fez uma observação correta sobre o gráfico do processo adiabático.

O professor continuou explicando os processos termodinâmicos até o último, e então apresentou um exemplo, perguntando o que significava a área abaixo da curva do gráfico. Um aluno respondeu de forma coerente, explicando que, como um eixo representava a pressão e o outro o volume, a multiplicação dos dois deveria resultar em uma forma de energia. O professor concordou, mas acrescentou que era algo mais, e perguntou o que seria. Uma aluna respondeu corretamente: "o trabalho". Percebendo que boa parte da turma, ou ao menos os que estavam atentos, havia entendido, o professor desenhou um gráfico $P \times V$ com uma curva inclinada e pediu que os alunos calculassem o trabalho realizado. Antes de deixá-los resolver, ele avançou no conteúdo e desenhou a Figura 7 no quadro:



Fonte: Autor, 2024.

Não consegui acompanhar a explicação sobre a Máquina Térmica, pois algumas alunas ao meu lado me pediram ajuda com o exercício. Enquanto eu as orientava, o professor escreveu no quadro a seguinte expressão matemática:

$$W = Q_{FQ} - Q_{FF} \quad (16)$$

Não sei exatamente como ele explicou essa equação, mas acredito que deixou parte da explicação para a aula seguinte.

Dar aula para essa turma parece muito desafiador. Eles são bastante agitados. Ainda assim, acredito que, se o professor conseguisse contextualizar o conteúdo de forma que fosse relevante para os alunos mais inquietos, eles poderiam prestar mais atenção e colaborar. O verdadeiro desafio parece ser descobrir qual seria esse tema de interesse.

3.9 Data: 19 de setembro de 2024

3.9.1 Turma: 202 - um período de aula das 8h45min às 9h30min

Os alunos estavam tendo aula de Química no laboratório. Por isso, quando chegamos, a sala estava vazia e organizada. No entanto, assim que os primeiros alunos começaram a chegar, eles logo começaram a mover as classes. Alguns as empurraram para o fundo, formando uma linha contínua encostada na parede. Outros as agruparam na parte da frente, criando pequenas duplas e trios.

O professor iniciou a aula lembrando o que estava previsto para as próximas aulas até a prova. Os alunos, que pareciam já saber de cor, não deram muita atenção a essa parte. Ao mencionar um trabalho, alguns reclamaram da

correção, afirmando que o professor havia sido muito rigoroso. O professor, sem se incomodar com as críticas, começou a desenhar o Gráfico 1 no quadro, explicando que a área A representa o trabalho realizado pelo gás.

Em seguida, ele desenhou a Figura 7, representando a Máquina Térmica. Antes de explicar o que havia desenhado, o professor perguntou se os alunos se lembravam da Lei Zero da Termodinâmica. Alguns lembravam e rapidamente identificaram a semelhança quando ele explicou que FQ é a fonte quente e FF a fonte fria. Uma aluna perguntou o que significava M.T., e o professor respondeu: "Máquina Térmica". Ele então começou a falar sobre as máquinas e compartilhou um pouco da história da Revolução Industrial, destacando os esforços de engenheiros e físicos para desenvolver máquinas mais eficientes. Ao contar essas histórias, a turma se acalmou e prestou atenção.

O professor explicou que parte da energia proveniente da fonte quente se transforma em trabalho, enquanto outra parte é transferida para a fonte fria. Ele então perguntou: "Qual seria, pela lógica, a expressão matemática?" A turma ficou pensativa em silêncio. Após insistir um pouco, uma aluna percebeu que a equação correta era:

$$Q_{FQ} = Q_{FF} + W \quad (17)$$

Depois que os alunos entenderam, o professor permitiu que eu distribuísse um questionário sobre as atitudes deles em relação à disciplina de Física, conforme o Apêndice A deste trabalho. Enquanto preenchiam o questionário, o professor exibiu um vídeo do canal de YouTube *Ciência Todo Dia*, intitulado "Por que o tempo só vai para o futuro?"¹, que explica o conceito de entropia. Alguns alunos responderam ao questionário enquanto outros assistiam ao vídeo. Durante esse tempo, o professor fez a chamada em silêncio.

Um aspecto muito positivo dessa aula foi a escolha do professor em perguntar à turma: "Qual seria, pela lógica, a expressão matemática?" ao invés de simplesmente escrevê-la no quadro, sem permitir qualquer reflexão prévia. Essa abordagem incentivou o raciocínio e o engajamento dos alunos, promovendo uma participação mais ativa no processo de aprendizagem.

¹ Este vídeo pode ser encontrado em: <https://www.youtube.com/watch?v=fZvMh5pJpnl>

O que eu faria de diferente seria aprofundar a contextualização histórica, apresentando, por exemplo, imagens ou descrições de máquinas a vapor utilizadas durante a Primeira Revolução Industrial. Essa abordagem poderia enriquecer a discussão teórica, além de despertar maior interesse nos estudantes. A própria atitude da turma nesta aula mostra que apresentar a origem histórica dos conceitos ajuda a prender a atenção deles e a tornar o conteúdo mais significativo.

3.9.2 Turma: 102 - um período de aula das 9h30min às 10h15min

Ao entrar na sala, o professor, como de costume, mencionou os trabalhos que deveriam ser entregues, os prazos e a data da prova. Acredito que a maioria dos alunos não prestou atenção, pois estavam todos conversando, exceto uma aluna que dormia perto da porta. Um aluno perguntou sobre o conteúdo do trabalho, e o professor respondeu que não repetiria a explicação, sugerindo que ele perguntasse a um colega. Um aluno da frente logo respondeu, e, como outros também estavam curiosos, o professor pediu que ele explicasse para a turma. O aluno foi até o quadro e explicou o que havia entendido, enquanto alguns colegas faziam piadas. Sem se abalar, ele concluiu sua explicação e voltou a se sentar.

Enquanto o aluno falava, o professor escreveu a equação 13 no quadro. Assim que o aluno se sentou, o professor pediu sugestões de valores para a posição inicial e a velocidade média. Ele inseriu os valores na equação e montou uma tabela semelhante à Tabela 1, deixando as posições em branco para que os alunos completassem enquanto ele abria a simulação do PhET no computador. Ao perceber que o controle do projetor não estava na sala, pediu a um aluno que fosse buscá-lo. Enquanto aguardava, ele explicou como completava a tabela, pedindo que os alunos que haviam faltado à aula anterior prestassem atenção. Nesse momento, uma aluna o interrompeu, pedindo que repetisse a explicação, pois não estava prestando atenção. Ele recomeçou, fazendo uma pergunta a outra aluna que, segundo ele, também havia faltado à última aula. Visivelmente desconfortável, ela disse que não conseguia enxergar o quadro. O professor sugeriu que ela se sentasse mais à frente, mas ela balbuciou um "não" seguido de algo inaudível. O professor, desistindo de insistir, fez a mesma pergunta a outro aluno, que respondeu prontamente. Depois de finalizar a tabela, o professor ligou o projetor e simulou os resultados no PhET, como já havia feito na aula anterior.

Em seguida, o professor apresentou o conceito de aceleração. Na simulação exibida (Figura 5), era possível aplicar uma aceleração ao personagem. O professor propôs um desafio: quem acertasse o que aconteceria ao aplicar uma aceleração de 1 m/s^2 ganharia um ponto. Ao mencionar o ponto, todos queriam responder, e uma aluna reclamou por não ter ouvido a pergunta. No entanto, o professor optou por ouvir apenas aqueles que levantaram a mão. Surgiram duas respostas interessantes: um aluno disse que a velocidade aumentaria "metro a metro", enquanto outro afirmou que aumentaria "segundo a segundo". Rapidamente, perceberam que, para um estar certo, o outro deveria estar errado. O professor avançou na simulação, e todos notaram que a velocidade aumentava. Surpresa, uma aluna exclamou: "É por isso que o carro tem acelerador!". Mas a velocidade aumentava com o tempo ou com a distância? Para esclarecer, o professor pausou a simulação a cada segundo, mostrando que, a cada segundo, a velocidade aumentava em 1 m/s . Isso ficou tão claro que uma aluna fez a observação espontaneamente. Ainda assim, nem todos entenderam de imediato, e alguns apresentaram outras ideias. O professor então pediu à aluna que havia entendido que explicasse para os demais, e pareceu que todos compreenderam sua explicação.

Depois disso, o professor deixou a simulação continuar com aceleração constante. O personagem saiu do campo de visão, mas os valores de velocidade e posição ainda eram exibidos, e a crescente velocidade era notável. Em seguida, o professor alterou o valor da aceleração para negativo e perguntou o que aconteceria. Os alunos, intrigados, tentavam adivinhar o desfecho. Alguns perceberam que a velocidade diminuía e, depois, aumentava com valores negativos. Um aluno, refletindo, declarou em voz alta: "O boneco vai voltar voando!". Quando isso finalmente aconteceu, todos se espantaram com a velocidade. Para tornar o fenômeno mais claro, o professor reduziu os valores da velocidade inicial e da aceleração negativa, para que o movimento ocorresse dentro da tela. O boneco avançou, parou no meio da tela e depois retornou, com uma velocidade crescente. Ele então mostrou, jogando uma caneta para cima, que o mesmo acontecia no movimento vertical.

Por fim, o professor escreveu no quadro "Movimento Retilíneo Uniformemente Variável". Um aluno perguntou: "Como pode ser uniforme e variável ao mesmo tempo?" O professor ofereceu um ponto para quem acertasse a resposta. Muitos

tentaram, mas apenas dois alunos conseguiram acertar. O professor então apresentou a equação 14 e a explicou brevemente antes de encerrar a aula. O exemplo foi dado como lição de casa. Como não havia tempo de escrevê-lo no quadro, ele disse aos alunos para pedirem o enunciado aos colegas da outra turma e que quem entregasse a resposta correta na próxima aula ganharia mais um ponto.

A estratégia de dar pontos aos alunos que acertam as questões parece eficaz para manter a atenção, mas, se for exagerada, corre-se o risco de que algum aluno acumule tantos pontos que nem precise mais realizar outras avaliações. Em minha opinião, não é possível manter o foco dos alunos apenas com esse recurso. Uns quatro não conseguiram terminar a tempo.

3.10 Data: 30 de setembro de 2024

3.10.1 Turma: 102 - um período de aula das 8h às 8h45min

O professor teve dificuldades para ligar o computador no início da aula. Enquanto isso, a maioria dos alunos permaneceu em silêncio, com exceção de alguns no fundo da sala que estavam mais agitados. Muitos estudantes não estavam presentes naquele momento, possivelmente por terem saído para o banheiro ou por outro motivo. Após conseguir ligar o computador, o professor projetou o Moodle no quadro, onde exibiu uma lista de exercícios. Ele também aproveitou para anunciar que a próxima aula seria destinada à realização da prova.

A aula foi inteiramente dedicada à resolução de exercícios. Como nenhum aluno sugeriu por qual exercício começar, o professor decidiu iniciar pelo número um. Um aspecto interessante observado foi que os alunos do fundo, conhecidos por conversarem bastante, também eram os que mais faziam perguntas ao professor. À medida que o professor explicava, a turma se acalmava. Embora alguns alunos se distraíssem com o celular, a maioria demonstrava atenção.

O professor resolveu os três primeiros exercícios e, em seguida, pediu que os alunos tentassem resolver o quarto por conta própria. Após alguns minutos, os alunos das primeiras fileiras conseguiram resolver e acertaram a resposta. No entanto, a quinta questão apresentou maior dificuldade, e os alunos não conseguiram resolvê-la sozinhos. Assim, o professor a explicou no quadro para todos.

A aula terminou pouco depois, e o professor pediu que os alunos presentes escrevessem seus nomes em uma folha para registrar a chamada.

Refletindo sobre a dinâmica da aula, acredito que aprender a resolver exercícios é um processo ativo, semelhante a aprender a andar de bicicleta: só se aprende praticando. Apenas observar alguém resolvendo não é suficiente; é essencial dedicar tempo para que os próprios alunos tentem resolver os problemas, contando com o auxílio do professor quando necessário. Essa abordagem foi aplicada pelo professor durante a aula, permitindo que os estudantes se envolvessem no processo e participassem ativamente.

3.11 Data: 3 de outubro de 2024

3.11.1 Turma: 202 - um período de aula das 8h45min às 9h30min

Hoje foi dia de prova. Todas as classes estavam em seus lugares quando entramos na sala. Alguns alunos revisaram o conteúdo em seus cadernos, mas a maioria conversava sobre assuntos aleatórios. O professor escreveu as principais equações no quadro, e uma aluna começou a perguntar em voz alta aos colegas o que cada letra das equações significava. Conforme o professor distribuía as provas, as conversas diminuía. Havia duas versões da prova, A e B, que foram entregues de forma intercalada para evitar colas.

Alguns alunos foram para outra sala com um professor diferente. Depois, descobri que eles são alunos com necessidades especiais e, por isso, precisam de uma prova adaptada, com questões mais simples e objetivas, uma fonte maior, e em um ambiente mais silencioso para que possam se concentrar melhor.

Logo no início da prova, alguns alunos perguntaram se haveria recuperação; aparentemente, a prova não estava fácil para eles. Desta vez, ninguém desistiu logo após ler rapidamente a prova; todos pareciam bem concentrados na resolução. A primeira prova foi entregue às 9h06min por um aluno que havia perguntado sobre a recuperação. Às 9h11min, o professor liberou a saída dos alunos que já tinham terminado. Aos poucos, os demais foram concluindo e entregando. Um aluno pediu para ir ao banheiro antes de terminar a prova, mas o pedido foi negado.

No final, enquanto alguns ainda terminavam, outros jogavam ou assistiam algo no celular, e dois conversavam em voz baixa no fundo da sala.

Mais uma vez, percebo que a prova desperta o interesse dos estudantes, embora não pelos motivos mais apropriados. Todos querem obter um bom desempenho, mas poucos – talvez nenhum aluno desta turma – conseguem perceber um significado mais profundo nos conteúdos que estão sendo ensinados.

3.11.2 Turma: 102 - um período de aula das 9h30min às 10h15min

Era dia de prova. Uma das primeiras polêmicas surgiu em torno da "cola". Pelo que entendi, os alunos podiam trazer uma folha com algumas informações para ajudá-los na prova, mas a folha precisava ser de papel ofício. Alguns alunos queriam usar folhas de caderno. Após certa resistência e protestos de alguns, o professor acabou cedendo.

Enquanto isso, alguns alunos reviravam seus materiais, outros conversavam animadamente. O professor pediu para que todos guardassem seus cadernos para que ele pudesse distribuir as provas.

Mesmo depois de as provas serem entregues, alguns continuavam conversando, reclamando do calor, rindo e comentando sobre outras coisas. Muitos faziam perguntas ao professor.

O primeiro aluno a entregar a prova o fez às 9h44min. Uma aluna chegou às 9h50min. Outra aluna, após entregar sua prova, adormeceu e chegou a roncar. Era a mesma que havia dormido em uma aula anterior da turma.

O professor liberou a saída dos alunos que terminavam a prova às 10h. Todas as provas e as folhas de cola foram entregues.

Reforço aqui a mesma crítica que fiz em relação às demais provas aplicadas: o formato da avaliação não contribui para aumentar o interesse dos alunos pelo conteúdo. Ainda assim, é inegável que ela os motiva a estudar, mesmo que o principal objetivo seja alcançar uma boa nota.

4 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

Todos os homens por natureza propendem ao saber. Sinal disso é a estima pelas sensações: até mesmo a parte de sua utilidade, elas são estimadas em si mesmas e, mais que as outras, a sensação através dos olhos. De fato, não apenas para agir, mas também quando nada pretendemos fazer, preferimos o ver a todas as outras (por assim dizer). A causa disso é que, entre as sensações, esta é a que mais nos faz conhecer e mostra muitas diferenças. (Aristóteles, 2008, p. 9)

Em outras palavras, Aristóteles assumia que todo ser humano é movido pela curiosidade. Embora esse conceito não configure um referencial teórico ou metodológico em si, ele influenciou de maneira significativa o planejamento da unidade didática. Partindo da premissa de que a curiosidade é o motor que leva os alunos a quererem aprender mais, busquei algo intrigante para apresentar na primeira aula. A ideia era introduzir uma questão que só pudesse ser respondida ao final da unidade, utilizando os conteúdos abordados ao longo do percurso. Foi nessa busca que me deparei com as Figuras de Chladni, um fenômeno que considerei promissor para despertar a curiosidade dos estudantes.

A seguir encontram-se os referenciais teóricos e metodológicos utilizados ao longo da regência.

4.1 Referencial Teórico

O principal referencial teórico utilizado como base para as aulas foi a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), desenvolvida pelo psicólogo educacional estadunidense David Paul Ausubel (1918–2008). De modo geral, a aprendizagem pode ser dividida em três tipos: afetiva, psicomotora e cognitiva. A aprendizagem afetiva está relacionada ao reconhecimento das emoções e sensações, como prazer ou dor, satisfação ou descontentamento, alegria ou ansiedade. A aprendizagem psicomotora refere-se à aquisição de habilidades motoras, como andar, tocar um instrumento ou dirigir. Já a aprendizagem cognitiva está associada ao armazenamento e à organização de informações na mente do aprendiz, formando uma estrutura cognitiva consistente (Goulart; Leonel, 2020).

Embora distintas, essas três modalidades de aprendizagem não são completamente independentes. A aprendizagem cognitiva, por exemplo, é frequentemente essencial para o desenvolvimento de habilidades psicomotoras, como tocar um instrumento musical ou dirigir um veículo. De maneira semelhante, compreender o contexto de uma obra artística pode levar ao desenvolvimento de

apreço por ela, e esse apreço, por sua vez, pode facilitar o aprendizado cognitivo sobre o tema da obra.

Para mensurar e compreender a relação afetiva dos estudantes com a Física e com outras disciplinas, foi aplicado o Questionário Sobre as Atitudes dos Alunos Frente à Disciplina de Física, que está disponível no Apêndice A. Embora o foco fosse a Física, o questionário também revelou que muitos alunos demonstravam grande interesse por música, um tema que poderia ser facilmente explorado nas problematizações realizadas em aula.

A Teoria da Aprendizagem Significativa tem como foco a estrutura cognitiva, que se forma a partir dos conceitos presentes na mente do aprendiz e das relações que esses conceitos guardam entre si. Toda estrutura precisa de uma base sólida para se manter, e a qualidade dessa base é um fator determinante para a durabilidade da estrutura. Para Ausubel, as fundações de uma estrutura cognitiva são os chamados subsunçores. De forma mais precisa, um subsunçor é um conceito ou ideia pré-existente na estrutura cognitiva do aprendiz, que funciona como uma âncora para a incorporação de novos conhecimentos. É como um ponto de apoio onde o novo conteúdo se conecta, tornando a aprendizagem mais significativa e duradoura. Subsunçores são fundamentais para a aprendizagem significativa, pois permitem que o novo conhecimento seja relacionado a algo que o aprendiz já conhece. Quando um novo conceito é associado a um subsunçor relevante, ele é incorporado de forma mais sólida à estrutura cognitiva (Moreira, 1985).

Para identificar os subsunçores que os alunos da turma 202 já possuíam, solicitei que, logo na primeira aula, descrevessem e tentassem explicar, por escrito, um fenômeno ondulatório. O fenômeno das Figuras de Chladni foi apresentado experimentalmente em sala de aula, servindo tanto para sondar o conhecimento prévio dos alunos quanto para motivá-los, despertando curiosidade e interesse pelo tema.

Uma das grandes dificuldades encontradas, no entanto, foi identificar subsunçores adequados para algumas nomenclaturas, como reflexão, refração e difração. Além de terem nomes semelhantes, esses conceitos não pareciam ter relações evidentes com ideias previamente conhecidas pelos alunos, dificultando seu aprendizado significativo. No entanto, segundo a TAS, nem tudo pode ser aprendido de maneira significativa. Quando novas informações têm pouca ou

nenhuma conexão com conceitos prévios relevantes, elas tendem a ser armazenadas de forma mecânica (Moreira, 1985).

Ausubel não considera a aprendizagem significativa como um processo isolado da aprendizagem mecânica. Pelo contrário, ele as entende como partes interconectadas do mesmo processo (Moreira, 1985). Muitas vezes, as estruturas conceituais só podem ser formadas após os conceitos individuais que as compõem serem aprendidos de forma mecânica. Essa visão reforça a ideia de que a aprendizagem significativa é construída gradativamente, com novos conceitos sendo relacionados e incorporados à estrutura cognitiva do aprendiz ao longo do tempo.

Como complemento à teoria de Ausubel, utilizei o referencial de Stephen Toulmin (1922–2009). Toulmin argumenta que os conhecimentos compartilhados em sala de aula podem entrar em conflito com os saberes prévios trazidos pelos estudantes de suas experiências fora do ambiente escolar, já que os novos conceitos nem sempre se harmonizam com os antigos. Esse tipo de conflito foi observado durante a regência, especificamente na Aula 2.

Para explicar essa dinâmica, Toulmin cunhou o termo ecologia conceitual, que se refere à coleção de conceitos que uma pessoa ou comunidade utiliza em seu cotidiano. Ele compara os conceitos a espécies que habitam um ecossistema, formando populações distintas. Nesse "ecossistema conceitual", podem coexistir tanto os conhecimentos prévios, adquiridos antes do ensino formal, quanto as novas ideias apresentadas pelo professor. Esses diferentes tipos de conceitos interagem entre si e, em alguns casos, podem se sobrepor ou entrar em conflito, gerando dificuldades no aprendizado dos estudantes (Ariza; Harres, 2002).

Isso ocorre porque os conceitos mais primitivos não são necessariamente abandonados, mas continuam sendo utilizados dentro de seus contextos originais. Ou seja, em cada contexto, ou "habitat", há uma população conceitual distinta. Por exemplo, no contexto da Física, pode-se dizer que as ondas que arrebentam na praia não são, de fato, ondas, pois não se comportam como prevê a teoria ondulatória. No entanto, no cotidiano, não faz sentido afirmar que as ondas da praia "não são ondas de verdade". A confusão surge quando não fica claro que a mesma palavra, em diferentes contextos, refere-se a conceitos distintos.

As ideias, de qualquer tipo, tendem a "lutar" para se manterem vivas, mesmo quando não se ajustam completamente a uma nova estrutura conceitual

apresentada em sala de aula. Esse fenômeno gera um ruído de comunicação entre professor e aluno, que pode ser prejudicial ao aprendizado.

Uma aula terá sentido racional para o aluno se ele for capaz, ainda que temporariamente, de suspender seus conceitos prévios e adotar os novos. Caso contrário, seus conceitos antigos continuarão atuando como peças de um quebra-cabeça que não se encaixam na estrutura conceitual proposta pelo professor (Ariza; Harres, 2002).

Uma forma de tentar resolver o problema apontado por Toulmin é apresentada por outro referencial teórico utilizado, o de Michael R. Matthews (1995), que defende o uso da história e da filosofia no ensino de ciências. Matthews (1995) argumenta que, em muitos casos, as compreensões científicas do passado refletem concepções intuitivas apresentadas pelos estudantes. Ele aponta que certas crenças persistentes entre os alunos remetem a concepções já superadas pela ciência atual. No entanto, essas crenças tendem a se manter, mesmo entre aqueles que estudam o assunto por mais tempo, caso não sejam explicitadas e tratadas como objeto de reflexão e correção.

Ao abordar a história das concepções científicas, é possível demonstrar como essas ideias foram superadas, criando um diálogo entre as concepções dos alunos, o senso comum e o conhecimento científico, que muitas vezes divergem de forma significativa. Em diálogo com a teoria de Ausubel e Toulmin, discutidas anteriormente, pode-se afirmar que os alunos chegam à sala de aula com uma estrutura conceitual prévia que, frequentemente, entra em forte contradição com os conteúdos apresentados. Essa contradição pode gerar um "bloqueio epistemológico", dificultando ou até inviabilizando a compreensão do que está sendo ensinado.

Para superar esse bloqueio, pode ser útil – ou mesmo necessário – considerar os esforços humanos acumulados ao longo da história, que culminaram na formulação das concepções científicas atuais. Essa abordagem permite que os estudantes compreendam o processo histórico de construção do conhecimento e o valor do esforço coletivo para alcançar as ideias científicas modernas.

Esta abordagem histórico-filosófica foi utilizada na Aula 11 quando abordei as concepções de que a luz era uma onda e de que a luz era composta por feixes de partículas.

Por fim, outro referencial teórico utilizado foi o de Gisele Secco (2015), que enfatiza a prática como elemento essencial no aprendizado de habilidades. Embora seu foco seja o ensino de filosofia, acredito que suas ideias se aplicam ao ensino de Física, especialmente na resolução de exercícios. Para aprender uma habilidade, a prática é indispensável. O papel do professor, nesse caso, é incentivar e auxiliar o aluno, conduzindo-o pelo processo de aprendizado.

Isso, no entanto, não deve ser confundido com resolver exercícios no quadro para que os alunos apenas copiem. O mais importante é o raciocínio por trás das soluções. Assim, o ideal é propor atividades que estimulem os estudantes a pensar por conta própria, enquanto o professor atua como guia, corrigindo eventuais erros. Essa estratégia, utilizada na Aula 4, não só promoveu maior engajamento e autonomia, mas também ajudou a identificar dificuldades específicas de alguns alunos.

4.2 Referencial Metodológico

Como mencionado anteriormente, a aprendizagem significativa requer uma espécie de diálogo entre os conceitos prévios e os novos. Para favorecer esse processo, foram empregadas algumas metodologias ativas, como a Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) (Araujo; Mazur, 2013) e o método Predizer, Observar e Explicar (POE) (Dorneles; Araujo; Veit, 2006). Algumas aulas foram planejadas especificamente para a utilização dessas metodologias. A Instrução pelos Colegas foi utilizada nas aulas 2, 3 e 8. Já o método POE foi empregado na Aula 7, sendo também adaptado nas aulas 1 e 13, nas quais exploramos e discutimos as Figuras de Chladni.

A metodologia de Instrução pelos Colegas foi desenvolvida pelo educador neerlandês e professor da Universidade Harvard Eric Mazur, na década de 1990. Nesse método, o professor realiza breves exposições orais sobre o conteúdo da aula (cerca de 15 minutos), focando nos conceitos principais, seguidas por questões conceituais, geralmente de múltipla escolha, que os alunos respondem individualmente. Nesse momento, é solicitado que cada aluno reflita sobre qual alternativa considera correta e elabore uma justificativa para sua escolha. Em seguida, é aberta uma votação, e as respostas são mapeadas por meio do aplicativo Plickers, utilizando um celular.

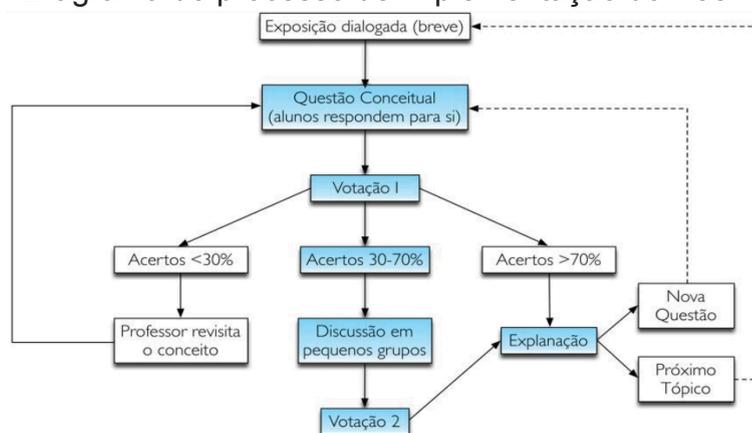
O Plickers é uma ferramenta disponível tanto na versão web quanto como aplicativo para dispositivos móveis. Ele possibilita a administração de testes rápidos com os estudantes, utilizando cartões específicos. Cada cartão, semelhante a um QR Code, é único para cada aluno, contendo um número e um desenho distintos. O professor projeta uma questão de múltipla escolha no quadro, e os alunos escolhem suas respostas girando o cartão na posição correspondente à alternativa desejada (por exemplo, uma posição indica a letra “A”, outra indica a letra “B”, e assim por diante). O professor utiliza o celular para escanear os cartões, e o aplicativo fornece, em tempo real, o percentual de respostas escolhidas para cada alternativa (Cunha, 2017).

Com base no percentual de acertos das respostas, o professor adota uma das seguintes ações:

- Se mais de 70% dos estudantes acertarem a resposta correta, o professor explica a questão e segue para o próximo conteúdo.
- Se o percentual de acertos ficar entre 30% e 70%, os alunos são instruídos a formar pares, discutindo suas justificativas e tentando convencer o colega com base em seus raciocínios. Após essa interação, ocorre uma nova votação, seguida da explicação da questão pelo professor.
- Se menos de 30% das respostas forem corretas, o professor revisa os conceitos de forma mais detalhada e apresenta uma nova questão conceitual sobre o mesmo tema ao final da explicação, reiniciando o processo.

Esses procedimentos podem ser visualizados de forma esquemática na Figura 8.

Figura 8 - Diagrama do processo de implementação do Peer Instruction



Fonte: Araujo; Mazur, 2013, p. 370.

A metodologia de Instrução pelos Colegas, aliada ao uso do aplicativo Plickers, demonstra um modelo eficiente e interativo de ensino, centrado na construção coletiva do conhecimento e na reflexão ativa dos estudantes. Ao combinar momentos de exposição teórica com discussões entre pares e análises individuais, essa abordagem favorece a compreensão conceitual e promove maior engajamento dos alunos no processo de aprendizagem. A sistematização das ações, baseada nos percentuais de acerto das respostas, possibilita ao professor adaptar a condução da aula às necessidades específicas da turma, tornando o ensino mais dinâmico e eficaz. Assim, essa metodologia não apenas aprimora o entendimento dos conteúdos, mas também desenvolve habilidades críticas e colaborativas fundamentais para a formação dos estudantes.

Por sua vez, a metodologia POE (Predizer, Observar, Explicar) é uma abordagem pedagógica que visa estimular a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem, promovendo o desenvolvimento de habilidades como a formulação de hipóteses, a análise crítica e o raciocínio reflexivo. Na Aula 7, o método foi aplicado em uma atividade que visava medir a velocidade do som e na Aula 10, ele foi aplicado em um experimento com uma cuba de ondas. Em ambas as aulas os alunos, inicialmente, faziam previsões, fossem sobre o comportamento das ondas sonoras dentro de um cano ou o comportamento das ondas de água quando encontram obstáculos. Em seguida, manipulavam os aparatos experimentais para observar os resultados e verificar se suas previsões estavam corretas. Por fim, explicavam possíveis discrepâncias entre suas previsões e as observações realizadas.

Em síntese, a aplicação das metodologias ativas de Instrução pelos Colegas e do método POE visa fomentar a participação ativa, o raciocínio crítico e a colaboração entre os estudantes. A interação dinâmica entre teoria e prática permite que os alunos conectem conceitos prévios aos novos conhecimentos, consolidando a aprendizagem de maneira significativa. O uso de ferramentas tecnológicas, como o Plickers, otimiza o engajamento e o acompanhamento das atividades, enquanto a estruturação dos momentos de predição, observação e explicação favorece a reflexão sobre os fenômenos científicos explorados. Assim, essas abordagens não apenas contribuem para a assimilação dos conteúdos, mas também para o desenvolvimento de habilidades essenciais à formação integral dos estudantes, alinhadas às demandas da educação contemporânea. (Dorneles; Araujo; Veit, 2006).

5 PLANEJAMENTO DIDÁTICO

Após o período de observação, iniciei a regência no dia 7 de outubro, com a Aula 1. Durante o estágio, elaborei uma unidade didática de 14 horas-aula sobre o tema Ondas, distribuída em 14 encontros. O planejamento foi fundamentado no referencial teórico apresentado no Capítulo 4 e nas respostas obtidas por meio do Questionário sobre as Atitudes dos Alunos Frente à Disciplina de Física (Apêndice A), aplicado antes do início da regência.

Embora o planejamento tenha sido seguido em sua maior parte, foram necessários alguns ajustes devido a demandas específicas da turma e à indisponibilidade de um aparato experimental em uma das aulas, o que resultou na inversão de dois encontros. Essas alterações, contudo, não prejudicaram a sequência planejada. O cronograma completo pode ser consultado no Apêndice B.

Ao final da unidade, a avaliação dos alunos foi realizada com base em três critérios: a entrega de tarefas prévias, o engajamento nas discussões realizadas em sala e o desempenho em uma prova final, compondo uma nota total de 0 a 5.

5.2 Planos das aulas com relatos de regência

As aulas são descritas em detalhes, apresentando dados básicos (data e tópicos), o plano de aula e o relato de regência, que documenta o desenvolvimento das atividades. Cada relato encerra com uma reflexão geral sobre a experiência.

5.2.1 Aula 1: Apresentação e Experimento das Figuras de Chladni

Data: segunda 7 de outubro de 2024

Tópicos: Introdução a Ondas: Apresentação da Unidade e Experimento das Figuras de Chladni.

Objetivos Docentes: Esta aula tem por objetivo apresentar o professor e a estrutura da unidade didática apresentando os conceitos principais sobre ondas. Outro objetivo será estimular a curiosidade dos alunos e envolvê-los ativamente no processo de aprendizagem a partir do experimento das Figuras de Chladni.

Procedimentos:

Atividade Inicial (~15 min): Iniciarei a aula com uma apresentação em *PowerPoint*, disponível no Apêndice C. Nos primeiros *slides*, comentarei as respostas dos alunos ao *Questionário Sobre as Atitudes dos Alunos Frente à Disciplina de Física*, localizado no Apêndice A. Em seguida, farei uma breve apresentação pessoal e, conectando com os comentários iniciais, explicarei o conteúdo que será abordado ao longo da unidade didática. Também informarei as datas importantes, como prazos para entrega de trabalhos e a data da prova.

Desenvolvimento (~25 min): A partir daí, direi aos alunos que, nesta aula, eles atuarão como cientistas e que há um fenômeno misterioso que precisa ser explicado. Contarei que recebi uma carta de um tal Ernst Chladni, pedindo ajuda para explicar um fenômeno que ele descobriu, mas ainda não sabe compreender. Junto com a carta, ele me enviou um aparato experimental, que será apresentado à turma.

Mostrarei projetada no quadro a carta fictícia, na qual o advogado e músico Ernst Chladni se apresentará brevemente e descreverá o experimento que realizou, terminando com um pedido de ajuda para entender os resultados.

O aparato experimental já estará montado no laboratório, e levarei a turma até lá. Se for possível montá-lo na sala de aula, farei isso com a ajuda dos alunos, posicionando-o no centro da sala para facilitar a interação, já que observei que a turma costuma se dividir em dois grupos, deixando o centro vazio.

Com o experimento montado ou já no laboratório, apresentarei brevemente o aparato, que consiste em duas hastes fixadas na vertical por grampos de mesa e com uma chapa metálica presa na extremidade superior de cada haste. Uma das placas é quadrada e a outra é circular. Além disso, também acompanha um arco de violino e um punhado de areia. Pedirei que os alunos descrevam o equipamento com suas próprias palavras. Em seguida, questionarei o que eles imaginam que pode ser testado com o aparato. Após ouvir os palpites, espalharei areia sobre a chapa e, nesse ponto, espero que alguns já tenham uma ideia do que pode acontecer. Direi que vou friccionar o arco na chapa coberta de areia e perguntarei: "O que vocês acham que vai acontecer com a areia sobre a chapa?" Pedirei que registrem suas previsões, à caneta numa espécie de relatório.

Após todos anotarem suas hipóteses, realizarei o movimento com o arco para criar as *Figuras de Chladni* (Walker, 2001, p. 29). Dependendo da reação dos alunos, posso aproveitar o momento para explicar brevemente quem foi Chladni, embora eu acredite que muitos vão querer experimentar por conta própria. Depois, perguntarei: "Por que isso acontece?" e pedirei que tentem formular uma explicação para o fenômeno, anotando suas respostas à caneta. Alguns alunos serão convidados a compartilhar suas explicações com a turma. Conforme as hipóteses forem surgindo, testarei as ideias deles, usando diferentes vibrações ou intensidades no arco para verificar se ocorrem mudanças nos padrões de ondas. O objetivo é estimular a conexão entre as hipóteses levantadas e as observações feitas durante o experimento.

Uma ideia complementar seria utilizar a parte traseira de um violão, colocando areia sobre ela e observando o que acontece ao tocar uma corda. Isso pode ajudar os alunos a relacionar as figuras formadas com o som produzido pelo violão, imagem que pretendo retomar em uma aula futura, quando discutirmos o timbre.

Fechamento (~10 min): No final da aula, pedirei que os alunos finalizem seus relatórios e os entreguem antes do sinal. Caso não haja tempo suficiente, a entrega poderá ser feita na próxima aula. Para concluir, comentarei que, ao término da unidade didática, eles deverão ser capazes de explicar o fenômeno de forma mais científica, já que voltaremos a ele e, possivelmente, uma das questões da prova será sobre este tópico.

Recursos:

Os recursos utilizados serão: computador, projetor, uma apresentação de *PowerPoint*, questionário para predições e anotações, chapa metálica, arco de violino, areia fina e violão.

Avaliação:

A avaliação será feita a partir das predições escritas pelos alunos, da participação deles na discussão e formulação de hipóteses e nas observações contribuições feitas durante o experimento.

Relato de Regência:

Quando chegamos à sala (eu e o professor titular), a turma já estava reunida. Alguns alunos estavam em uma competição de queda de braço, e o restante estava "na torcida", por assim dizer. Antes de eu começar, o professor titular pediu um momento para comentar as questões da última prova. Enquanto ele conversava com os alunos, eu liguei o computador e abri a apresentação no *PowerPoint*, que pode ser encontrada no Apêndice C deste trabalho. Alguns alunos notaram que eu tinha uma sacola com alguns objetos de metal e um arco de violino. Um deles até perguntou se eu tocava esse instrumento.

Assim que liguei o projetor e os alunos viram o primeiro *slide*, intitulado "Como nasce um físico?", começaram a fazer comentários e perguntas. Expliquei que a ideia era compartilhar um pouco da minha trajetória, especialmente o que me levou a cursar Física. Eles entenderam a proposta e pareceram entusiasmados.

No segundo *slide*, apareceram algumas lembranças da minha infância, como um Lego do Ônibus Espacial e programas de TV e desenhos animados que eu assistia. Perguntei se eles conheciam Legos, e uma aluna brincou: "Claro, professor, não somos tão novos assim". Os alunos também reconheceram os desenhos, pois ouvi alguns mencionando seus nomes espontaneamente. Expliquei que esses eram os desenhos que eu assistia e que, de alguma forma, apresentavam a ciência. Perguntei se eles conheciam todos, pois achava que alguns poderiam estar ultrapassados. Felizmente, eles conheciam quase todos, exceto "O Mundo de Beakman"², que eu apresentei como uma versão antiga do "Manual do Mundo"³. Falei também sobre os programas do canal de TV *Discovery Channel* que me marcaram e perguntei se eles o conheciam, ao que recebi uma resposta positiva. Compartilhei que esses programas foram meus primeiros contatos com ciência e engenharia, e que influenciaram minhas escolhas. Comentei sobre meu fascínio pela exploração espacial e meu antigo sonho de ser engenheiro da NASA, embora eu não gostasse de matemática na época.

Muitos alunos se identificaram com minhas críticas à matemática escolar, que eu descrevi como uma sequência de exercícios fáceis, mas traiçoeiros, repetitivos e

² Programa de TV educativo dos anos 90. Mais informações em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Beakman%27s_World

³ É um canal no YouTube brasileiro especializado em conteúdos educativos e de entretenimento, criado em 2008. Mais informações em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Manual_do_Mundo

sem grande significado. Entretanto, ressaltei que, na adolescência, eu acreditava que a matemática do ensino superior seria diferente, mais interessante, como mostravam os filmes. Um dos filmes que me fez pensar assim foi "Uma Mente Brilhante" (ou "*A Beautiful Mind*"), baseado na vida do matemático John Nash (AFI Catalog, 2024). Comentei sobre uma cena em que Nash resolve uma equação no quadro, uma equação que parecia ter um significado maior, ao contrário das que eu fazia na escola. Um aluno comentou que essa impressão só existia porque os atores eram bons, enquanto outra aluna disse que preferia manter distância dessas coisas. A interação era leve e bem-humorada, e a aula fluiu com participação ativa. Concordei que, de fato, o filme é romanceado, assim como os desenhos e programas do *Discovery* são feitos para tornar a ciência mais divertida. No entanto, destaquei que essas influências construíram meu fascínio pela ciência, e foi isso que me levou a cursar Física.

Em seguida, falei sobre a decepção que tive na faculdade, onde esperava uma matemática mais significativa, mas encontrei uma continuação do que via na escola. A pressão por passar nas provas não permitia que eu enxergasse o real significado dos cálculos, o que gerou frustração e me levou a trocar de curso. Escolhi Filosofia, acreditando que encontraria respostas para as minhas perguntas, e expliquei como isso me ajudou a entender melhor algumas questões da Física, embora precisasse de mais tempo para detalhar essa relação. Finalmente, expliquei por que retornei à Física e, conseqüentemente, por que estava ali naquele dia.

Depois, passei a comentar as respostas ao Questionário Sobre as Atitudes dos Alunos Frente à Disciplina de Física, localizado no Apêndice A e entre os *slides* 12 e 15 do Apêndice C. Observei que muitos tinham dificuldades semelhantes às minhas em relação à matemática, relatando que gostariam mais de Física se houvesse "menos contas", "menos cálculos e mais teoria" ou se "entendessem melhor". Compartilhei minha visão de que, para entender uma equação, é necessário visualizar o fenômeno que a originou, e por isso concordei com os que afirmaram querer mais experimentos nas aulas. Prometi que, sempre que possível, utilizaria experimentos ou simulações antes de discutirmos as equações.

Uma das respostas do questionário, dada por uma aluna, mencionava que ela gostaria de aulas mais lúdicas. Aproveitei essa deixa para introduzir a "Carta de Chladni", encontrada no *Slide* 17 do Apêndice C e a atividade experimental. Após apresentar e discutir brevemente a carta, disse à turma que eles seriam minha

equipe para elaborar uma resposta a Chladni. Pedi um voluntário para me ajudar a mudar uma mesa de lugar e, juntos, colocamos a mesa no centro da sala. Então, mostrei o conteúdo da sacola: dois grampos de mesa, uma placa circular e outra quadrada de metal, e um pote de areia. As placas eram fixadas no centro por hastes de metal. A turma observava com curiosidade, e perguntei se alguém sabia como montar o experimento ou queria tentar. Apesar da curiosidade, muitos pareciam receosos de errar. Apenas um aluno tentou montar, sem sucesso. Outro aluno, mais ao fundo, veio ajudá-lo, e juntos conseguiram montar as peças como apresenta a Figura 9.

Figura 9 - Montagem do experimento em sala de aula.



Fonte: Autor, 2024.

O próximo passo foi pedir que fizessem previsões sobre o que aconteceria ao friccionar o arco na placa de metal coberta de areia. Os alunos preferiram compartilhar suas previsões em voz alta em vez de escrevê-las, como eu havia solicitado inicialmente. Percebi que insistir na escrita consumiria muito tempo, então segui em frente. Muitos alunos já tinham uma ideia do que aconteceria e, ao expressarem suas opiniões em voz alta, acabaram influenciando os demais. Perguntei quem gostaria de testar, e um aluno se voluntariou. Após jogar areia sobre a placa, ele usou o arco para realizar o experimento. A maioria dos alunos preferiu observar à distância, e apenas dois ou três participaram diretamente. Embora isso tenha sido um pouco abaixo das minhas expectativas, ajudou a economizar tempo.

Depois, insisti que eles escrevessem uma explicação para o fenômeno observado. Permiti que formassem grupos, e tive que avisar que a chamada seria

feita com base nos nomes nos trabalhos, o que motivou todos a finalizar a atividade a tempo.

Infelizmente, não houve tempo para apresentar os últimos *slides*, onde eu explicaria os temas das próximas aulas, mas isso não comprometeu o andamento da aula.

As explicações entregues pelos alunos foram, no geral, coerentes. Algumas estavam mais completas do que outras, mas nenhuma continha erros significativos, embora apresentassem algumas confusões conceituais. Esse exercício foi útil para que eu conhecesse melhor a turma e pudesse ajustar meu ensino. A impressão geral foi que o nível da turma é bom, e que será possível avançar bastante no conteúdo.

Minha percepção foi de que a turma demonstrou interesse e se mostrou bastante descontraída durante a aula. É claro que nem todos os alunos tiveram esse comportamento; muitos permaneceram mais reservados, acompanhando o conteúdo em silêncio e sem quase interagir, o que acredito estar relacionado à timidez. A abordagem de compartilhar minhas dificuldades com a matemática pareceu ressoar entre eles, assim como os desenhos e as referências à minha infância, elementos que utilizei para contextualizar o tema da aula. Acredito que essa estratégia contribuiu para estabelecer uma conexão mais próxima com os alunos, tornando o ambiente mais acolhedor e favorecendo a construção do diálogo.

5.2.2 Aula 2: Tipos de ondas e suas características

Data: quinta 10 de outubro de 2024.

Tópicos: Ondas transversais e longitudinais, comprimento de onda, frequência e período

Objetivos Docentes: Os objetivos serão fazer compreender a diferença entre ondas transversais e longitudinais e apresentar e relacionar os conceitos de frequência, período, comprimento de onda e velocidade de propagação.

Procedimentos:

Atividade Inicial (~10 min): Inicialmente cumprimentarei a turma e ligarei o computador e o projetor enquanto faço a chamada. Os primeiros *slides* serão referentes a carta de Ernst Chladni, que é onde a primeira aula terminou. Começarei então comentando as explicações que os alunos deram para o fenômeno das Figuras de Chladni. Direi que as respostas foram satisfatórias, mas que não são uma resposta que um cientista daria e por isso teremos que estudar mais sobre as ondas para conseguirmos formular uma resposta digna mais adiante. Assim continuarei com os *slides* que não consegui apresentar na aula anterior por falta de tempo. Falarei sobre o que veremos no decorrer das aulas dali por diante.

Desenvolvimento (~25 min): Apresentarei os *slides* que estão no Apêndice D. O primeiro será o *slide* 24 que apresenta a pergunta: “O que é uma onda?” junto com vários exemplos visuais de ondas diferentes: ondas do mar, a ponte Tacoma Narrows oscilando em função do vento, uma onda de choque produzida por uma explosão, ondas sísmicas, ondas gravitacionais e ondas de som. Após mostrar visualmente estes fenômenos diversos, o próximo *slide* trará a pergunta: “O que é que algo precisa ter para ser uma onda?”. Esta pergunta é para fazer os alunos pensarem e discutirem o que todos aqueles fenômenos têm em comum. Após um pequeno tempo de discussão, que eu espero criar, darei a eles uma definição provisória do que é uma onda: “Uma onda é uma perturbação que se propaga em um meio, transportando energia sem deslocar matéria”. Esta definição é provisória pois ela não dá conta das ondas eletromagnéticas e portanto, teremos que aprimorá-la mais adiante. Após apresentar e discutir brevemente a definição, apontando para o significado de cada termo que nela aparece, prosseguirei distinguindo as ondas transversais e longitudinais através de um GIF animado presente no próximo *slide*.

Terminadas estas explicações mais gerais, anunciarei que faremos uma atividade de *Peer Instruction* e darei as diretrizes sobre a atividade que será realizada conforme sugerem Araujo e Mazur (2013). As perguntas exploram a concepção alternativa de que ondas transportam matéria:

1. Quando uma onda se propaga em uma corda, o que acontece com as partículas da corda?
 - a. Elas se movem com a onda de uma extremidade para a outra.

- b. Elas se movem para frente e para trás em torno de suas posições de equilíbrio.
 - c. Elas giram em torno de seus pontos de origem.
 - d. Elas ficam completamente paradas enquanto a onda se propaga.
2. Quando uma onda sonora viaja através do ar, o que está sendo transportado?
- a. Apenas matéria.
 - b. Apenas energia.
 - c. Matéria e energia.
 - d. Nem matéria, nem energia.
3. Em uma onda no oceano, o que acontece com a água à medida que a onda se propaga?
- a. A água se move com a onda em direção à praia.
 - b. A água move-se verticalmente e horizontalmente, mas não é transportada para a praia.
 - c. A água se move em um círculo completo, sendo transportada lentamente para a praia.
 - d. A água permanece completamente estacionária enquanto a onda passa.
4. Quando uma onda em uma corda passa através de um ponto no meio da corda, qual das seguintes afirmações é verdadeira?
- a. A energia e a matéria no ponto são transferidas pela onda.
 - b. Somente a energia é transferida pela onda, não a matéria.
 - c. Somente a matéria é transferida pela onda, não a energia.
 - d. Nem a energia nem a matéria são transferidas.

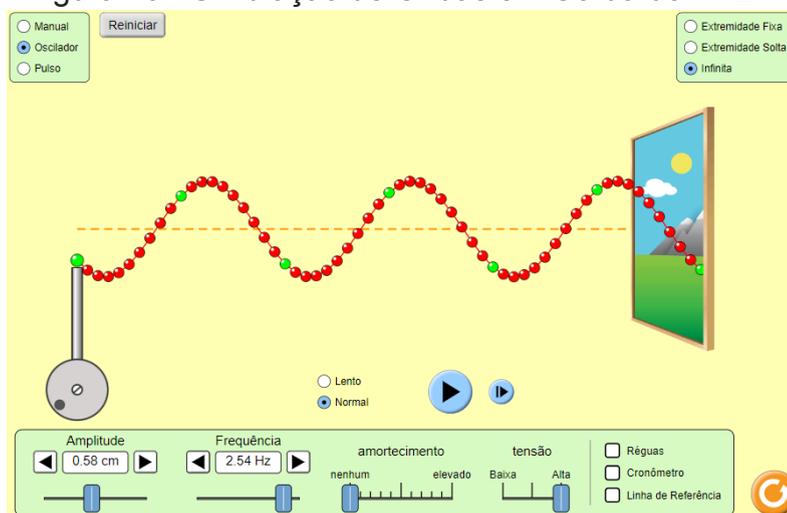
A última questão explora o fenômeno que é, ao meu ver, o motivo de haver esta concepção alternativa: o surfista pegando onda. O fenômeno do surfista é frequentemente mal interpretado porque os alunos vêem o surfista se movendo junto com a onda até a praia e supõem que a onda está transportando tanto a água quanto o surfista.

5. Um surfista está em pé sobre sua prancha e "pega" uma onda que se aproxima. A onda o leva até a praia. Qual das seguintes afirmativas melhor explica por que o surfista se move com a onda?
- O movimento da onda transporta a água e o surfista juntos para a praia.
 - A onda transporta energia, que empurra o surfista para frente, enquanto a água, em sua maior parte, oscila em torno de uma posição.
 - A onda transporta tanto a água quanto o surfista para a praia.
 - O surfista se move porque a água da onda o carrega diretamente até a praia.

Não sei se apresentarei todas estas questões, vai depender do quanto eu achar que a turma está compreendendo e do tempo.

Depois de discutir bem estas questões, começarei a discutir os conceitos de frequência, período, velocidade de propagação, comprimento e amplitude de uma onda. Para auxiliar a discussão, usarei a simulação do PhET denominada Ondas em Corda⁴ que pode ser visualizada na Figura 10.

Figura 10 - Simulação de Ondas em Corda do PhET.



Fonte: PhET (2024c)

Projetando a simulação no quadro, inicialmente terei de configurá-la tal como aparece na Figura 10. Assim apresentarei a noção do que é frequência fazendo a frequência do simulador variar e perguntando em seguida “o que muda na onda quando eu vario a sua frequência?” Eles provavelmente vão afirmar que o que varia

⁴ Esta simulação pode ser facilmente encontrada em https://colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_all.html?locale=pt_BR

é a “velocidade” com que a haste do oscilador sobe e desce. Se eles afirmarem isso, poderei começar discutindo o conceito de período. Outra coisa que eles poderão dizer é que “quando o oscilador é mais rápido, as ondas ficam mais juntas”. Se eles disserem algo como isso, eu poderei perguntar “de que forma podemos medir isso?” Desta forma acredito que o conceito de comprimento de onda saia naturalmente. Para garantir que eles entendam, desenharei no quadro a medida de uma crista a outra usando já a letra λ para indicar esta quantidade, depois perguntarei: “que nome podemos dar a esta medida?”.

Outra resposta possível seria: “de um jeito parece que as ondas andam mais rápidas”. Isso me daria a oportunidade de falar da velocidade de propagação, mostrando que esta velocidade não muda com a frequência, perguntarei então “com o que ela muda?”. A simulação permite tensionar mais a corda, farei este ajuste para mostrar a relação entre a tensão e a velocidade de propagação. Depois farei uma seção de *Peer Instruction* com as seguintes perguntas:

6. Em uma corda vibrando, o que aconteceria com o comprimento de onda se você aumentasse a frequência sem alterar a tensão da corda?
 - a. O comprimento de onda aumentaria.
 - b. O comprimento de onda diminuiria.
 - c. O comprimento de onda permaneceria o mesmo.
 - d. Não é possível determinar sem mais informações.

7. Considere uma onda viajando em um meio onde a velocidade da onda é constante. Se o comprimento de onda for dobrado, o que deve acontecer com a frequência da onda?
 - a. A frequência também dobra.
 - b. A frequência se reduz à metade.
 - c. A frequência permanece a mesma.
 - d. A frequência e o comprimento de onda são independentes.

8. Uma corda é agitada para gerar uma onda transversal. A amplitude da onda é aumentada. O que acontece com a velocidade de propagação da onda ao longo da corda?
 - a. Aumenta, pois a onda tem mais energia.

- b. Diminui, porque a amplitude maior aumenta a resistência ao movimento.
 - c. Permanece constante, pois a velocidade de uma onda depende apenas das propriedades do meio.
 - d. Depende da frequência: a velocidade pode aumentar ou diminuir.
9. Você agita uma mola para criar uma onda longitudinal. Ao aumentar a frequência da agitação, o que ocorre com a velocidade de propagação da onda?
- a. Aumenta, porque ondas de alta frequência são mais rápidas.
 - b. Permanece constante, porque a velocidade depende apenas das propriedades da mola e não da frequência.
 - c. Diminui, porque ondas de alta frequência se propagam mais devagar em meios rígidos.
 - d. Aumenta, mas somente se a amplitude também aumentar.

Fechamento (~10 min): Ao final da aula direi que na próxima aula veremos como é possível equacionar estas informações. Perguntarei a eles como eles acham que deva ser a forma da equação considerando que quando a frequência aumenta o comprimento de onda diminui e deixarei que eles levem essa curiosidade para casa.

Recursos:

Os recursos utilizados serão quadro e marcador para explicações, uma mola para demonstração de ondas, computador e projetor, *flashcards* para *Peer Instruction* e uma lista de exercícios impressa.

Avaliação:

A avaliação será feita mediante a participação dos alunos nas discussões durante as respostas das perguntas conceituais.

Observações:

Devido à polêmica gerada na aula por um grupo de alunos que insistiu em acreditar que as ondas do mar trazem água para a praia, acho melhor explicar com mais clareza o que acontece com as ondas durante a arrebentação na próxima aula.

Relato de Regência:

Cheguei na sala de aula antes do professor titular e da maioria dos alunos. Imediatamente comecei a ligar meu computador e o projetor, abri minha apresentação no *PowerPoint* e quando terminei o restante da turma já havia chegado na sala junto com o professor titular. Apesar de algumas conversas paralelas, a turma estava tranquila.

Os alunos queriam saber da correção da prova, mas o professor disse que ainda não tinha corrigido, o que gerou alguns protestos da turma. Também perguntaram sobre o trabalho que eles escreveram na última aula. Esta foi a deixa para começar a aula pois os primeiros *slides*, que corresponde ao *Slide 17* do Apêndice C, eram sobre isso. Disse para eles que li o que eles escreveram e que as respostas estavam boas, mas não o suficiente para serem enviadas para o senhor Chladni e que nós tínhamos até dezembro para estudar mais o assunto e formular uma resposta mais cientificamente correta. Então apresentei os *slides* que não tive tempo de apresentar na aula anterior.

Com o *Slide 18* falei que nós teríamos que estudar o que são ondas e as suas propriedades básicas. Com o *Slide 19* falei que veríamos como funcionam os instrumentos e perguntei se eles tinham curiosidade de saber como uma caixa de som consegue reproduzir todos os tipos de sons. Alguns alunos responderam, como se fosse uma coisa óbvia, que a caixa reproduz as frequências. Perguntei então o que são frequências e as respostas não foram muito coerentes. Disse então que nós veríamos mais sobre isso posteriormente.

Ao apresentar o *Slide 20* disse que vamos medir a velocidade do som. Brinquei com a turma dizendo que infelizmente o Colégio havia dito que não tinha orçamento para alugar um avião, mas que daríamos um outro jeito de medir. Com o *Slide 21* perguntei se eles sabiam mais ou menos como funcionava um sonar. Apesar de um aluno parecer não ter vocabulário para explicar, pelos gestos que eles fez deu para inferir que ele sabia. Depois disse que nós mostraremos que a luz é uma espécie de onda e que no final nós voltaremos as Figuras de Chladni com um novo olhar para, agora sim, apresentar uma resposta mais convincente a carta. Falei para eles que tinha a vontade de fazer o experimento das figuras com um equipamento mais avançado que tem no laboratório do prédio H do Instituto de Física, mas que haviam me dito que aquele equipamento não poderia sair de lá.

uma aluna me perguntou: “então por que você não nos leva para lá?”. Eu disse que ia pensar nesta possibilidade.

Depois falei que a primeira coisa que nós tínhamos que tratar era sobre o que é uma onda e quais as suas características principais. Apresentei os *slides* do 24 ao 31 que estão no Apêndice C. Nestes *slides* aparecem vários exemplos visuais de ondas diferentes. No *Slide* 25 aparecem ondas no mar aberto, no 26 aparece a ponte Tacoma Narrows. Quando apresentei o *slide* com um GIF da ponte Tacoma Narrows oscilando em função do vento um aluno disse que aquele GIF era falso. Eu disse que não, que na verdade aquele foi um fato real que aconteceu devido a um erro de engenharia, pois os engenheiros não levaram em consideração a ação do vento em seus cálculos. A turma ficou surpresa com esta informação. Eu disse que nós veríamos mais sobre isso mais adiante.

Depois apresentei um GIF da explosão que aconteceu no porto do Beirut no dia 4 de agosto de 2020⁵, que foi considerada uma das maiores explosões não nucleares da história. No GIF dá para ver a onda de choque se expandindo. Contei um pouco do que tinha acontecido na ocasião. Também mostrei uma animação de uma onda sísmica onde duas placas tectônicas se atritam e formam a onda. Depois mostrei uma animação de uma onda gravitacional que apresentava duas estrelas orbitando uma a outra e emitindo ondas no processo. Terminei apresentando uma “fotografia” de uma onda de som que pode ser vista no *Slide* 30.

O *slide* seguinte, o *Slide* 31, trouxe a pergunta: “O que algo precisa ter para ser uma onda?”. Ao fazer esta pergunta recebi várias respostas com mímicas. Após um pequeno tempo dei a eles uma definição provisória do que é uma onda: “Uma onda é uma perturbação que se propaga em um meio, transportando energia sem deslocar matéria”. Esta definição é provisória pois ela não dá conta das ondas eletromagnéticas e portanto, teremos que aprimorá-la mais adiante. Tentei me ater aos termos como “perturbação” e “propagação” ao apresentar a definição. Nenhum aluno pareceu ter dificuldades de entender o que estava escrito, ninguém fez perguntas.

Assim disse que, como havia muitas ondas diferentes, os físicos preferiram distinguir dois tipos: as ondas transversais e longitudinais. Apresentei os dois tipos através de um GIF animado presente no *Slide* 33.

⁵ Este GIF pode ser encontrado em: <https://gizmodo.uol.com.br/tragedia-de-beirute-esta-entre-as-dez-maiores-explosoes-acidentais-da-historia/>

Terminadas estas explicações mais gerais, apresentei os cartões de Peer Instruction para a turma e pedi para um aluno distribuí-los para os demais. Eu falei para eles pensarem em um argumento para sustentar suas respostas e apresentei a primeira questão do plano de aula.

Nesta questão, 8 marcaram que a resposta correta deveria ser a letra A, outros 8 marcaram que a resposta deveria ser a letra D e apenas 4 marcaram a letra B.

Apesar dos meus esforços, não consegui convencer a turma a encontrarem algum colega que deu uma resposta diferente para tentar convencer. Os alunos, talvez, estivessem tímidos demais para isso. Desistindo de tentar, passei a discutir cada resposta.

Fiz um esforço para mostrar como a letra A é uma resposta absurda dado que a corda permanece presa a mão de quem causou a perturbação. Os alunos que apontaram a letra A como resposta não contestaram as minhas afirmações. Já uma menina que apontou a letra D como resposta reagiu dizendo que a questão era ambígua. Perguntei o que ela queria dizer com isso. Ela me disse que considerando o movimento em uma única direção, a direção de propagação, as partículas ficam completamente paradas. A observação gerou uma grande discussão entre os alunos do fundo.

Quando eles se acalmaram pude explicar melhor a questão. De fato, a aluna não estava errada, talvez eu tenha me expressado mal. Disse então que o movimento que estava acontecendo em uma direção apenas era o de propagação da onda, mas que de fato as partículas não se moviam na mesma direção da propagação por se tratar de uma onda transversal. Não sei se consegui me expressar bem o suficiente para que ela entendesse, mas ela parou de contestar. A segunda pergunta que apresentei corresponde à terceira do plano de aula.

Após todos responderem, notei que muitos ainda não haviam entendido que a onda não transporta energia. Procedi como antes, discutindo cada alternativa com a turma. Ao final da discussão perguntei se alguém tinha alguma dúvida. A mesma aluna que havia iniciado a discussão anterior insistiu que a resposta devia ser a letra A, na opinião dela. Mais uma vez os colegas rebateram o que demonstrou que eles estavam entendendo. Ela não se convencia, para ela a onda levava sim água para a praia. Quando a turma se acalmou eu falei que se as ondas levassem água para a praia as praias estariam todas inundadas. Assim que disse isso, um colega do fundo

repetiu minhas últimas palavras com indignação. Mas a menina continuava irredutível e me fez me sentir um pouco sem saída. Decidi continuar já que a próxima questão abordava o mesmo tema e talvez uma abordagem um pouco diferente gerasse um entendimento melhor.

A próxima pergunta (a quinta do plano de aula), na verdade, era aquela que eu julgava que seria o germe das discórdias, mas a discórdia já estava instalada desde a primeira questão. O interessante desta questão é que percebi que quem já havia compreendido que a onda não transporta matéria não pareceu se abalar com este aparente contraexemplo. Mas, ainda assim, muitos continuavam confusos. Para explicar o que acontece neste caso, desenhei uma onda com uma prancha em cima dela e marquei o diagrama de forças envolvidas naquele momento. Apesar de alguns alunos não lembrarem mais deste conteúdo, acredito que eles devem ter compreendido. Mesmo assim, a menina continuava com o mesmo bloqueio epistemológico. Isso me fez querer modificar o plano da próxima aula para abordar melhor o que acontece na arrebentação.

Com o tempo acrescido pelas discussões, não foi possível aplicar tudo o que havia sido planejado antes do sinal tocar e a aula terminou comigo finalizando a explicação do movimento do surfista e com a aluna insistindo que, na opinião dela, as ondas de verdade não eram daquele jeito.

Apesar de eu não conseguir aplicar o Peer Instruction “como manda a teoria”, creio que ele cumpriu seu papel ao trazer à tona a concepção alternativa da aluna. Além disso, este contratempo e a discussão que ele causou pareceram despertar o interesse dos alunos que sentam no fundo da sala. Porém, infelizmente, parece que eu não fui capaz de desatar o nó que se formou, pois eu não esperava que a polêmica tomasse a direção que tomou e não havia preparado argumentos para rebater as afirmações da aluna. Decidi estudar melhor a questão e apresentar esses argumentos na próxima aula.

5.2.3 Aula 3: Relações matemáticas entre as grandezas físicas das ondas

Data: segunda dia 21 de outubro de 2024

Tópicos: Relações matemáticas entre período e frequência, velocidade de propagação, comprimento de onda e período, ondas de som, altura, comprimento de

onda, frequência, volume, amplitude. Unidades de medida. Representação gráfica de ondas, Relação com frequência e amplitude

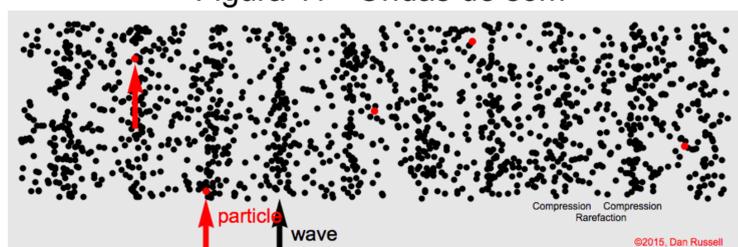
Objetivos Docentes: Irei abordar inicialmente o fenômeno da arrebatção das ondas do mar e posteriormente os conceitos de frequência, período e velocidade de propagação das ondas, fazendo uma conexão direta com a experiência auditiva dos alunos. Além disso, utilizarei recursos interativos para reforçar o aprendizado de maneira visual e auditiva.

Procedimentos:

Início da aula (~10 min): Iniciarei a aula lembrando a discussão gerada na aula passada devido às perguntas apresentadas na atividade de Peer Instruction. As perguntas geraram polêmica entre os alunos, alguns insistiram que as ondas do mar transportam água para a praia mesmo com os meus esforços para fazê-los mudarem de ideia. Para auxiliar a discussão, usarei a simulação do PhET denominada Ondas em Corda⁶ que pode ser visualizada na Figura 10.

Projetando a simulação no quadro, inicialmente terei de configurá-la tal como aparece na Figura 10. A primeira observação a ser feita sobre a simulação será sobre os pontos que aparecem ao longo da corda em vermelho e em verde. Estes pontos representam as partículas que compõem o corpo da corda. Nota-se nitidamente da simulação que eles apenas sobem e descem conforme o movimento da onda, mas que eles não se propagam junto com ela. Este resultado pode ser facilmente verificado se pegarmos uma corda real e pintarmos um pedaço dela. Para auxiliar ainda mais nesta compreensão, apresentarei também uma imagem animada (GIF) de ondas de som que pode ser vista na Figura 11.

Figura 11 - Ondas de som

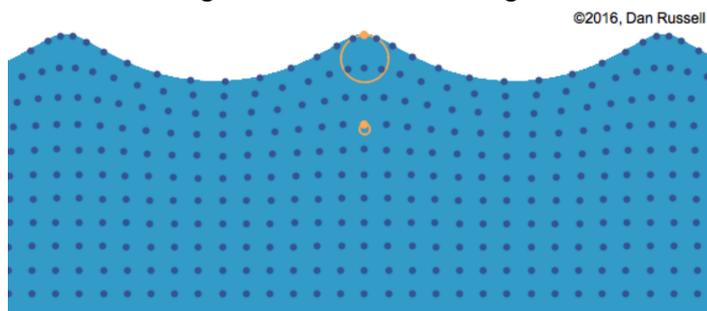


Fonte: Russell (2002)

⁶ Esta simulação pode ser facilmente encontrada em https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_all.html?locale=pt_BR

Podemos ver nestas animações que os pontos que representam as moléculas de gás oscilam em torno de uma posição e não se propagam junto com a onda. Pretendo discutir isto com eles e depois apresentar outra imagem de uma onda na água que pode ser vista na Figura 12.

Figura 12 - Ondas na água

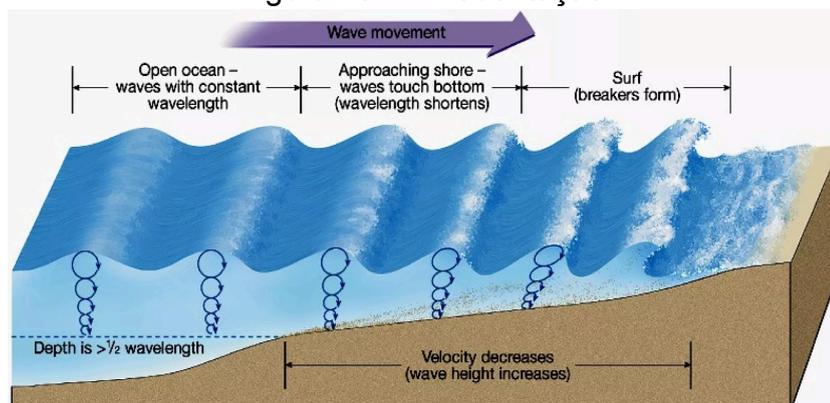


Fonte: Russell, 2016.

Da mesma forma que na figura anterior, podemos ver que os pontos, que representam moléculas de água, oscilam em torno de uma posição, mas não acompanham a onda.

A próxima etapa será discutir o que acontece na arrebentação. Para ajudar na discussão vou utilizar a própria animação da Figura 12. Vou usar o marcador no quadro para desenhar o fundo do mar inclinado. No meu desenho o fundo estará submerso no lado esquerdo e será mais alto que a crista da onda no lado direito. Tentarei fazer a turma refletir sobre o que acontece nestas condições. Falarei a eles que teremos que discutir melhor o que acontece mais adiante, mas que deve ser possível entender, mesmo que parcialmente, agora. A água que se encontra na crista da onda acaba rolando até a parte mais alta do plano, porém a água que está sobre o vale, não. Assim, após a passagem da crista aquela água que rolou para a praia tem que voltar para o mar. É isto que se pode sentir quando vamos à praia e ficamos numa parte mais rasa. Depois que a onda passa por nós, sentimos a água retornando ao mar. Para ilustrar isso melhor apresentarei mais a Figura 13 onde podemos ver ondas se arrebentando na praia e onde está sinalizado as regiões de mar aberto, a região onde o fundo da onda encontra o fundo do mar e a região na qual a onda arrebenta.

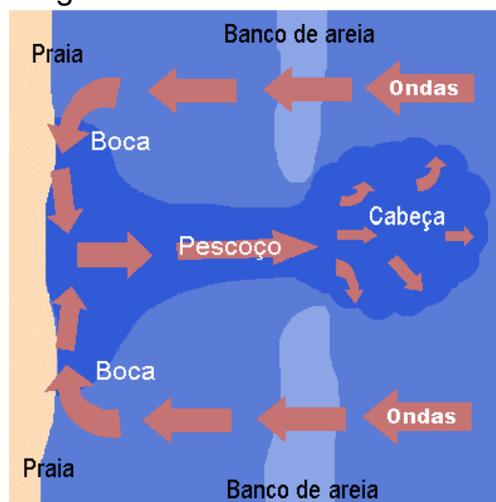
Figura 13 - Arrebentação.



Fonte: Instituto de Física, 2024.

Para terminar com esta parte apresentarei mais uma animação que apresenta a corrente de retorno, Figura 14, que acontece quando o refluxo de retorno da água das ondas cria um canal no banco de areia por onde uma grande quantidade de água retorna para o mar após a rebentação. Este fenômeno é responsável por muitos afogamentos de banhistas.

Figura 14 - Corrente de Retorno



Fonte: Guarda-Vidas, 2024.

Espero assim convencer toda a turma de que ondas transportam energia e não matéria.

Após este esclarecimento, retornarei para a simulação do PhET para apresentar as características distintivas das ondas. Iniciarei falando que quando falamos da aparência de uma pessoa, recorreremos a algumas características físicas, como a altura, a cor da pele dos, olhos e do cabelo, etc. Algo similar acontece

quando queremos falar das ondas, porém para falar dela usamos outras características como o comprimento de onda, a frequência e assim por diante.

Desta forma começarei a apresentar a noção do que é frequência fazendo a frequência do simulador variar e perguntando em seguida “o que muda na onda quando eu vario a sua frequência?” Eles provavelmente vão afirmar que o que varia é a “velocidade” com que a haste do oscilador sobe e desce. Se eles afirmarem isso, poderei começar discutindo o conceito de período. Outra coisa que eles poderão dizer é que “quando o oscilador é mais rápido, as ondas ficam mais juntas”. Se eles disserem algo como isso, eu poderei perguntar “de que forma podemos medir isso?” Desta forma acredito que o conceito de comprimento de onda saia naturalmente. Para garantir que eles entendam, desenharei no quadro a medida de uma crista a outra usando já a letra λ para indicar esta quantidade, depois perguntarei: “que nome podemos dar a esta medida?”.

Outra resposta possível seria: “de um jeito parece que as ondas andam mais rápidas”. Isso me daria a oportunidade de falar da velocidade de propagação, mostrando que esta velocidade não muda com a frequência, perguntei então “com o que ela muda?”. A simulação permite tensionar mais a corda, farei este ajuste para mostrar a relação entre a tensão e a velocidade de propagação. Depois farei uma seção de Peer Instruction com as seguintes perguntas:

1. Em uma corda vibrando, o que aconteceria com o comprimento de onda se você aumentasse a frequência sem alterar a tensão da corda?
 - a. O comprimento de onda aumentaria.
 - b. O comprimento de onda diminuiria.
 - c. O comprimento de onda permaneceria o mesmo.
 - d. Não é possível determinar sem mais informações.

2. Considere uma onda viajando em um meio onde a velocidade da onda é constante. Se o comprimento de onda for dobrado, o que deve acontecer com a frequência da onda?
 - a. A frequência também dobra.
 - b. A frequência se reduz à metade.
 - c. A frequência permanece a mesma.
 - d. A frequência e o comprimento de onda são independentes.

3. Uma corda é agitada para gerar uma onda transversal. A amplitude da onda é aumentada. O que acontece com a velocidade de propagação da onda ao longo da corda?
- Aumenta, pois a onda tem mais energia.
 - Diminui, porque a amplitude maior aumenta a resistência ao movimento.
 - Permanece constante, pois a velocidade de uma onda depende apenas das propriedades do meio.
 - Depende da frequência: a velocidade pode aumentar ou diminuir.
4. Você agita uma mola para criar uma onda longitudinal. Ao aumentar a frequência da agitação, o que ocorre com a velocidade de propagação da onda?
- Aumenta, porque ondas de alta frequência são mais rápidas.
 - Permanece constante, porque a velocidade depende apenas das propriedades da mola e não da frequência.
 - Diminui, porque ondas de alta frequência se propagam mais devagar em meios rígidos.
 - Aumenta, mas somente se a amplitude também aumentar.

Fechamento (~10 min): Ao final da aula direi que na próxima aula veremos como é possível equacionar estas informações. Perguntarei a eles como eles acham que deva ser a forma da equação considerando que quando a frequência aumenta o comprimento de onda diminui e deixarei que eles levem essa curiosidade para casa.

Recursos:

Os recursos utilizados serão quadro e marcador para explicações, uma mola para demonstração de ondas, computador e projetor, *flashcards* para *Peer Instruction* e uma lista de exercícios impressa.

Avaliação:

A avaliação será feita mediante a participação dos alunos nas discussões durante as respostas das perguntas conceituais.

Relato de Regência:

Devido às Olimpíadas do Colégio de Aplicação (OCA), houve uma interrupção de uma semana nas aulas. Minha impressão é que esse intervalo prolongado parece ter contribuído para a dispersão e a perda de continuidade no interesse dos alunos que havia sido gerado na discussão anterior. Além disso, os acontecimentos durante a OCA trouxeram vários comentários informais entre os alunos do fundo da sala, que não paravam de conversar animadamente e, em muitos momentos, ignoraram as informações que tentei passar.

Foi desafiador falar mais alto do que o barulho que boa parte da turma fazia. Ainda assim, segui com a aula para aqueles que estavam atentos e interessados, principalmente os alunos da frente, que se esforçavam para ignorar a conversa dos colegas e acompanhar o conteúdo. Por outro lado, foi frustrante perceber que a aluna cujas perguntas que haviam motivado toda a discussão inicial e que, por isso, me levou a modificar o plano de aula, também estava entre os que mais conversavam. Em alguns momentos, ela até tentava voltar a prestar atenção, mas logo se distraía novamente com os colegas.

Na tentativa de facilitar e agilizar meu trabalho, decidi usar o computador do colégio para projetar algumas animações no quadro. Porém, logo percebi que isso poderia ter sido uma escolha arriscada, já que houve dificuldades técnicas com a primeira animação (Figura 11). Apesar desse contratempo inicial, consegui utilizar os recursos visuais posteriores sem maiores problemas ao longo do restante da aula.

A discussão gerou algumas surpresas entre os alunos. Um exemplo foi a reação deles ao descobrir que as ondas do mar não podem ser classificadas apenas como transversais ou longitudinais, pois as moléculas de água se movem em círculos, conforme mostrado na animação que apresentei (Figura 12). Outro ponto que chamou a atenção foi a explicação sobre como o fundo do mar influencia as ondas que arrebentam na praia. Percebi que, se tivesse abordado o fenômeno da refração antes, talvez o assunto tivesse ficado mais claro, mas acredito que isso não tenha prejudicado muito a compreensão geral.

A corrente de retorno era um tema que poderia ter oferecido à aluna contestadora uma boa oportunidade para argumentar, caso estivesse prestando atenção. No entanto, ela continuava dispersa durante essa parte da aula, o que inviabilizou sua participação.

Mesmo com as dificuldades, consegui explicar para os alunos interessados as características usadas para diferenciar as ondas, como o comprimento de onda e a

frequência, utilizando a simulação do PhET como apoio. Esse momento foi proveitoso para quem estava focado, apesar de toda a distração ao redor.

Ao final da aula, eu estava esgotado, não só pela necessidade de falar alto o tempo todo, mas também pela sensação de que talvez aquela aula não tivesse valido tanto a pena do jeito que foi conduzida. Fiquei pensando se teria sido melhor tentar conversar com os alunos do fundo antes de começar a aula, buscando capturar a atenção deles de outra forma. Não sei se isso funcionaria ou se apenas agravaria a situação. Pelo menos, uma parte da turma conseguiu se concentrar, e os conceitos principais que abordei seriam retomados na aula seguinte, o que me deu alguma tranquilidade.

5.2.4 Aula 4: Resolução de exercícios

Data: quinta dia 24 de outubro de 2024

Tópicos: Resolução de exercícios sobre frequência, período, amplitude, e velocidade de propagação de ondas, com ênfase na relação com o som.

Objetivos Docentes: Minha principal meta será que os alunos consigam revisar e aplicar os conceitos discutidos nas aulas anteriores, como frequência, período e amplitude, em situações práticas e cotidianas, destacando as equações que relacionam essas grandezas. Minha meta é garantir que eles compreendam profundamente o significado dessas equações. Além disso, será essencial que compreendam como esses conceitos físicos se relacionam com o som, para que consigam estabelecer conexões entre os cálculos matemáticos e a experiência auditiva.

Procedimentos:

Atividade Inicial (~10 min): No início da aula, farei uma rápida revisão dos conceitos-chave. Vou começar lembrando a turma sobre o que é frequência (número de oscilações por segundo), o que é o período (tempo para uma oscilação completa) e a amplitude (o deslocamento máximo da onda). Durante essa breve recapitulação, acrescentarei as equações que ainda não foram apresentadas. Primeiro vou apresentar a equação que relaciona frequência e período:

$$f = \frac{1}{T} \quad (18)$$

Depois apresentarei a equação da velocidade de propagação das ondas:

$$v = f \cdot \lambda \quad (19)$$

Desenvolvimento (~30 min): Após essa revisão inicial, farei a transição para a parte prática da aula, distribuindo uma lista de exercícios que os alunos irão resolver em duplas ou trios. A ideia é que trabalhem colaborativamente, trocando ideias e buscando soluções em conjunto. A lista de exercícios pode ser encontrada no Apêndice D deste trabalho.

À medida que os alunos avançarem nos exercícios, circularéi pela sala, observando o progresso e oferecendo assistência onde houver dificuldades. Será importante garantir que eles consigam aplicar as equações corretamente, mas também que entendam o significado físico por trás dos números.

Após cada bloco de exercícios, vou chamar a atenção da turma para discutirmos as soluções em conjunto. A ideia será debater as estratégias usadas pelos alunos, explicando passo a passo como resolver cada exercício, enquanto reforço a conexão entre a teoria e a prática.

Aplicação auditiva: Assim que os alunos tiverem resolvido alguns exercícios, farei uma aplicação mais prática e perceptível: vou utilizar um app de som *Tone Generator* para demonstrar diferentes frequências e amplitudes de ondas sonoras. Os alunos vão ouvir sons de várias frequências, desde graves até agudos, e relacionar isso com os cálculos que fizeram. Também vou demonstrar como a amplitude afeta o volume do som. Com isso, pretendo reforçar a ideia de que os cálculos não são abstratos, mas que têm reflexos claros na forma como ouvimos o som.

Fechamento (~5 min): Para encerrar a aula, farei um breve resumo dos principais pontos que trabalhamos: como calcular frequência, período, amplitude e comprimento de onda, e como isso tudo se conecta com a experiência auditiva do som.

Pretendo, então, pedir para que cada aluno avalie rapidamente se eles conseguiram entender a relação entre o som e os conceitos de Física que aplicamos

nos exercícios. Esse momento será essencial para garantir que a aula foi produtiva e que os alunos saíram com uma compreensão mais aprofundada dos tópicos.

Recursos:

Para essa aula, utilizarei o quadro e marcador para a explicação inicial e a discussão de soluções dos exercícios. A lista de exercícios será impressa ou projetada no quadro. Além disso, pretendo usar uma simulação de ondas do PhET para ilustrar visualmente a propagação de ondas e um aplicativo de som, o *Online Tone Generator* da OS, para a demonstração auditiva.

Avaliação:

A avaliação será feita de forma contínua, observando a participação dos alunos na resolução dos exercícios e suas contribuições durante as discussões em grupo. Também levarei em consideração a capacidade dos alunos de aplicar as fórmulas de maneira correta e sua compreensão sobre como os conceitos físicos das ondas se conectam ao que ouvimos no dia a dia.

Relato de Regência:

Cheguei na sala de aula antes da turma, que estava em outra sala no período anterior. Assim que entrei, conectei meu computador ao projetor. Apesar de ser um pouco mais trabalhoso, essa medida foi tomada para evitar os problemas técnicos que ocorreram na aula anterior. Quando já estava com a apresentação preparada para começar, os alunos começaram a chegar, acompanhados pelo professor titular.

Para explicar o conceito de frequência, utilizei a simulação PhET: Ondas em Corda, conforme ilustrado na Figura 10. Expliquei que frequência é o número de ondas que passam pela janela em um determinado intervalo de tempo. Informei que essa grandeza é medida em ciclos por segundo e que sua unidade é chamada de Hertz. Em seguida, abordei o conceito de período, definindo-o como o tempo necessário para que cada ciclo ocorra, e destaquei que essa medida é mais útil quando tratamos de ciclos longos, como o ciclo do dia ou do ano. Por fim, expliquei que há ciclos em que é possível descrever tanto a frequência quanto o período, e, por essa razão, é necessário termos uma forma de converter essas medidas entre si quando for conveniente. Foi nesse contexto que apresentei a equação 18.

Enquanto explicava, percebi que alguns alunos demonstravam expressões de dúvida, enquanto outros pareciam compreender com facilidade. No entanto, ninguém fez perguntas, e, ao perguntar se havia alguma dúvida, não houve manifestações. Como aqueles que pareciam confusos não quiseram expor suas dificuldades, decidi prosseguir em vez de tentar responder uma pergunta que não foi feita.

Apresentei, em seguida, a equação 19, que estabelece a relação entre velocidade, frequência e comprimento de onda. Essa equação é um pouco mais complexa, e, por isso, limitei-me a explicá-la de maneira breve. Após a apresentação, distribuí uma lista de exercícios (Apêndice D) para ser resolvida durante a aula. No início, percebi que a maioria dos alunos não estava motivada a começar a lista. Para incentivá-los, informei que aquela lista deveria ser entregue no final da aula e que valeria um ponto. Esse estímulo adicional fez com que os alunos se organizassem em pequenos grupos e iniciassem a resolução.

O professor titular já havia me alertado que havia três alunos na turma que necessitavam de provas e trabalhos adaptados. Entretanto, falhei em preparar o material para uma aluna que precisava de letras maiores para conseguir ler. Sem saber como resolver a situação naquele momento, informei à aluna que, devido ao meu erro, ela não precisaria entregar aquele trabalho. Assim, chegamos a um acordo.

A turma demonstrou facilidade em resolver os primeiros exercícios da lista, mas encontrou dificuldades nos dois últimos. Muitos grupos me chamaram para pedir ajuda, o que era esperado, já que as equações haviam sido apresentadas há pouco tempo. Percebi, no entanto, que as dificuldades estavam, em grande parte, relacionadas à matemática envolvida. A resolução dos exercícios levou mais tempo do que eu havia planejado, o que impossibilitou a realização da atividade de aplicação auditiva, que precisará ser realizada no início da próxima aula.

Propor exercícios para serem resolvidos em sala de aula revelou-se uma estratégia eficaz, pois estimulou os alunos a refletirem sobre o conteúdo, em vez de apenas acompanharem as explicações do professor. Essa abordagem está alinhada com a ideia apresentada por Gisele Secco (2015, p. 132), que sugere: para ensinar uma certa habilidade há que se fazer um pouco dela junto com o aluno, do mesmo modo que para ensinar a tocar violino o professor toca o instrumento junto de seu aprendiz. Acredito que o mesmo princípio se aplica ao ensino da resolução de

exercícios de Física. Entretanto, "fazer junto" do aprendiz não significa simplesmente resolver os exercícios no quadro branco enquanto ele copia. Se o aluno apenas copiar sem refazer o raciocínio junto com o professor, esse processo será pouco proveitoso. Nesse sentido, a estratégia mais eficaz é propor atividades para que o estudante raciocine por conta própria, enquanto o professor atua como um guia, intervindo apenas para corrigir eventuais erros. Além de promover maior engajamento e autonomia dos alunos, essa prática permitiu identificar dificuldades específicas de alguns estudantes, contribuindo para a adaptação das aulas futuras de forma mais direcionada e eficaz.

5.2.5 Aula 5: Timbre

Data: quinta dia 31 de outubro de 2024

Tópicos: Timbre, instrumentos musicais, espectro sonoro.

Objetivos Docentes: Meus objetivos serão resolver alguns dos exercícios da última aula no quadro para tirar dúvidas, relacionar o conceito de frequência com notas musicais e apresentar o conceito de timbre e sua relação com o som de diferentes instrumentos musicais. Diferenciar os sons produzidos por diversos instrumentos com base no timbre.

Procedimentos:

Atividade Inicial (~10 min): Para iniciar a aula, vou revisar a resolução dos exercícios 5 e 6, feitos pelos alunos na aula anterior. O objetivo é esclarecer dúvidas e reforçar o conteúdo abordado.

Desenvolvimento (~30 min): Em seguida, farei uma aplicação prática e interativa: utilizarei o aplicativo *Online Tone Generator*⁷ da OS para explorar diferentes frequências e amplitudes de ondas sonoras. Os alunos ouvirão sons de variadas frequências, relacionando-os a sons graves e agudos, e verão como a amplitude se conecta ao volume do som.

Depois disso, abrirei uma apresentação em *PowerPoint* sobre timbre. Explicarei aos alunos que a frequência é apenas uma parte do que define um som,

⁷ O software pode ser encontrado em: <https://onlinesound.net/tone-generator>

pois dois instrumentos podem tocar a mesma nota na mesma frequência, mas ainda assim ser possível identificar qual instrumento está tocando. Vou esclarecer que essa característica, que permite distinguir sons de instrumentos diferentes, é o timbre. No primeiro *slide*, estará a definição: "Timbre é a qualidade que permite distinguir o som produzido por instrumentos diferentes mesmo quando tocam as mesmas notas" (Gaspar, 2013, p. 54).

A partir daí, farei a pergunta: "O que faz cada instrumento produzir timbres diferentes?" Antes de responder, proporei algumas hipóteses: "Será que é a cor?", "Será que é a forma como as cordas são tocadas?", "Será que é o material do instrumento?" ou "Será que é o formato do instrumento?". Vou me concentrar em exemplos de instrumentos de corda, pois explicar instrumentos de sopro acrescentaria pouco à discussão e tornaria o tema mais complexo.

Primeiro, será fácil mostrar que a cor não interfere no som. Quanto à forma de tocar (dedos, arco ou martelo), vou mostrar que instrumentos tocados com os dedos não produzem o mesmo som. Para ilustrar, utilizarei dois vídeos do *YouTube*: em um, uma violinista toca um violino com os dedos⁸, como um violão; no outro, um violonista toca a mesma música em um violão⁹. Os sons são claramente diferentes, permitindo descartar a hipótese de que o modo de tocar determina o timbre.

A terceira hipótese será testada com um vídeo¹⁰ do Lord Vinheteiro¹¹, em que ele toca pianos de várias qualidades, dos mais baratos aos mais caros. Apesar da diferença de som entre os pianos, fica claro que todos ainda soam como um piano. Como eles diferem também no material de fabricação, isso mostra que o timbre não é totalmente definido pelo material.

Assim, sobra o formato. Mas como o formato do instrumento afeta o som? Para responder, farei uma analogia com o que acontece dentro de um ônibus. Como muitos alunos utilizam esse meio de transporte, acredito que entenderão facilmente. Quando o ônibus está parado, toda a carroceria vibra com o motor, e algumas partes, como janelas mal encaixadas, vibram mais e emitem som. Assim, o som do ônibus não é apenas do motor, mas da combinação de todos os componentes que vibram junto. Algo semelhante acontece com instrumentos musicais: a caixa do

⁸ O vídeo pode ser encontrado em: <https://www.youtube.com/watch?v=l1IS1ufGCto&t=3s>

⁹ O vídeo pode ser encontrado em: <https://www.youtube.com/watch?v=88k40O6dd7k&t=2s>

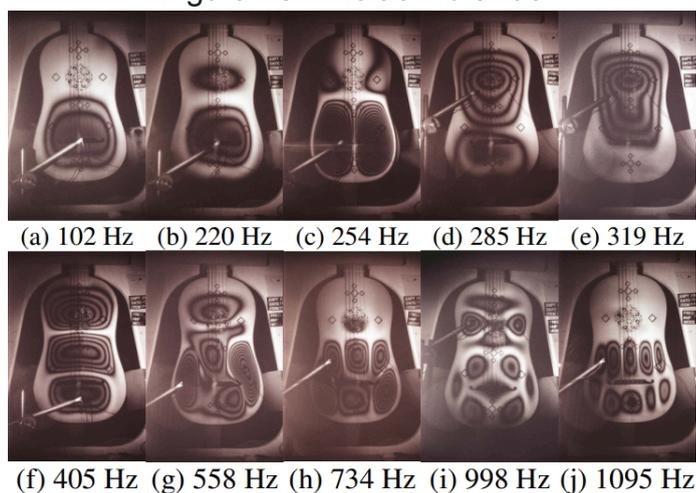
¹⁰ O vídeo pode ser encontrado em: <https://www.youtube.com/watch?v=wdRekUGLQvM>

¹¹ Lord Vinheteiro é pianista, youtuber e músico brasileiro. https://pt.wikipedia.org/wiki/Lord_Vinheteiro

violão, por exemplo, vibra junto com as cordas. É como se as cordas fossem o motor e o corpo do violão fosse a estrutura que amplifica o som.

Para esclarecer, apresentarei a Figura 15, que mostra o corpo de um violão e como ele vibra para amplificar o som em diferentes frequências.

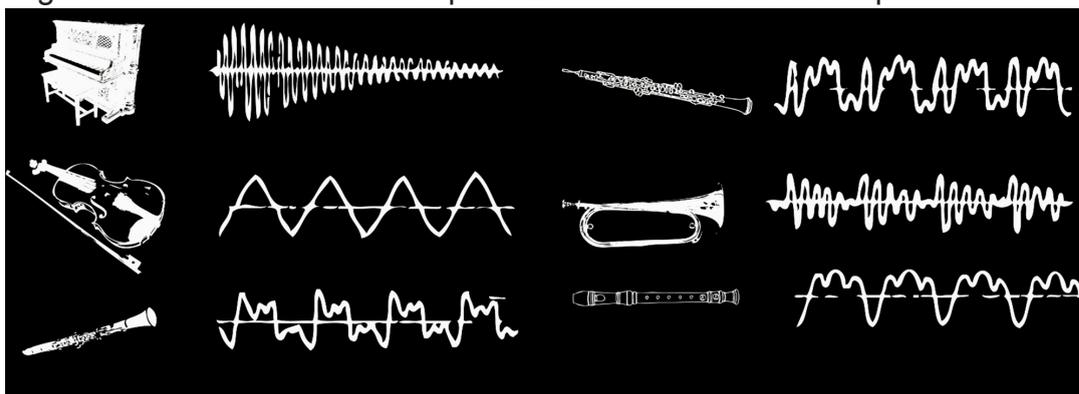
Figura 15 - Violão vibrando



Fonte: Richardson, 2010.

Perguntarei aos alunos se a imagem lembra alguma coisa, referindo-me às figuras de Chladni, que vimos na primeira aula. Em seguida, mostrarei gráficos de ondas sonoras de diferentes instrumentos (Figura 16), ilustrando como cada um produz um timbre distinto.

Figura 16 - Cada fonte sonora produz uma onda sonora complexa diferente



Fonte: Gaigher, 2015.

Fechamento (~5 min): Por fim, explicarei como essas ondas complexas são formadas pela combinação de várias ondas simples, com frequências e amplitudes variadas. Finalizarei a aula abrindo espaço para dúvidas e comentários dos alunos

Recursos:

Ao longo da aula, utilizarei uma caixa de som ou fones de ouvido para garantir que todos os alunos possam ouvir com clareza os sons dos instrumentos. O uso do aplicativo para a visualização do espectro sonoro será essencial para tornar o conceito mais palpável. Se houver algum problema técnico com o aplicativo, terei à disposição gráficos impressos que também podem ser utilizados para análise.

Avaliação:

Vou avaliar a participação dos alunos durante a aula, observando como interagem nas discussões e na análise dos espectros sonoros. As respostas às perguntas durante o fechamento e a realização da tarefa de casa também servirão como base para avaliar se os alunos compreenderam os conceitos de timbre e espectro sonoro

Relato de Regência:

Cheguei novamente antes do início da aula para conectar meu computador ao projetor e às caixas de som que seriam utilizadas. Contudo, cometi o descuido de não testar as caixas de som previamente, o que trouxe consequências posteriormente.

Assim que os alunos chegaram, iniciei a aula discutindo os exercícios 5 e 6 (Apêndice D), já que percebi que alguns estudantes haviam encontrado dificuldades na resolução. O conceito de comprimento de onda, embora simples, gerou certa confusão em parte da turma. Alguns alunos o interpretavam como a distância entre dois pontos que tocam a origem do gráfico, em vez da distância entre duas cristas consecutivas. Além disso, houve dificuldades em usar simultaneamente as equações 18 e 19 para resolver o exercício 6.

Após essa discussão inicial, perguntei à turma o que fazia as vozes das pessoas serem diferentes, mesmo quando cantam a mesma melodia. Dessa forma, introduzi o conceito de timbre. Para explicar o que é timbre, propus algumas hipóteses para responder à pergunta: “O que faz com que instrumentos musicais diferentes soem de forma distinta?”. Seria a cor do instrumento? A maneira como tocamos as cordas? O material do qual ele é feito? Ou o formato do instrumento? Os alunos rapidamente apostaram nas duas últimas hipóteses como as mais prováveis.

Começamos, então, a testar cada hipótese juntos. Primeiro, mostrei uma imagem com violões de cores diferentes e perguntei se a cor influenciava no som produzido. Nenhum aluno demonstrou dúvida de que isso não fazia diferença. Para testar a segunda hipótese, planejei apresentar dois vídeos: um com uma menina tocando uma melodia no violino com os dedos e outro com um rapaz tocando a mesma melodia no violão. Contudo, as caixas de som não funcionaram. Tentei utilizar as caixas do próprio computador, mas elas também não reproduziram o áudio, e, naquele momento, não entendi o motivo. Sem saber quanto tempo levaria para resolver o problema, decidi seguir com a aula sem som. Expliquei à turma que, apesar de os instrumentos serem tocados de forma semelhante, os sons produzidos por eles eram diferentes.

Para testar a terceira hipótese, utilizei um vídeo do Lord Vinheteiro¹². Alguns alunos já conheciam o youtuber e fizeram comentários sobre ele. Ao discutir a última hipótese, recorri a um exemplo cotidiano: o barulho das janelas de ônibus que vibram quando o veículo está parado com o motor ligado. Fiquei surpreso ao perceber que algumas alunas não tinham familiaridade com esse fenômeno. Expliquei que isso ocorre em ônibus mais antigos, cujas peças estão desgastadas e livres para se movimentar. Relacionei esse comportamento ao funcionamento dos instrumentos musicais, onde a corda atua como o motor, e o corpo do instrumento vibra junto, assim como as janelas e outras partes do ônibus.

Após essa discussão, perguntei à turma como a amplitude e a frequência de uma onda sonora se traduzem no som. Os alunos já demonstravam compreender que diferentes notas musicais possuem frequências distintas, mas pareciam incertos sobre o papel da amplitude. Para ilustrar, utilizei o *software Tone Generator* no computador, exibindo a imagem da onda gerada. Como o som não estava funcionando, imitei os tons com a minha própria voz, cantando notas mais graves para ondas de menor frequência e mais agudas para ondas de maior frequência. Também expliquei que a amplitude está relacionada ao volume do som.

Minha impressão é que a ausência do som prejudicou a aula, mas, ainda assim, a turma conseguiu compreender os conceitos apresentados. Esta, na verdade, foi a aula com a melhor participação dos alunos. Eles mantiveram atenção

¹² Lord Vinheteiro é um youtuber brasileiro. Mais informações podem ser encontradas em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Lord_Vinheteiro

do início ao fim, conversaram pouco entre si e demonstraram grande interesse tanto pelo tema quanto pela forma como foi abordado.

Posteriormente, ao conversar com meu orientador, descobri o motivo do problema com o áudio. Ao conectar o cabo HDMI ao computador, o sistema entende que o som deve ser reproduzido pelo dispositivo conectado ao cabo, silenciando as demais saídas de áudio. Além disso, decidimos que não seria apropriado deixar os alunos sem ouvir os sons previstos, já que a aula era justamente sobre timbre, e não há forma mais eficaz de demonstrar esse conceito do que apresentar diferentes sons. Assim, a próxima aula começará com a reprodução dos vídeos que não puderam ser exibidos nesta.

5.2.6 Aula 6: Reflexão

Data: segunda dia 4 de novembro de 2024

Tópicos: Reflexão de ondas mecânicas

Objetivos Docentes: Ao longo da aula, meu principal objetivo será que os alunos compreendam o conceito de reflexão de ondas mecânicas e como esse fenômeno ocorre em diferentes meios. Desejo também que eles consigam identificar exemplos práticos de reflexão no cotidiano e demonstrem uma compreensão clara das leis que regem esse fenômeno.

Procedimentos:

Atividade Inicial (~15 min): Na última aula, devido a um problema no áudio, não conseguimos ouvir os sons como planejado. Por isso, começarei esta aula apresentando a parte auditiva que ficou faltando. Utilizarei o *Online Tone Generator* para demonstrar diferentes frequências e amplitudes de ondas sonoras, de modo a mostrar que frequências distintas produzem notas diferentes. Os alunos ouvirão sons em várias frequências e aprenderão a associá-las a sons graves e agudos. Em seguida, explicarei como a amplitude está relacionada ao volume do som e introduzirei a medida de volume em decibéis. Após essa introdução, recapitularei o conceito de timbre e mostrarei novamente vídeos que comparam os sons produzidos por um violino, um violão e diferentes tipos de piano.

Desenvolvimento (~25 min): Para introduzir o conceito de reflexão, apresentarei um vídeo sobre uma câmara anecoica, conhecida como a sala mais silenciosa do mundo. Esse silêncio extremo é possível devido às estruturas nas paredes, teto e chão, que impedem a reflexão do som. Após o vídeo, farei a pergunta: “Sabemos que uma onda transporta energia, e a energia se conserva. Então, como o som 'some' nesta sala?”

Para responder a essa questão, estudaremos o fenômeno da reflexão das ondas. Com perguntas, incentivarei a turma a refletir sobre o que acontece quando uma onda encontra uma parede. Inicialmente, duas coisas podem ocorrer: a onda pode atravessar a parede ou ser refletida por ela. Na maioria das situações, ambas acontecem em diferentes intensidades. A discussão sobre a parte da onda que atravessa a superfície será feita em outra aula. Em seguida, explicarei o conceito de reflexão de ondas utilizando diagramas para ilustrar o fenômeno e destacarei as leis da reflexão, em especial a ideia de que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

$$\theta = \theta' \quad (20)$$

A fim de ilustrar na prática, realizarei um experimento com uma mola ou corda. Pedirei a um aluno que gere uma onda na corda, e juntos observaremos o que acontece quando essa onda atinge uma parede ou um ponto fixo na outra extremidade. Esse experimento ajudará a turma a compreender o conceito de reflexão de maneira prática e visual.

Fechamento (~10 min): Para encerrar a aula, retomarei o vídeo sobre a câmara anecoica e explicarei como as estruturas que revestem as paredes daquela sala "quebram" as ondas sonoras, dissipando sua energia.

Recursos:

Para essa aula, utilizarei o quadro e marcadores para anotar as respostas e conceitos, vídeos e uma mola ou corda para a demonstração prática. Caso tenha tempo, posso incluir material para discutir a reflexão de ondas sonoras, como exemplos de eco.

Avaliação:

Vou avaliar a participação dos alunos durante as discussões e suas predições, além de observar como explicam os conceitos após o experimento. As respostas às perguntas durante o fechamento também servirão como um indicativo da compreensão dos alunos.

Relato de Regência:

Como havia sido combinado previamente, iniciei a aula apresentando os vídeos e os áudios para a turma. Comecei pelo *Tone Generator*, mostrando inicialmente como são os sons em frequências baixas. Enquanto o som era reproduzido pelas caixas, os alunos podiam visualizar na tela o desenho da onda correspondente. Expliquei que aquele gráfico representava a posição que o alto-falante assumia ao longo do tempo. Para tornar essa ideia mais clara, desenhei um alto-falante ao lado da representação gráfica, que mudava continuamente conforme o tempo avançava.

Em seguida, fui aumentando a frequência para demonstrar que, à medida que o comprimento de onda diminuía, o som se tornava cada vez mais agudo. Um momento que chamou bastante a atenção foi quando comentei que, a partir de determinada frequência, meus ouvidos já não conseguiam ouvir o som, enquanto os alunos ainda o percebiam. Expliquei que, com o passar da idade, a capacidade auditiva diminui, o que pareceu impressionar alguns deles.

Também abordei o que acontece quando se altera a amplitude das ondas, aproveitando para discutir brevemente o conceito de volume e sua unidade de medida, os decibéis. Retomei, então, a discussão da aula anterior sobre timbre e, na sequência, apresentei os vídeos relacionados ao tema.

Posteriormente, mostrei um vídeo retirado do Instagram sobre uma câmara anecoica. Nesse vídeo, o narrador apresenta a câmara construída pela Microsoft, considerada a mais silenciosa do mundo, com um nível de som ambiente de -24 dB, segundo o narrador. O foco do vídeo estava nos efeitos psicológicos experimentados pelas pessoas que permanecem dentro dessa sala, mais do que nos aspectos técnicos ou construtivos que a tornam tão silenciosa.

Após o vídeo, perguntei à turma o que havia naquela sala que a tornava tão silenciosa. Os alunos sugeriram que o revestimento das paredes “absorvia o som”.

Então, perguntei como isso acontecia, mas eles não souberam responder. A partir disso, introduzi o conceito de reflexão sonora. Expliquei que, ao falar na sala de aula, o som da minha voz era refletido pelas paredes, e detalhei o fenômeno com o auxílio da equação 20.

Na sequência, esclareci que, quando a superfície onde a onda reflete é muito irregular, as ondas se dispersam e a informação sonora se perde. Foi isso que destaquei como a função das placas nas paredes da câmara: quebrar as ondas sonoras, impedindo que elas retornem como acontece em uma sala convencional. O resultado é que, na câmara, todo som emitido por quem está dentro dela é ouvido apenas uma vez, sem a reverberação típica causada pelo ambiente. Isso faz com que a pessoa ouça apenas o som produzido por seu próprio corpo, sem interferências externas.

Concluída a explicação física, passei a abordar os efeitos psicológicos de permanecer na câmara por longos períodos. O primeiro ponto discutido foi o zumbido que muitas pessoas afirmam ouvir. Expliquei que esse zumbido é uma tentativa do cérebro de compensar a ausência de estímulos sonoros, aumentando a sensibilidade auditiva. Comentei que todos ouvimos algum tipo de zumbido de fundo, resultante do ruído do sistema nervoso, mas que ele geralmente é mascarado pelos sons do ambiente. Na câmara, no entanto, quando o cérebro amplifica esse ruído, ele pode se tornar quase ensurdecedor.

Pelo mesmo motivo, as pessoas conseguem ouvir sons que normalmente passariam despercebidos, como a circulação sanguínea, o movimento das articulações e outros sons corporais. Muitos alunos demonstraram grande interesse nessa explicação e no fenômeno como um todo.

Ao finalizar a explicação sobre reflexão sonora, perguntei se o som, ao encontrar uma parede, apenas se refletia. Alguns alunos sugeriram que parte do som também poderia atravessar a parede. Confirmei a hipótese, explicando que uma parte do som é refletida, outra atravessa e uma terceira é convertida em calor. Informei que abordaremos em maior profundidade a transmissão do som em uma aula futura.

Com tudo o que havia sido planejado já abordado, fiz a chamada e encerrei a aula. O som funcionou perfeitamente, e a turma acompanhou a explicação com atenção. Tudo fluiu de forma tão eficiente que a aula terminou cinco minutos antes do sinal. Acredito que boa parte do interesse dos alunos foi despertada pela

curiosidade gerada pelo vídeo da câmara anecoica, somada à satisfação de receber uma explicação científica detalhada no final. Tanto a discussão sobre os aspectos físicos do som quanto sobre os fenômenos neurológicos envolvidos foram muito bem recebidas, o que, a meu ver, engajou os alunos de maneira significativa.

5.2.7 Aula 7: Medindo a Velocidade do Som

Data: quinta dia 7 de novembro de 2024

Tópicos: Velocidade de propagação do som.

Objetivos Docentes: Nesta aula, meu objetivo será que os alunos aprendam a medir a velocidade de propagação do som utilizando um experimento prático e consigam relacionar o tempo de propagação do som com a distância percorrida.

Procedimentos:

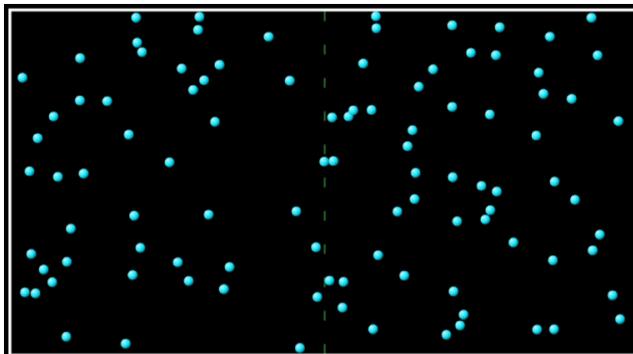
Atividade Inicial (~5 min): Assim que os alunos estiverem acomodados, farei uma breve revisão do que vimos até agora e apresentarei o tema da aula de hoje: a velocidade de uma onda, com foco na velocidade do som.

Desenvolvimento (~30 min): Para contextualizar, exibirei alguns vídeos de tempestades com raios, destacando a diferença perceptível entre a chegada da luz do raio e o som do trovão. Após mostrar esse fenômeno, perguntarei: “Por que o som não chega junto com a luz?”. Espero que os alunos facilmente concluam que a velocidade do som é bem menor que a da luz.

A partir disso, começaremos a explorar a velocidade do som. Para ilustrar, mostrarei uma animação (GIF) de ondas sonoras, como na Figura 11. Explicarei que, apesar de útil, essa imagem apresenta alguns equívocos que precisamos corrigir. Nela, os pontos que representam as partículas do gás parecem oscilar para frente e para trás, como se houvesse uma força restauradora. Na realidade, essa força não existe. Para esclarecer, exibirei outra animação (Figura 17) que mostra o movimento de partículas em um gás ideal. Como os alunos já estudaram termodinâmica, acredito que irão se lembrar do comportamento de partículas nesse contexto. Na animação, as partículas possuem energia cinética e transferem essa energia umas

para as outras por meio de colisões, sem nenhuma força que as faça oscilar em torno de uma posição fixa.

Figura 17 - Um gás ideal confinado.



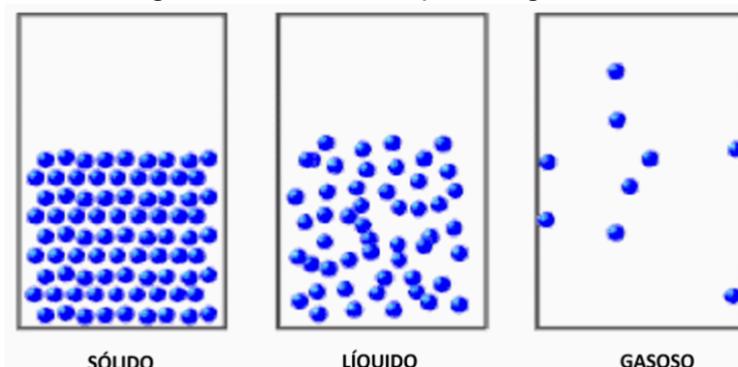
Fonte: PhET, 2024a.

Explicarei que, na prática, quando um alto-falante vibra, ele colide com as partículas próximas, transferindo energia cinética e lançando-as para longe. Essas partículas, ao se chocarem com outras, transmitem a energia progressivamente, como uma onda de colisões.

Após essa explicação, substituirei a animação por outra com menos partículas, para que percebam que, com menos partículas, há menos colisões, e uma partícula pode percorrer uma distância maior sem colidir. Por outro lado, com mais partículas, o número de colisões aumenta. A partir disso, farei a pergunta: “Em que condições o som se propaga mais rapidamente? Em um gás rarefeito ou em um gás mais denso?”

Assim que entenderem que, quanto mais denso o gás, maior a velocidade do som, exibirei a Figura 18, mostrando partículas em um sólido, um líquido e um gás.

Figura 18 - Sólido, líquido e gasoso.



Fonte: Batista, 2024.

A próxima pergunta será: “Em qual desses estados o som se propaga com maior velocidade?” Assim que eles concluírem que é no sólido, darei um exemplo prático: um método para saber se um trem está se aproximando é encostar o ouvido no trilho, pois o som se propaga mais rápido pelo trilho do que pelo ar.

Finalizada essa discussão, escreverei no quadro: “Como medir a velocidade do som em sala de aula?” Deixarei que reflitam um pouco e, então, darei uma “dica”, apresentando um vídeo do YouTube em que uma pessoa toca saxofone na borda de uma tubulação, produzindo um eco. Um quadro do vídeo está na Figura 19. Explicarei que o tempo entre o som emitido e o eco representa o tempo necessário para o som percorrer o tubo de ida e volta. Se conhecêssemos o comprimento do tubo, poderíamos calcular a velocidade do som ali.

Figura 19 - Usando um tubo para produzir eco.



Fonte: Küpper, 2020.

Em vez de usarmos uma tubulação grande como no vídeo, utilizaremos um cano de PVC de 1 metro de comprimento e diâmetro de $\frac{3}{4}$ de polegada, um microfone de fone de ouvido ligado a um computador, e o programa Audacity¹³ para capturar o som e medir o tempo. No lugar do saxofone, faremos um estalo com os dedos.

Aplicarei, então, a metodologia POE (Predição, Observação e Explicação), pedindo aos alunos que façam previsões sobre o tempo que o som levará para percorrer o cano de ida e volta. Essa etapa ajuda a envolver os alunos e a promover o pensamento crítico.

Orientarei os alunos a posicionar o microfone em uma extremidade do cano e explicarei que, ao estalar os dedos perto de uma das extremidades, o som

¹³ O software pode ser encontrado em: <https://www.audacityteam.org/>.

percorrerá o cano, refletirá na outra extremidade fechada e retornará, sendo capturado pelo microfone. Eles registrarão os tempos de captura tanto do som inicial quanto do eco.

Com o Audacity, conseguiremos registrar o intervalo entre o estalido e o eco. Encorajarei os alunos a repetirem a experiência várias vezes para obter dados consistentes e precisos.

Após a coleta dos dados, analisaremos os resultados juntos, calculando a velocidade média do som usando a Equação 4.

Fechamento (~10 min): Para encerrar, se houver tempo, usaremos a velocidade do som calculada para estimar o comprimento da tubulação do vídeo. Pedirei também que reflitam sobre fatores que podem influenciar a velocidade de outras ondas, como as ondas na água.

Recursos:

Para esta aula, eu irei utilizar um cano de PVC, um microfone, um computador com o programa Audacity de captura de áudio, uma fita métrica para medir o comprimento do cano.

Avaliação:

A avaliação será baseada na participação dos alunos no experimento e nas discussões.

Relato de Regência:

Cheguei, como de costume, antes dos alunos. Liguei meu computador ao projetor e às caixas de som, abri a apresentação e esperei que todos chegassem.

Quando todos estavam na sala, sentados, iniciei com os primeiros vídeos, que mostravam raios e, em seguida, o som do trovão. Perguntei à turma: "Por que existe esse intervalo entre a luz do raio e o som?". Dois alunos disseram que era porque a velocidade da luz é muito maior que a do som, mas uma aluna ofereceu outra explicação, mencionando a umidade. Confesso que não entendi bem o que ela quis dizer, mas expliquei que a umidade influencia a velocidade do som, embora esse não seja o motivo pelo qual o som chega depois. Então, confirmei que, como dito por dois alunos, o motivo era que o som viaja mais devagar que a luz.

Em seguida, avancei para o próximo slide, que apresentava o GIF da Figura 11. Expliquei que o GIF era útil para ilustrar a propagação de uma onda, mas tinha um problema. Apontei para uma das partículas da animação e perguntei por que ela se movia para frente e para trás como se estivesse presa a uma mola. Um aluno respondeu que era devido à onda. Confirmei, mas expliquei que, naquele GIF, o movimento das partículas não correspondia ao comportamento real de um gás. Mostrei então a animação da Figura 17, destacando que, em um gás, as partículas se movem livremente, mudando suas trajetórias apenas ao colidir com outras partículas.

Depois disso, pedi que imaginassem o que aconteceria se uma das paredes do recipiente onde o gás está confinado se movesse para frente e para trás, como faz um alto-falante. Expliquei que a parede inevitavelmente colidiria com as partículas mais próximas, e essas partículas, por sua vez, colidiriam com outras, propagando a energia da onda pelo gás até o outro lado do recipiente. Alguns alunos da frente pareciam entender, mas outros pareciam hesitar em dizer que não haviam entendido. Mesmo assim, decidi prosseguir.

No próximo slide, havia uma imagem de um gás rarefeito. Uma aluna me perguntou o que isso significava. Expliquei que um gás rarefeito tem poucas partículas e dei alguns exemplos. Comentei que, se fechássemos todas as janelas da sala e colocássemos um ventilador potente na porta, as moléculas de ar sairiam da sala e não conseguiriam voltar, dificultando até a respiração. Mencionei também o que acontece quando um time brasileiro joga na altitude da Cordilheira dos Andes: os jogadores se cansam mais rapidamente, pois o ar é mais rarefeito. Acredito que a aluna tenha compreendido.

Pedi então que observassem uma das partículas na tela para perceberem por quanto tempo ela se movia sem colidir com outra. Todos notaram que, com menos partículas, o tempo de movimento livre era maior. Perguntei onde o som se propagaria mais rapidamente: em um gás rarefeito ou em um mais denso. Algumas alunas na frente responderam que o som seria mais rápido no gás mais denso, devido à proximidade das partículas.

Percebendo que os alunos estavam acompanhando, segui para o slide com a Figura 18 e perguntei onde o som se propagaria mais rápido: no sólido, no líquido ou no gasoso? Vários confirmaram que seria no sólido, mas um aluno disse que não havia entendido. Expliquei novamente, comparando com uma reação em cadeia de

dominós: quanto mais próximos os dominós estão, mais rápido eles caem. O mesmo vale para partículas: quanto mais próximas, mais rápida é a transmissão da energia. O aluno indicou que havia compreendido.

Perguntei então como poderíamos medir a velocidade do som na sala de aula. Um aluno, em tom de brincadeira, sugeriu usar uma fita métrica, enquanto o resto da turma refletia sobre uma solução. Após alguns minutos, apresentei um vídeo em que um homem toca saxofone em frente a uma tubulação (um quadro desse vídeo é mostrado na Figura 19). Ao ver o vídeo, o mesmo aluno que havia brincado antes percebeu que o som ia e voltava pela tubulação e sugeriu medir o tempo que o som leva para percorrer duas vezes o comprimento do trilho.

Achei a resposta ótima e perguntei qual equação de velocidade deveríamos usar. O aluno ficou em dúvida, sem saber se deveria multiplicar ou dividir a distância pelo tempo. Em vez de conduzi-lo à resposta, preferi simplesmente escrever a equação no quadro e expliquei que o som era refletido, provavelmente por um obstáculo, e retornava na forma de um eco. Comentei que, embora pudéssemos medir o tempo entre o som emitido e seu eco, não conhecíamos o comprimento da tubulação do vídeo.

Se tivéssemos nossa própria tubulação, poderíamos medir seu comprimento e também o tempo. Assim, apresentei à turma um pedaço de cano de PVC de um metro, que posicionei sobre uma mesa. Para capturar o som, usei o microfone de um fone de ouvido, posicionado em uma das extremidades do cano, enquanto a outra extremidade foi fechada com um marcador. O sinal do microfone foi transferido para o Audacity, e pedi que um aluno batesse palmas próximo à entrada do cano onde o microfone estava. No *software*, apareceram picos correspondentes às palmas, seguidos por picos menores resultantes dos ecos no cano.

Embora os resultados fossem fascinantes, muitos alunos se dispersaram durante o experimento, e poucos realmente acompanharam. A turma só voltou a prestar atenção quando comecei a discutir os dados coletados. Nitidamente, a tela mostrava dois pulsos — o da palmada e o do eco, além de um segundo eco. Uma aluna perguntou sobre esse segundo eco, e expliquei que a onda não refletia apenas uma vez no cano. Ela perguntou por que não ouvíamos esse segundo eco no vídeo, e respondi que seu volume era muito mais baixo, e o som do saxofone o encobria.

Com zoom na imagem, visualizamos com precisão os tempos das palmadas e dos ecos. Após arredondarmos os valores e subtrairmos um pelo outro, descobrimos que o tempo era aproximadamente 0,006 s. Substituindo esse valor na equação, considerando a distância como 2 m (já que o cano tem 1 m de comprimento), calculamos que a velocidade do som no ar naquela sala era aproximadamente 333,33 m/s, diferente dos 343 m/s indicados pelo Google. Queria discutir as razões dessa diferença, mas o tempo de aula estava quase acabando.

Encerrei a aula, fiz a chamada, apaguei o quadro, guardei meu material e me despedi da turma antes de sair.

5.2.8 Aula 8: Refração

Data: segunda dia 11 de novembro

Tópicos: Refração

Objetivos Docentes: Os objetivos da aula serão explicar o conceito de refração conectando-o com os conceitos abordados anteriormente e incentivar os alunos a raciocinarem sobre as relações entre os conceitos de comprimento de onda, frequência, velocidade de propagação, entre outros com a refração.

Procedimentos:

Atividade Inicial (~10 min): No início da aula, farei uma breve recapitulação sobre o que já discutimos em aulas anteriores. Relembrarei aos alunos um pouco do que foi abordado na aula sobre reflexão. Nesta aula afirmarei que quando uma onda de som viaja pelo ar e atinge uma parede, uma parte da energia da onda é refletida e outra atravessa a parede. Disse, na ocasião, que nós iríamos primeiro falar da reflexão e, mais adiante, falaríamos do que acontece com a parte da onda que atravessa a parede. Agora chegou a hora de vermos o que acontece com a onda que atravessa.

Também lembrarei um pouco do que vimos na aula passada quando discutimos a velocidade do som. Principalmente lembrarei que uma onda de som viaja mais rápido em um meio sólido do que em meio gasoso e tentarei lembrá-los do porquê.

Desenvolvimento (~25 min): Após estas recapitulações começarei uma seção de *Peer Instruction* cujo objetivo é fazer com que os alunos raciocinem e “descubram” o fenômeno da refração. Para tanto, as perguntas acionarão os conceitos abordados anteriormente em situações novas. A primeira pergunta será:

1. Um aluno leva um violão para a sala de aula e começa a tocar no intervalo entre as aulas. Uma parte do som é refletida pelas paredes da sala, mas a outra parte atravessa as paredes. O que acontece com o comprimento de onda do som do violão enquanto ele viaja atravessando uma parede?
 - a. O comprimento permanece o mesmo, porque a mudança de meio afeta apenas a velocidade de propagação da onda e não seu comprimento.
 - b. O comprimento aumenta, porque ao aumentar as velocidades entre uma frente de onda e outra, aumentamos também a distância entre as duas.
 - c. O comprimento de onda diminui porque a velocidade de propagação da onda diminui assim como a distância entre uma frente de onda e outra.
 - d. A onda não atravessa a parede.

Após as respostas e as discussões dos alunos, pretendo apresentar o raciocínio que leva a resposta, e vou enfatizar que, na minha opinião, o raciocínio é mais importante do que a resposta em si. Para isso, acionarei os conceitos abordados anteriormente. A primeira questão é se a velocidade de propagação da onda diminui, aumenta ou permanece a mesma ao trocar do ar para a parede. Para lembrá-los disso irei apresentar o GIF da Figura 18 mais uma vez e lembrarei brevemente porque as ondas passam mais rápido por meios sólidos. Concluído que, no caso abordado na questão, a velocidade da onda aumentará, lembrarei que o comprimento de onda é a distância entre dois pontos correspondentes de uma onda, como por exemplo, entre dois picos consecutivos. Ou seja, se considerarmos uma frente de onda que se desloca pelo ar, o comprimento de onda ali corresponde à distância entre uma linha e a outra da representação, como mostra a Figura 20.



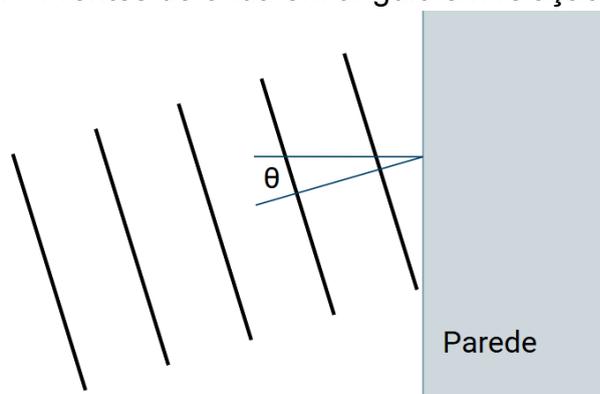
Fonte: Autor, 2024.

Porém as frentes de onda não alcançam a parede todas ao mesmo tempo, mas em sucessão, portanto quando a primeira frente de onda atinge a parede a sua velocidade se torna superior a segunda, enquanto a segunda não atingir a parede também. Isso significa que, por um tempo, as frentes de onda se distanciarão e portanto o comprimento de onda entre elas aumentará.

Percebendo que os alunos entenderam o raciocínio farei uma nova com uma pequena modificação em relação a primeira.

2. O aluno continua tocando violão. O que acontece com a direção da uma frente de onda que atinge a parede em um ângulo θ em relação à normal enquanto ela atravessa a parede?

Figura 21 - Frentes de onda em ângulo em relação a normal.



Fonte: Autor, 2024.

- θ' será maior que θ , porque a primeira parte da frente de onda a atingir a parede se deslocará mais rápido do que as partes subsequentes aumentando o θ' em relação a θ .
- θ' será igual a θ , porque a mudança de meio afeta apenas a velocidade de propagação da onda e não sua direção.
- θ' será menor que θ , porque a velocidade da onda aumenta e em velocidades maiores é mais difícil fazer curvas
- A frente de onda não passará pela parede, porque as ondas só atravessam a parede se o ângulo de incidência for 0 em relação à normal.

Pretendo abordar a resposta do mesmo modo como fiz na questão anterior, apresentando o raciocínio.

Após notar que os alunos entenderam a explicação direi a eles que este fenômeno de mudança de direção é chamado de refração e que o raciocínio que fizemos pode ser sintetizado na equação 21.

$$n_1 \text{sen } \theta = n_2 \text{sen } \theta' \quad (21)$$

Fechamento (~10 min): No fechamento da aula, farei um resumo do conceito de refração, relacionando com exemplos práticos.

Para encerrar, farei algumas perguntas reflexivas, como: "Como vocês acham que esse fenômeno da refração afeta o design de salas de cinema nas quais o som deve ser isolado para não incomodar a vizinhança?".

Recursos:

Os recursos utilizados serão quadro e marcador para explicações, computador, projetor e *flashcards* para *Peer Instruction*

Avaliação:

Durante a aula, a avaliação será feita através da participação dos alunos nas discussões e previsões.

Relato de Regência:

Por conta das correrias do dia-a-dia preparei os slides da aula uma hora antes da aula começar. Não consegui terminar os últimos a tempo, infelizmente, mas acredito que isso não foi um grande problema para a aula em si já que tudo o que está nos slides pode ser apresentado no quadro. No caso desta aula, onde não apresentei nenhum vídeo ou GIF e os desenhos eram relativamente fáceis de serem desenhados no quadro, os slides eram apenas uma maneira de agilizar o andamento da aula.

Cheguei no Colégio uns dez minutos antes da aula. Normalmente a sala encontra-se vazia nas segundas feiras antes da aula porque os alunos têm aula em outro lugar. Porém, desta vez, ao chegar na sala, me deparo com uma professora e com alguns poucos alunos da turma fazendo uma atividade. Por conta disso, tive que esperar eles terminarem a atividade para poder entrar na sala e conectar meu computador ao projetor e assim iniciar a aula.

Assim que a professora saiu, entrei. Enquanto ligava o computador e o conectava ao projetor, os outros alunos foram chegando na sala de aula junto com o professor titular. Quando quase todos estavam presentes (na verdade muitos faltaram neste dia), comecei a aula anunciando que veríamos um conteúdo novo chamado refração.

Quando escrevi a palavra “refração” no quadro, um aluno disse que refração era um fenômeno que acontecia com a luz. Confirmei que era isso mesmo, mas disse que nesta aula veríamos a refração do som.

Disse que apesar de ser um conteúdo novo, o conceito de refração está nitidamente coletado ao que já havíamos visto antes e por isso eu ia começar esta aula lembrando algumas coisas. Comecei recapitulando um pouco da aula sobre reflexão, na qual disse que apenas uma parte da energia da onda reflete e que a outra parte é ou absorvida pela parede ou atravessa a mesma. Disse que agora havia chegado a hora de falarmos da parte que atravessa. Perguntei então “o que acontece com a onda que atravessa a parede?”. Os alunos não entenderam bem a pergunta mas uns disseram que ela simplesmente atravessava. Insisti perguntando: “como é esse atravessar?”. Ninguém respondeu, então lembrei-os de que vimos na aula passada que o som tem diferentes velocidades em diferentes meios e que ele tende a ser mais rápido em meios sólidos do que em meios gasosos. Assim que disse isso perguntei: “a parede é sólida ou gasosa?”. Todos me responderam que era sólida. Então perguntei: o que acontece com o som da minha voz quando ele encontra a parede. Um aluno disse que ele era refletido, eu disse que sim, mas perguntei: “o que acontece com a parte que atravessa?”. Outro aluno me respondeu que ela diminuía sua velocidade. Perguntei: “diminui ou aumenta?” e ele pareceu confuso. Disse-me que ainda não havia entendido como a velocidade é maior nos sólidos, então eu mostrei novamente a Figura 18 e disse que isso acontecia devido a proximidade entre os átomos e moléculas. Assim que falei o aluno lembrou do exemplo que dei na aula passada sobre a reação em cadeia dos dominós e fez sinal de que entendeu.

Passei então para a primeira questão de *Peer Instruction*.

1. Um aluno leva um violão para a sala de aula e começa a tocar no intervalo entre as aulas. Uma parte do som é refletida pelas paredes da sala, mas a outra parte

atravessa as paredes. O que acontece com o comprimento de onda do som do violão enquanto ele viaja atravessa uma parede?

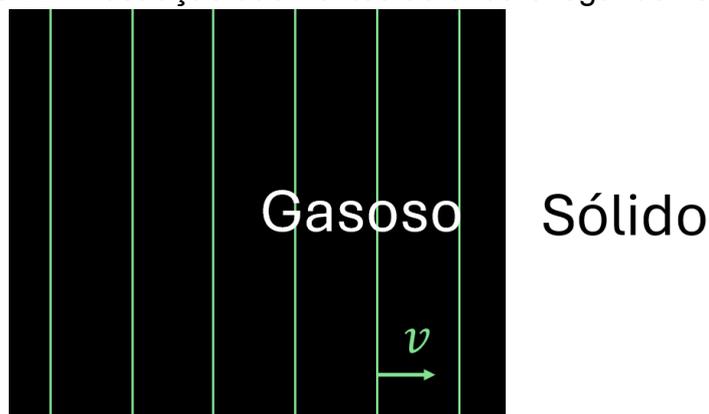
- a. O comprimento permanece o mesmo, porque a mudança de meio afeta apenas a velocidade de propagação da onda e não seu comprimento.
- b. O comprimento aumenta, porque ao aumentar as velocidades entre uma frente de onda e outra, aumentamos também a distância entre as duas.
- c. O comprimento de onda diminui porque a velocidade de propagação da onda diminui assim como a distância entre uma frente de onda e outra.
- d. A onda não atravessa a parede.

Disse a eles que queria estimulá-los a raciocinar e não apenas fazê-los ver um raciocínio pronto. Porém, meu celular estava sem bateria para que eu pudesse escanear os cartões, por conta disso pedi para que eles usassem os dedos para indicar qual resposta haviam escolhido.

Nem todos os alunos deram uma resposta, infelizmente alguns ignoraram a pergunta. Outros leram mais de uma vez para terem certeza de que haviam entendido e responderam no final, mas poucos responderam certo. Assim decidi que era melhor comentar as alternativas com ele. Perguntei se havia alguém que defendia a letra A, a letra B e assim por diante. Os alunos foram trazendo suas respostas e porque eles acreditavam nela e um pequeno debate se formou em torno disso.

Alguns erraram por não lembrar o que é comprimento de onda, outros porque ainda não sabiam ao certo se a velocidade aumentava ou diminuía, outros ainda não notaram como o aumento da velocidade seria capaz de mudar o comprimento de onda. Então apresentei a Figura 22 e pedi para que eles imaginassem que cada frente de onda era na verdade um corredor humano. Perguntei então: “o que acontece se eu estiver correndo com a mesma velocidade da de um sujeito a minha frente e de repente ele começar a correr mais rápido?”. Todos pareceram concordar facilmente que eu e o outro corredor teríamos de nos afastar. Depois recapitular o conceito de comprimento de onda e ficou claro para quase todos que o comprimento aumentava e que a resposta certa era a letra B.

Figura 22 - Ilustração das frentes de onda chegando na parede.



Fonte: Autor, 2024.

A próxima pergunta foi quase igual à primeira, porém a pergunta foi modificada para “o que acontece com o comprimento de onda do som do violão quando saí da parede em direção ao corredor?”. A turma não teve dificuldade de entender que o resultado era oposto ao da situação anterior. Mesmo assim, para reforçar, expliquei usando o mesmo exemplo de antes o que acontecia neste caso.

Dada a explicação, segui para a próxima pergunta acompanhada da Figura 18.

2. O aluno continua tocando violão. O que acontece com a direção da uma frente de onda que atinge a parede em um ângulo θ em relação à normal enquanto ela atravessa a parede?
 - a. θ' será maior que θ , porque a primeira parte da frente de onda a atingir a parede se deslocará mais rápido do que as partes subsequentes aumentando o θ' em relação a θ .
 - b. θ' será igual a θ , porque a mudança de meio afeta apenas a velocidade de propagação da onda e não sua direção.
 - c. θ' será menor que θ , porque a velocidade da onda aumenta e em velocidades maiores é mais difícil fazer curvas
 - d. A frente de onda não passará pela parede, porque as ondas só atravessam a parede se o ângulo de incidência for 0 em relação à normal.

Esta pergunta foi mais desafiadora do que eu pensava que seria. A turma se mostrou bastante confusa nas respostas dadas e teve um pouco de dificuldade de compreender as minhas explicações. Disse para eles imaginarem corredores em

linha, de mãos dadas onde todos correm com a mesma velocidade inicialmente e perguntei “o que acontece se o corredor de uma das extremidades começar a correr mais rápido do que os outros. Os alunos pareceram ter dificuldades de imaginar isso e prever o que aconteceria. Então mudei meu exemplo, pedi para ele me explicar como que um tanque de guerra faz curvas se ele não gira as esteiras. Um aluno me disse que uma esteira se move mais rápido do que a outra e desta forma o tanque faz a curva. Então perguntei a ele “se isso acontece com o tanque, o que acontece com as frentes de onda?”. Ele pareceu entender que acontecia o mesmo, mas ainda havia alguns que continuavam sem entender direito, então repeti o exemplo mais uma vez até todos parecerem entender.

Com isso pude apresentar a Equação 21 para a turma e pouco depois encerrei a aula com a chamada.

Eu já imaginava que a turma poderia ter alguma dificuldade em compreender o conceito de refração, por isso optei por apresentar poucas perguntas relacionadas ao tema. Embora não tenha conseguido aplicar o método de Peer Instruction exatamente como prescrito pela teoria, percebi que, ainda assim, surgiram discussões durante a aula que, muito provavelmente, não aconteceriam em uma abordagem tradicional. Dúvidas que talvez não fossem expressadas em outros contextos apareceram espontaneamente, enriquecendo o processo de aprendizagem.

Esse tipo de interação, é claro, torna a atividade docente mais trabalhosa, especialmente quando comparada à possibilidade de simplesmente ignorar as dúvidas dos alunos. No entanto, é inegável que essa dinâmica contribui de forma significativa para o aprendizado dos estudantes, tornando o esforço necessário plenamente justificável.

5.2.9 Aula 9: Ressonância

Data: quinta dia 14 de novembro

Tópico: Ressonância

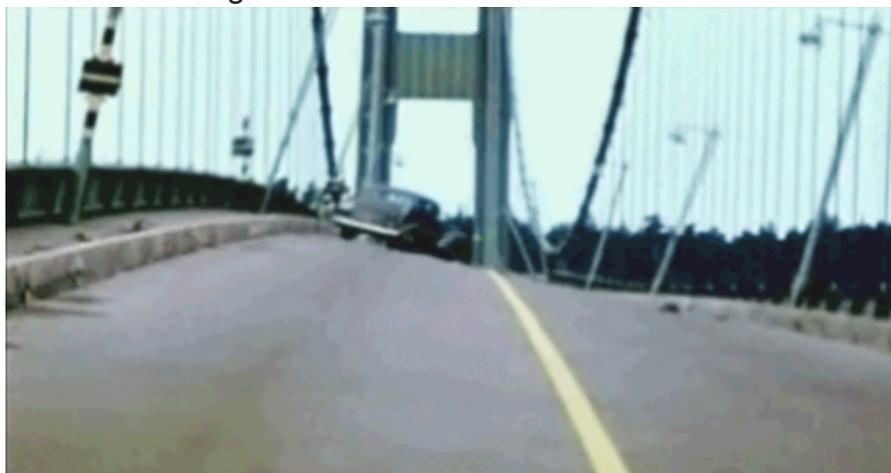
Objetivos Docentes: Meu objetivo será ajudar os alunos a compreenderem o que é ressonância, como ela ocorre em sistemas físicos e por que ela pode ter consequências importantes em estruturas, como edifícios em zonas sísmicas.

Procedimentos:

Atividade Inicial (~10 min): Começarei a aula apresentando vídeos sobre a ponte Tacoma Narrows, retirados do canal *O Canal da Engenharia* (2022) no YouTube. A Figura 23 ilustra essa ponte.

Junto com o vídeo, contarei um pouco da história da ponte, com base em informações pesquisadas na Wikipédia (2021). Explicarei que a Tacoma Narrows foi uma ponte pênsil localizada sobre o Estreito de Tacoma, no estado de Washington, nos Estados Unidos. Em 7 de novembro de 1940, poucos meses após sua inauguração, a ponte desabou devido aos ventos fortes, que atingiram 70 km/h, fazendo a estrutura oscilar até não suportar mais. Perguntarei à turma: “Por que a ponte caiu?”.

Figura 23 - Ponte Tacoma Narrows.



Fonte: O Canal da Engenharia, 2022.

Desenvolvimento (~25 min): Para responder à pergunta, introduzirei dois conceitos fundamentais: vibração forçada e frequência natural.

Vibração forçada será definida como o fenômeno que ocorre quando um objeto é forçado a vibrar em qualquer frequência externa (Gaspar, 2013). Para ilustrar, utilizarei exemplos como:

- O tímpano humano, que é forçado a vibrar pelas ondas de pressão do ar em todas as frequências audíveis.

- Estruturas como estádios de futebol, que vibram quando o público salta ritmicamente, forçando a estrutura a vibrar na frequência dos pulos.
- Cordas de violão, que forçam o corpo do violão a vibrar, algo já explorado anteriormente em aula.

Em seguida, abordarei o conceito de frequência natural, explicando que todo objeto formado por material elástico vibra espontaneamente em um conjunto de frequências particulares quando perturbado. Essas frequências, combinadas, determinam o som característico do objeto (Gaspar, 2013). Explicarei que a frequência natural depende principalmente da elasticidade e da forma do objeto.

Para ilustrar o que quero dizer, vou apresentar um vídeo do Instagram de um diapasão. Dois quadros deste vídeo podem ser vistos na Figura 24. Este vídeo é particularmente interessante por apresentar um modelo grande, tornando seu movimento ondulatório visível. Também mencionarei sinos de igreja, que vibram em sua frequência natural ao serem atingidos, e o som característico de chaves ao cair no chão, causado pela vibração induzida pelo impacto.

Figura 24 - Diapasão.



Fonte: Earth Tuned, 2020.

Após consolidar esses conceitos, introduzirei o fenômeno da ressonância, definido como o aumento drástico da amplitude quando a frequência de uma vibração forçada coincide com a frequência natural de um objeto. Pretendo levar dois diapasões de mesma frequência para demonstrar esse fenômeno em sala de aula. Caso não seja possível, apresentarei o vídeo ilustrado na Figura 25.

Figura 25 - Fenômeno da Ressonância



Fonte: Geometria Sagrada, 2024.

No vídeo, dois diapasões de diferentes frequências são testados. Um deles é tocado com um martelo enquanto o outro é deixado livre. Quando o primeiro diapasão é tocado, o segundo permanece inerte. Porém, ao tocar um terceiro diapasão, que emite a mesma frequência que o segundo, sua vibração propaga-se pelo ar e aciona o diapasão que estava parado. Isso, por sua vez, movimenta as bolas amarradas a um pêndulo, ilustrando o aumento da amplitude característico da ressonância (Geometria Sagrada, 2024).

A pergunta que farei assim que a turma entender o conceito será “*O que derrubou a ponte foi a ressonância?*” Explicarei que a resposta não é simples, pois, embora muitos livros de Física atribuam o colapso à ressonância, estudos mais recentes indicam que o fenômeno envolvido foi o flutter aeroelástico, e não a ressonância (WIKIPÉDIA, 2021). Para explicar essa distinção, perguntarei: “*Qual é a frequência do vento?*”, destacando que o vento não possui uma frequência, apenas uma velocidade.

Para verificar o entendimento dos alunos, apresentarei questões projetadas no quadro. Não utilizarei a metodologia Peer Instruction, pois acredito que o tempo será insuficiente para discussões aprofundadas. Em vez disso, discutirei as respostas diretamente com a turma. A primeira questão é a seguinte:

1. Certas estruturas são projetadas para evitar a ressonância com frequências naturais comuns em desastres, como terremotos. Suponha que uma construção

é reforçada para ser mais resistente. Qual é a melhor forma de proteger o prédio da ressonância causada por tremores?

- a. Tornar o prédio o mais rígido possível, aumentando sua frequência natural.
- b. Projetar o prédio para ressoar na mesma frequência dos tremores comuns.
- c. Reduzir a frequência natural da estrutura para que fique fora da faixa de frequência dos terremotos.
- d. Fazer com que a construção seja oca, de forma a absorver as ondas sísmicas.

A resposta correta é a letra C. Utilizarei um vídeo que demonstra pêndulos invertidos de diferentes comprimentos presos a uma base móvel (Figura 26). Ele mostra como um pêndulo oscila com grande amplitude quando a base é movida na sua frequência natural, enquanto os demais permanecem quase imóveis.

Figura 26 - Frequência natural.



Fonte: Lege, 2024.

Depois apresentarei mais três questões:

2. Uma taça de cristal é atingida levemente, emitindo um som característico. Quando um som com a mesma frequência é emitido próximo a ela, a taça...
 - a. Para de vibrar

- b. Vibra com a mesma frequência mas não quebra porque o som tem pouco volume
- c. É forçada a vibrar numa frequência diferente, por isso quebra.
- d. Vibra intensamente cada vez com maior amplitude até quebrar devido a ressonância

Cuja resposta é a letra D.

3. Um diapasão é batido e começa a vibrar em sua frequência natural, emitindo um som puro. Se uma guitarra próxima começa a vibrar em suas cordas de forma sutil sem ser tocada, qual dos conceitos a seguir melhor explica por que as cordas da guitarra vibram?
- a. Ressonância, pois as cordas que possuem a mesma frequência natural que o diapasão vibram em resposta à sua frequência.
 - b. Timbre, pois cada corda da guitarra tem um som específico e distinto.
 - c. Frequência natural, pois as cordas da guitarra estão ajustadas para coincidir com o som do diapasão.
 - d. Vibração forçada, pois o diapasão está forçando todas as cordas da guitarra a vibrarem em sua frequência

Cuja resposta é a.

4. Quando uma corda de violão oscila, o corpo do violão...
- a. Entra em ressonância com a corda, pois todas as cordas possuem a mesma frequência natural do corpo do violão.
 - b. Não vibra porque a frequência da corda não coincide com sua frequência natural.
 - c. Não vibra, mas o som da corda é refletido no interior do violão e desta forma também é amplificado.
 - d. Adquire uma vibração forçada, pois a corda está forçando o corpo do violão a vibrar com a mesma frequência, mas ao mesmo tempo emite seu próprio conjunto de frequências particulares, que juntas formam seu timbre.

Cuja resposta é a letra D.

Fechamento (~10 min): No fechamento da aula, farei um resumo dos principais pontos, destacando a importância da ressonância no contexto científico e prático. Para reforçar o aprendizado, pedirei aos alunos que imaginem outras situações em que a ressonância pode ser útil ou perigosa, como em instrumentos musicais ou em pontes.

Recursos:

- Dois diapasões de mesma frequência.
- Martelinho para ativar o diapasão.
- Vídeos curtos sobre ressonância.

Avaliação:

A avaliação ocorrerá ao longo da aula, observando a participação dos alunos nas discussões e suas explicações sobre o experimento com os diapasões.

Relato de Regência:

Iniciei a aula apresentando o vídeo da ponte Tacoma Narrows (Figura 23). Anteriormente, alguns alunos comentaram que o vídeo era falso. Isso ocorreu durante a segunda aula, quando eu apresentei um resumo dos temas que abordaremos ao longo do curso, mostrando um GIF dessa ponte. Hoje, esses mesmos alunos disseram que outro estagiário já havia falado sobre essa ponte, mas que, segundo ele, ela não caía no final. Não sei exatamente o que o estagiário afirmou, ou se ele realmente falou algo, mas confirmei que, de fato, a ponte caiu.

Comecei, então, a contar a história da ponte, e, como geralmente acontece com boas histórias, a turma ficou atenta à narrativa. Contei que um repórter foi até o local para registrar o momento e deixou seu carro na ponte, com o cachorro dentro. O carro pode ser visto no vídeo e também na Figura 23. relatei que, quando a ponte caiu, tanto o carro quanto o cachorro despencaram. A turma reagiu como se estivesse assistindo a um suspense, e uma aluna não resistiu em perguntar o que aconteceu com o cachorro. Antes que eu respondesse, um colega dela comentou: “o cão já está morto”. Em tom de brincadeira, expliquei que, passados mais de 70 anos do ocorrido, isso era inevitável. Depois, complementei que, infelizmente, o cãozinho não sobreviveu à queda da ponte, e mostrei o vídeo dela caindo no rio.

Aproveitei o momento para perguntar o que teria feito a ponte cair. Alguns alunos responderam imediatamente que foi o vento. Questionei então: “Como o vento pode derrubar uma ponte?”. Eles ficaram pensativos, e eu prossegui explicando que, para responder a essa pergunta, precisaríamos aprender dois novos conceitos: “vibrações forçadas” e “frequência natural”.

Expliquei, primeiramente, que “quando um objeto é forçado a vibrar em qualquer frequência, dizemos que ocorre uma vibração forçada”. Para ilustrar, mostrei um pequeno vídeo de torcedores pulando em uma arquibancada, explicando que a estrutura era forçada a vibrar na mesma frequência dos pulos. Um aluno no fundo da sala lembrou de uma vez em que estive na Arena do Grêmio e viu mensagens no telão pedindo para os torcedores pararem de pular, pois estariam colocando a estrutura em risco. Fiquei surpreso e me perguntei se os projetistas não haviam levado isso em consideração.

Sem dar margem a comentários dos colorados, segui mostrando um vídeo que detalha a parte interna do ouvido humano, ilustrando como as ondas sonoras forçam o tímpano a vibrar, permitindo a audição. Em seguida, mostrei novamente a Figura 15, que mostra o violão vibrando, explicando que a corda de um violão força o corpo do instrumento a vibrar, amplificando o som. Completei dizendo: “Por isso, quase não ouvimos o som de uma corda esticada tocando sozinha, mas ouvimos o som de um violão”.

Passei, então, ao segundo conceito. Expliquei que “quando qualquer objeto feito de material elástico é perturbado, ele vibra em um conjunto específico de frequências que formam seu som característico. Chamamos isso de frequência natural do objeto, que depende principalmente de sua elasticidade e forma”. Mostrei um vídeo de um diapasão vibrando (Figura 24) e comentei que, após ser ativado por um impacto, ele vibra livremente, sem nenhuma força externa. Um aluno observou que algo precisou bater no diapasão para colocá-lo em movimento. Concordei, mas ressaltei que, após o impacto, ele vibrava de forma autônoma.

Após apresentar os dois conceitos, era hora de integrá-los para introduzir o fenômeno da ressonância. Escrevi no quadro: “Quando a frequência da vibração forçada de um objeto coincide com sua frequência natural, ocorre um aumento drástico na amplitude. Esse fenômeno é chamado de ressonância.” Para ilustrar, mostrei o vídeo associado à Figura 25. Alguns alunos assistiram ao vídeo com

expressões de incredulidade, mas acredito que entenderam o conceito e sua relação com os temas anteriores.

Voltei ao vídeo da Figura 23 e perguntei: “O que derrubou a ponte foi a ressonância?”. Um aluno respondeu: “Foi erro do pedreiro”. Corrigi, dizendo que, se houve um erro, foi do engenheiro. Expliquei que, na época, ninguém havia considerado que o vento poderia derrubar uma ponte. Ressaltei que existe uma controvérsia sobre o tema: enquanto alguns livros de Física atribuem o colapso à ressonância, estudos mais recentes apontam o flutter aeroelástico como a causa principal. Disse que não iria explicar o conceito de flutter aeroelástico, e, felizmente, ninguém insistiu.

Finalmente, chegou a hora das perguntas. Os alunos responderam com facilidade, o que me levou a perceber que as questões estavam mais simples do que eu gostaria. Assim, terminamos rapidamente e sobrou um pouco de tempo antes do sinal.

Inicialmente, pensei em liberar a turma, mas decidi adiantar parte do conteúdo da próxima aula. Expliquei que ondas e partículas se comportam de maneiras diferentes. Para ilustrar, desenhei uma arma atirando contra uma parede com uma abertura no centro e perguntei o que aconteceria com as balas. Todos concordaram que elas passariam em linha reta pela abertura. Em seguida, desenhei o padrão de difração no quadro, explicando que, diferentemente das balas, as ondas contornam obstáculos. Como prova, mencionei que alguém no corredor consegue me ouvir mesmo sem estar em frente à porta.

Concluí a aula dizendo que aprofundaremos esse tema no próximo encontro e finalizei fazendo a chamada.

5.2.10 Aula 10: Difração, Interferência e Batimentos

Data: segunda dia 18 de Novembro

Tópicos: Difração, interferência e batimentos

Objetivos Docentes: Explicar o conceito de difração de ondas e como ela ocorre. Demonstrar o fenômeno da difração utilizando um experimento com ondas na água. Relacionar a difração a fenômenos do cotidiano, como o som passando por portas.

Explicar o fenômeno da interferência de ondas. Diferenciar interferência construtiva e destrutiva. Introduzir o conceito de batimentos e seu efeito perceptivo. Relacionar a interferência com situações cotidianas, como a qualidade do som em ambientes amplos.

Procedimentos:

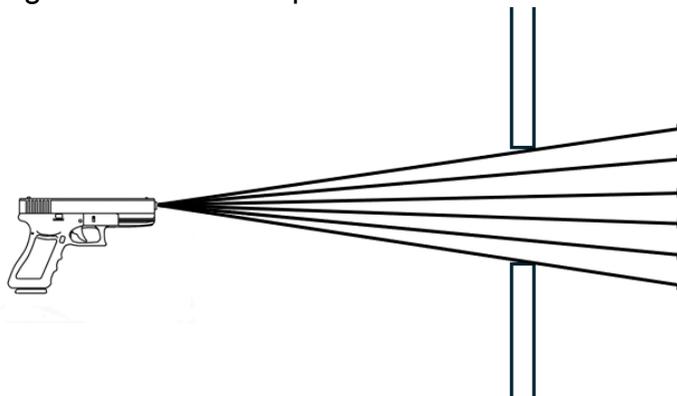
Atividade Inicial (~10 min): No início da aula, eu apresentarei a seguinte situação-problema para a turma: um técnico de som posicionou duas grandes caixas acústicas de ambos os lados do palco em um show. Durante o espetáculo, parte da plateia reclamou que não conseguia ouvir os graves da música de forma clara. Ao final do evento, o técnico investigou o que poderia estar acontecendo e percebeu que em alguns lugares se ouvia a música perfeitamente, com todas as frequências bem definidas, enquanto em outros pontos, especialmente em relação aos sons graves, quase não se ouvia nada. Perguntarei aos alunos: O que estava acontecendo com as ondas sonoras?

Desenvolvimento (~25 min): Para tentar explicar isso, apresentarei aos alunos uma cuba de ondas, uma bacia transparente com água e um dispositivo que gera perturbações regulares na superfície da água, imitando ondas. Essa bacia será colocada sobre um retroprojetor, de forma que as ondas sejam projetadas na parede da sala. Isso permitirá que todos os alunos observem claramente o comportamento das ondas. Uma alternativa, caso não consiga um retroprojetor, será usar os *strobos* que vem junto com a cuba mas que iluminam a mesa onde será colocada a cuba e não a parede.

Usarei uma barra para gerar frentes de onda retas. Ligarei o dispositivo para mostrar as ondas se propagando de maneira regular na água. Perguntarei aos alunos o que estão observando e se conseguem identificar padrões.

Depois lembrei do que disse no final da aula passada. Naquela ocasião falei que o comportamento de uma onda que passa por uma abertura é diferente do comportamento de partículas quando passam por uma fenda. Perguntarei se eles lembram qual era esta diferença. Para ilustrar isso, desenharei no quadro algo parecido com a Figura 27. Darei a eles o contexto de um filme de ação no qual alguém dá tiros com o intuito de acertar seu inimigo enquanto este se protege atrás de uma parede. Perguntarei o que acontece com as balas. Acredito que eles não terão dificuldade de dizer que as balas seguem em linha reta.

Figura 27 - Balas disparadas contra uma abertura.



Fonte: Autor, 2024.

Acredito que alguém lembrará que eu disse na aula passada que o comportamento das ondas era diferente. Perguntarei se eles lembram que o comportamento é esse e se eles acreditam que as ondas realmente se comportam assim e porque.

Em seguida, introduzirei duas pequenas barreiras dentro da bacia para simular a passagem das ondas por uma abertura. Ao observarmos o fenômeno, os alunos verão como as ondas começam a se espalhar ao atravessar a fenda ou contornar a barreira. Neste ponto, destacarei que isso é o que chamamos de difração: a capacidade das ondas de se curvarem e se espalharem ao encontrar um obstáculo ou uma abertura.

Perguntarei para eles se haveria alguma chance de se proteger atrás de uma parede de uma arma que emitisse ondas ao invés de balas. A resposta poderia ser: depende.

Durante a observação, farei perguntas direcionadas: "O que acontece com as ondas quando a fenda é mais estreita? E quando ela é mais larga?". Pretendo fazê-los ver que quanto maior for a fenda, mais as ondas se comportam de forma semelhante a de partículas.

Posteriormente relembrarei a situação problema apresentada no início da aula e perguntarei se há como reproduzir aquela situação na cuba de ondas para que possamos ver o que acontece. Para mostrar o que acontece substituirei a barra que gera barreiras de ondas retas por dois objetos circulares que ficam posicionados um pouco afastados um do outro como se fossem duas fontes

sonoras diferentes. Antes de religar a máquina, perguntarei o que eles esperam ver acontecer naquela situação.

As duas fontes emissoras produzirão ondas que interferem umas com as outras formando um padrão que, espero, seja bem visível e perguntarei porque eles acham que as ondas somem de alguns lugares?

A partir da discussão, introduzirei formalmente o conceito de interferência de ondas. Explicarei que quando duas ondas se encontram, podem somar suas amplitudes (interferência construtiva) ou cancelar-se parcialmente ou completamente (interferência destrutiva), dependendo de como suas fases estão alinhadas. Para ilustrar isso, utilizarei uma simulação interativa que mostra duas ondas se sobrepondo, permitindo que os alunos visualizem o efeito de interferência construtiva e destrutiva.

Depois, vou aplicar essa ideia à situação do técnico de som. Explicarei que os graves estavam "sumindo" em certas partes da plateia porque as ondas produzidas pelas duas caixas estavam se cancelando mutuamente, resultado de uma interferência destrutiva causada pelo alinhamento das fases das ondas.

Em seguida, introduzirei o conceito de batimentos, que ocorrem quando duas ondas de frequências ligeiramente diferentes se sobrepõem. Isso resulta em uma oscilação perceptível na intensidade do som, algo que também pode ser observado no ajuste fino de instrumentos musicais. Para ilustrar, utilizarei um gerador de frequências para que os alunos ouçam os batimentos, pedindo que descrevam o que percebem.

Fechamento (~10 min): No final da aula, farei um resumo sobre os fenômenos discutidos. Pedirei aos alunos que reflitam sobre como a interferência e os batimentos podem afetar o cotidiano, principalmente em áreas como música, acústica de ambientes e tecnologia de som. Para encerrar, formularei perguntas rápidas como: "Como podemos evitar a interferência destrutiva em um show?" e "Como o conhecimento de batimentos pode ajudar na afinação de instrumentos?".

Recursos:

- Quadro e marcador
- Simulação de interferência de ondas (PhET ou equivalente)
- Gerador de frequências (ou aplicativo de celular)
- Equipamento CIDEPE: Cuba de Ondas

Avaliação:

Vou avaliar os alunos por meio da participação nas discussões, especialmente na análise da situação-problema e na explicação dos fenômenos. A percepção sobre os batimentos também será avaliada durante a atividade auditiva, verificando se conseguem identificar as oscilações de intensidade.

Relato de Regência:

Cheguei ao Colégio uma hora antes da aula para montar o experimento. A cuba de ondas já estava no laboratório de Física, porém o laboratório estava sendo usado pela professora de ciências, que estava dando aula para uma turma do nono ano. Além disso, descobri que o laboratório já estava locado para uma aula de matemática no mesmo horário da minha aula. Por sorte, porém o laboratório de química, que fica ao lado, estava disponível, havendo nele apenas um pequeno grupo de alunos que faziam um trabalho num computador num dos cantos do laboratório. Perguntei ao professor deles se havia algum problema em montar o experimento enquanto os estudantes faziam o trabalho e ele me disse que não havia problema algum. Então pedi licença para a professora de ciências, peguei o aparato e levei para o laboratório de química.

Figura 28 - Cuba de ondas.



Fonte: CIDEPE, 2024.

Foi a primeira vez que eu montei aquela cuba específica. Já havia montado outra de outro tipo, similar ao apresentado na Figura 28, num laboratório do Instituto de Física. Apesar de as montagens serem ligeiramente diferentes, a montagem não foi difícil, felizmente. Testei o aparelho e verifiquei que tudo estava funcionando perfeitamente. Depois fui à sala do professor titular de física para informá-lo de que a aula seria no laboratório e para pegar uma mola que ele possui.

Pouco tempo antes do sinal tocar me dirigi a sala de aula da turma 202 para chamar os alunos para o laboratório. Comuniquei a turma em voz alta e escrevi no quadro para aqueles que porventura chegassem atrasados.

Quando todos já estavam no laboratório, iniciei a aula lembrando a turma do exemplo de um filme de ação hipotético no qual o personagem se protege de um tiroteio se abrigando atrás de uma barreira (uma parede ou um carro). Com este exemplo reforcei a ideia de que as balas de uma arma viajam em linha reta e não contornam obstáculos. Perguntei, no entanto, o que aconteceria se ao invés de balas a arma disparasse ondas. Fiquei feliz de constatar que eles lembravam do que foi discutido na última aula, de que as ondas contornam obstáculos. Perguntei se eles acreditavam no que eu havia dito. Eles responderam afirmativamente e eu perguntei, em tom de brincadeira, como eles podiam acreditar assim sem provas. De forma animada eles responderam mais ou menos que não viam porque duvidar. Disse que as palavras de um professor não são suficientes para provar uma afirmação científica e então apresentei a eles a cuba de ondas.

A turma já tinha notado aquele objeto estranho no meio da sala e já se encontrava no entorno dele. Mostrei as principais partes do equipamento antes de ligar tudo. As ondas apareceram projetadas na mesa logo abaixo da cuba. Alguns disseram que se sentiam no fundo do mar e outras coisas parecidas. As ondas eram produzidas por uma peça em forma de bolacha que subia e descia impulsionada por um pequeno motor. Quando as ondas encontravam as paredes da cuba elas retornavam com uma intensidade menor. Perguntei como chamamos isso em Física. Um aluno ficou em dúvida se era refração ou alguma outra palavra que começava com r. O resto da turma foi na mesma direção, mas não ouvi a palavra reflexão ser mencionada. Então lembrei-os do que era refração e reflexão. Depois voltei à questão de se as ondas realmente contornam obstáculos e coloquei uma pequena barra de alumínio na passagem das ondas para ver se minha previsão se confirmava. As ondas contornaram o obstáculo como eu havia predito e isso chamou

muita atenção dos alunos que demonstraram querer experimentar outras configurações para ver o que aconteceria. Deixei eles experimentarem algumas configurações e teria deixado eles experimentado de tudo se houvesse tempo.

Depois coloquei um segundo obstáculo similar ao primeiro de tal forma que se formasse uma fenda entre eles. Todos notaram a forma de leque que as ondas assumiram. Perguntei se alguém lembrava que nome eu havia dado na última aula para aquele fenômeno. Todos ficaram em dúvida e por fim disse que esta propriedade que as ondas têm de contornar os objetos é chamada de difração.

Discutida a parte referente a difração, apresentei situação-problema que, conforme o plano de aula deveria ser apresentada no início. Falei que um técnico de som posicionou dois conjuntos caixas acústicas de ambos os lados do palco em um show. Durante o espetáculo, parte da plateia reclamou que não conseguia ouvir os graves da música de forma clara. Ao final do evento, o técnico investigou o que poderia estar acontecendo e percebeu que em alguns lugares se ouvia a música perfeitamente, com todas as frequências bem definidas, enquanto em outros pontos, especialmente em relação aos sons graves, quase não se ouvia nada. Perguntei aos alunos: O que poderia estar acontecendo com as ondas sonoras?

Apesar de a turma não ter familiaridade com a situação apresentada, senti que a pergunta despertou curiosidade. Disse que poderíamos experimentar isso colocando na cuba uma segunda fonte de ondas. Coloquei assim uma segunda peça em forma de bolacha que subia e descia impulsionada pelo motor a uma pequena distância da primeira peça. O padrão de interferência não ficou nítido o suficiente para que todos o percebessem, tentei ajustar a máquina para melhorar o resultado mas não obtive sucesso. Vendo que talvez eu não conseguisse, decidi explicar com um exemplo. Disse que uma vez eu estava na praia e duas ondas vieram em minha direção, uma de cada lado e que elas se encontraram justamente no lugar onde eu me encontrava. Perguntei o que aconteceu. Uma aluna, que provavelmente já havia observado isso acontecer, disse que “a onda subiu”.

Após concordar com a aluna, fui até o quadro para explicar o fenômeno da interferência. Desenhei dois pulsos de onda que deveriam se encontrar no centro em um momento futuro e perguntei à turma o que deveria acontecer com base no exemplo da praia. A turma rapidamente deduziu que as amplitudes das ondas se somariam, mas demonstrou dificuldade em lembrar que a grandeza que se somava era, de fato, a amplitude. Em seguida, desenhei outros dois pulsos, desta vez com

uma concavidade para cima e outra para baixo, e perguntei o que aconteceria quando eles se encontrassem. Antes que pudesse ouvir a resposta, um burburinho começou no centro do laboratório: o professor titular, ajustando o aparelho, conseguiu gerar o padrão de interferência, o que causou espanto entre os alunos que o viam pela primeira vez.

Aproveitei o momento e retomei a explicação utilizando o aparato, conectando o fenômeno ao exemplo anterior envolvendo as caixas de som. Apesar das dúvidas iniciais, a turma compreendeu que havia áreas em que as ondas não se formavam, e, ao responder as perguntas que surgiram, expliquei que isso era resultado do fenômeno da interferência. Em seguida, voltei ao quadro para continuar a explicação que havia sido interrompida.

Na tentativa de tornar o conceito mais palpável, utilizei uma mola que havia trazido da sala do professor e tentei recriar o fenômeno com a ajuda de um voluntário. No entanto, percebi que sincronizar os movimentos era mais difícil do que imaginei. Tentamos algumas vezes, mas não conseguimos demonstrar o fenômeno de forma clara com aquela mola. Apesar disso, tive a impressão de que a turma havia entendido o conceito e que era possível avançar.

Voltei ao quadro e desenhei duas ondas, uma sobre a outra, com um sinal de mais ao lado da segunda onda e um traço indicando igualdade abaixo. As ondas possuíam formatos diferentes, de modo que, em alguns pontos, as amplitudes se somavam, enquanto em outros se subtraíam. Perguntei à turma como seria a onda resultante a partir da soma daquelas duas, e eles guiaram meu desenho de forma majoritariamente correta.

Por fim, expliquei que, se duas ondas possuísem frequências ligeiramente diferentes, suas amplitudes poderiam se somar em alguns momentos e se subtrair em outros, gerando um fenômeno conhecido como batimentos. Enquanto explicava, alguns alunos começaram a manipular o aparelho e perceberam que, dependendo da frequência, o padrão de interferência mudava. No entanto, por receio de danos ao equipamento, não me senti confiante em deixá-los experimentando livremente. Por isso, aproximei-me para responder às perguntas e garantir que o aparelho fosse usado com segurança.

Pouco depois, o sinal indicou o fim da aula. Este experimento foi, sem dúvida, o que mais engajou a turma e pareceu surpreender os estudantes. Se pudesse refazer o planejamento, escolheria esse experimento no lugar do das Figuras de

Chladni para apresentar na primeira aula. Infelizmente, não consegui dar à turma a liberdade que parecia demandar naquele momento, pois receava que o aparelho fosse danificado. Não sei se minha atitude foi a mais acertada, mas acredito que tenha sido prudente.

5.2.11 Aula 11: Introdução às ondas eletromagnéticas

Data: quinta dia 21 de Novembro

Tópicos: Ondas eletromagnéticas

Objetivos Docentes: Mostrar que a luz possui o mesmo comportamento de uma onda em determinados contextos e por isso pode ser compreendida como um tipo de onda, uma onda eletromagnética.

Procedimentos:

Na aula sobre ondas eletromagnéticas, eu vou começar contextualizando o debate histórico entre as duas principais teorias sobre a luz. Explicarei que, por muitos séculos, houve uma disputa entre aqueles que acreditavam que a luz era composta por partículas, como Isaac Newton, e os que defendiam que ela era uma onda, como Christiaan Huygens. Isso vai preparar o terreno para entendermos como essa questão foi resolvida ao longo do tempo, até chegarmos à compreensão moderna de que a luz tem um comportamento dual, podendo agir tanto como partícula quanto como onda.

Logo após essa introdução, farei a transição para a ideia central da aula: o comportamento ondulatório da luz. Vou lembrar os alunos que, nas aulas anteriores, vimos que ondas refletem, refratam e interferem, e que a luz, sendo também uma onda, exibe esses mesmos fenômenos em determinadas situações. Para ilustrar isso de forma prática, realizaremos um experimento.

Neste experimento, usarei um laser e um fio de cabelo para demonstrar o fenômeno de difração. Explicarei para os alunos que, assim como as ondas mecânicas, a luz pode se espalhar e interferir consigo mesma quando passa por uma abertura ou um obstáculo pequeno. Pedirei para que observem atentamente o padrão de interferência gerado quando o feixe de luz do laser passar pelo fio de

cabelo. Esse padrão será projetado em uma parede ou em uma tela. Vou guiá-los na análise do que eles estão vendo, explicando que as franjas claras e escuras são causadas por interferência construtiva e destrutiva, algo que já discutimos anteriormente com ondas mecânicas.

Após o experimento, reforçarei a ideia de que esse comportamento ondulatório é uma evidência de que a luz, assim como outras formas de radiação eletromagnética, também é uma onda. Farei a conexão entre o que acabamos de observar com o conceito de onda eletromagnética, destacando que a luz é apenas uma pequena parte do espectro eletromagnético.

Para fechar a aula, apresentarei o espectro das ondas eletromagnéticas. Usarei uma imagem ou gráfico que mostre desde as ondas de rádio, passando pelas microondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios-X, até os raios gama. Explicarei que, embora todas essas formas de radiação sejam ondas eletromagnéticas, elas diferem em frequência e comprimento de onda, o que resulta em diferentes propriedades e aplicações tecnológicas. Mostrarei alguns exemplos práticos, como o uso de raios-X na medicina, micro-ondas na comunicação e a luz visível no nosso cotidiano.

Ao final, farei uma recapitulação rápida dos pontos principais da aula, reforçando a ideia de que a luz, além de ser uma partícula, também tem um comportamento ondulatório, assim como as ondas que já estudamos. Concluirei a aula incentivando os alunos a refletirem sobre a natureza dual da luz e sua importância em diversas áreas da ciência e da tecnologia.

Recursos:

Uma apresentação de PowerPoint, laser e um fio de cabelo esticado.

Avaliação:

Durante a aula, a avaliação será feita através da participação dos alunos nas discussões, observando as anotações que eles fizerem durante o experimento e as respostas que eles derem às perguntas que eu fizer.

Relato de Regência:

Esta aula seguiu uma abordagem mais histórica, com o objetivo de apresentar um pouco sobre a natureza da ciência. Para isso, utilizei uma série de

slides no PowerPoint que detalhavam as concepções de Newton e Huygens sobre a natureza da luz. No entanto, a recepção dos alunos foi um tanto apática.

Iniciei a aula explicando as teorias de ambos os cientistas e, em seguida, explorei como cada uma delas explicava diferentes fenômenos relacionados à luz. Foi relativamente fácil conduzir os alunos à conclusão de que, até certo ponto, tanto a teoria corpuscular quanto a teoria ondulatória eram eficazes, mesmo sendo mutuamente excludentes. Nesse momento, mencionei Thomas Kuhn (2020) e sua obra *A Estrutura das Revoluções Científicas*, explicando que as ciências naturais costumam adotar um único paradigma dominante. Quando existem dois paradigmas capazes de explicar os mesmos fenômenos, a escolha entre eles frequentemente envolve critérios extra científicos, o que Kuhn (2020) descreve como um processo político dentro da comunidade científica.

No caso da disputa entre Newton e Huygens, expliquei que Newton tinha maior prestígio e influência na época, o que levou à adoção inicial de sua teoria. Posteriormente, com o avanço das investigações científicas, novas evidências, como o fenômeno da difração da luz, favoreceram a teoria ondulatória. Gostaria de ter demonstrado o fenômeno da difração utilizando um laser apontado para um fio de cabelo, mas, devido à falta de cortinas na sala de aula e à luz excessiva vinda da rua, optei por não realizar a experiência, pois imaginei que o fenômeno não seria visível.

Além disso, discuti a contribuição de Maxwell, que, ao tratar matematicamente as equações do eletromagnetismo conhecidas até então, previu a existência das ondas eletromagnéticas. Para ilustrar essa parte, apresentei as equações de Maxwell (sem me aprofundar muito na explicação) e mostrei um GIF de uma onda eletromagnética.

Apesar de a turma parecer um pouco entediada com a discussão, percebi que, de forma geral, prestavam atenção e intervinham em alguns momentos. Finalizei a aula mencionando o efeito fotoelétrico, interpretado por Einstein como evidência de que a luz é composta por fótons, e discuti a concepção atual, segundo a qual a luz apresenta um comportamento dual, sendo ao mesmo tempo onda e partícula.

Ao refletir sobre a aula, percebo que a forma como escolhi apresentar as questões históricas e filosóficas não foi tão eficaz quanto eu esperava, pois não

conseguiu engajar a turma de maneira significativa. Não tenho muita certeza sobre como poderia tornar este tipo de aula mais interessante.

5.2.12 Aula 12: Ondas estacionárias

Data: segunda dia 25 de Novembro

Tópico: Ondas estacionárias

Objetivos Docentes: Explicar o conceito de ondas estacionárias e como se formam as figuras de Chladni.

Procedimentos:

Na aula sobre ondas estacionárias, eu refarei o experimento das figuras de Chladni, mas desta vez com uma abordagem um pouco diferente para reforçar o aprendizado e instigar a curiosidade dos alunos. Usarei novamente uma placa metálica com areia em cima, presa pelo centro, como na primeira aula. Porém, em vez de usar o arco de violino para fazer a placa vibrar talvez utilize um alto falante, que também pode gerar as ondas estacionárias. Essa variação no experimento ajudará a mostrar que, independentemente da fonte, o fenômeno das ondas estacionárias pode ser observado da mesma forma.

Atividade Inicial (~10 min): Quando a aula começar, eu entregarei aos alunos as anotações que fizeram na primeira aula, quando pedi para que escrevessem suas suposições sobre o que estava acontecendo com a areia ao formarem aquelas figuras geométricas. O objetivo será que eles reflitam sobre suas respostas iniciais à luz do que aprenderam nas aulas subsequentes. Dessa maneira, eles poderão comparar suas ideias anteriores com o conhecimento adquirido sobre ondas, ressonância e ondas estacionárias.

Desenvolvimento (~25 min): Abrirei a aula apresentando brevemente o conceito de ondas estacionárias, enfatizando os nós e ventres que se formam e como eles se relacionam diretamente com as figuras de Chladni que surgem na placa. Em seguida, prepararei o experimento, posicionando a placa metálica com a areia. Ao ativar o auto falante (ou ao utilizar o arco, dependendo da escolha final), os

alunos observarão novamente as figuras formadas pela areia nas regiões de nós, onde não há vibração.

Enquanto realizo o experimento, pedirei que os alunos anotem novas observações e hipóteses sobre o fenômeno. A comparação entre suas primeiras anotações e o que eles viram agora será fundamental para que possam perceber o quanto avançaram em seu entendimento.

Depois do experimento, farei uma transição suave para a parte criativa da aula. Relembrarei a brincadeira feita na primeira aula, onde sugeri que Chladni "havia enviado uma carta" pedindo nossa explicação sobre o que estava acontecendo com a areia. Agora, o trabalho deles será formular uma resposta definitiva para essa carta, baseada em todo o conhecimento que adquiriram ao longo das aulas. Eles terão tempo para escrever em grupos, colaborando para criar uma explicação clara e embasada cientificamente.

Fechamento (~10 min): Ao final, recolherei as cartas e discutiremos em conjunto as respostas. Vou destacar os principais pontos de cada carta e relacioná-los com os conceitos fundamentais de ondas estacionárias. Essa atividade permitirá que os alunos consolidem o conteúdo de forma criativa e crítica.

Recursos:

- Placa metálica e areia
- Arco de violino ou alto-falante
- Anotações feitas pelos alunos na primeira aula
- Quadro e marcadores

Avaliação:

A avaliação será feita a partir da comparação das hipóteses iniciais com as novas, após a observação do experimento considerando a qualidade e a clareza das explicações nas cartas para Chladni, levando em consideração o uso correto dos conceitos trabalhados.

Relato de Regência:

Antes da aula, passei nos laboratórios do Instituto de Física para pegar o aparato experimental que utilizaria em sala. O técnico responsável, que me forneceu

o equipamento, e eu realizamos um teste rápido para verificar se tudo estava funcionando adequadamente. A Figura 29 mostra uma foto feita durante esse teste.

Figura 29 - Teste do aparato das figuras de Chladni.



Fonte: Autor, 2024.

Em seguida, fui para o colégio. Ao chegar, encontrei alguns alunos no corredor e seguimos juntos para o laboratório de Física. Como nem todos sabiam que eu já estava lá, fui até a sala de aula chamar o restante da turma. Quando todos estavam no laboratório, organizei meu computador e o conectei ao projetor. Todo esse processo acabou atrasando o início da aula em cerca de 5 a 10 minutos.

A turma estava bastante agitada, mas, assim que comecei a falar, as conversas diminuíram gradativamente. Iniciei a aula relembrando a "carta de Chladni" e expliquei que pediria aos alunos que escrevessem novamente uma resposta explicando como e por que as figuras de Chladni aparecem na placa metálica. A reação da maioria foi neutra, embora uma aluna tenha demonstrado certa insatisfação, aparentemente devido ao acúmulo de tarefas, possivelmente de outras disciplinas também. Ainda assim, prossegui, explicando que agora eles tinham condições de elaborar uma resposta mais fundamentada.

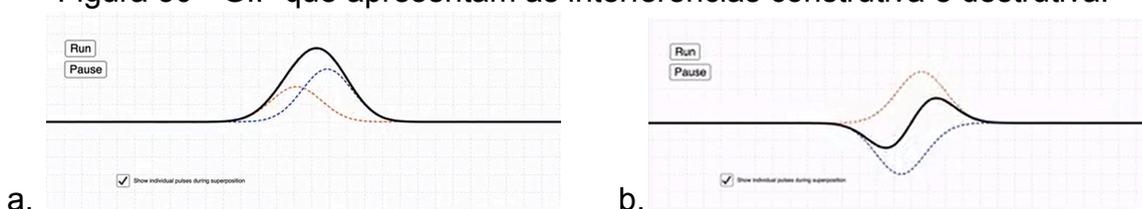
Prevendo que alguns não lembrariam do conceito, apresentei um GIF mostrando o experimento de Chladni sendo realizado com um arco de violino, como na primeira aula. Perguntei à turma como aquelas figuras se formavam. Aos poucos, alguns alunos superaram a timidez e explicaram, do jeito deles, que a areia se afastava das regiões vibrantes da chapa e se concentrava onde não havia vibração. Notei, porém, que muitos ainda têm dificuldade de usar os conceitos aprendidos e recorrem a mímicas para se expressar. Não sei como abordar melhor essa questão, mas os que participaram demonstraram um entendimento geral do fenômeno.

Perguntei, então, por que algumas áreas vibram e outras não. Um aluno comentou que isso parecia com o que havia sido observado na cuba de ondas, onde

as vibrações de duas fontes interferiam entre si. Apesar de não ter usado essas palavras exatas, foi nesse sentido, e esse comentário me deu uma boa oportunidade para avançar no conteúdo.

Revisitei o conceito de interferência usando dois GIFs, mostrados na Figura 30, já que tinha a impressão de que minhas explicações anteriores não haviam sido tão claras. Para minha surpresa, os alunos responderam às perguntas relacionadas aos GIFs sem grandes dificuldades, demonstrando um entendimento maior do que eu esperava.

Figura 30 - GIF que apresentam as interferências construtiva e destrutiva.



Fonte: Makeagif, 2019.

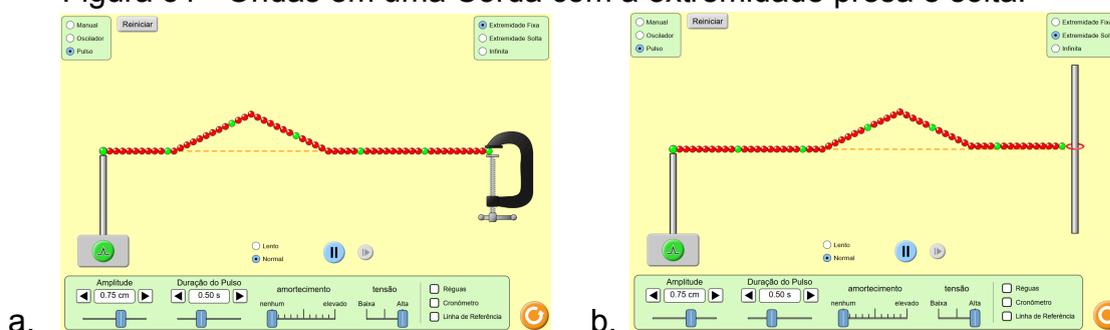
Após essa revisão, tentei abrir a simulação do PhET, "Ondas em uma Corda" (Figura 10), enquanto conectava meu computador à internet. Nesse momento, uma professora entrou na sala para dar um aviso à turma. Após sua saída, os alunos começaram a conversar, e precisei de algum tempo para acalmá-los e retomar a aula.

Com a simulação configurada conforme a Figura 31a (extremidade da corda presa), perguntei à turma o que acontece com um pulso ao chegar ao final da corda. Alguns alunos responderam corretamente que ele seria refletido. Ao perguntar como o pulso retornaria caso tivesse uma concavidade para cima, um aluno respondeu prontamente que voltaria com a concavidade para baixo, mostrando que já tinha um entendimento prévio sobre o tema.

Na sequência, discutimos a situação da Figura 31b (extremidade da corda solta). Ao perguntar como o pulso retornaria nesta condição, uma aluna tentou responder, mas foi difícil entender sua explicação, que misturava palavras e gestos. Fiz a simulação, e a turma não pareceu surpresa com o resultado. Não sei se eles já haviam estudado isso antes ou se tinham visto algo parecido na internet.

Avancei perguntando o que aconteceria se, em vez de um pulso isolado, utilizássemos um oscilador com uma frequência constante. A maioria compreendeu que as ondas refletidas interfeririam com as emitidas pelo oscilador, resultando em variações na amplitude. Expliquei que, ajustando a frequência certa, seria possível formar uma onda estacionária. Tentei encontrar essa frequência na simulação, mas não obtive sucesso.

Figura 31 - Ondas em uma Corda com a extremidade presa e solta.

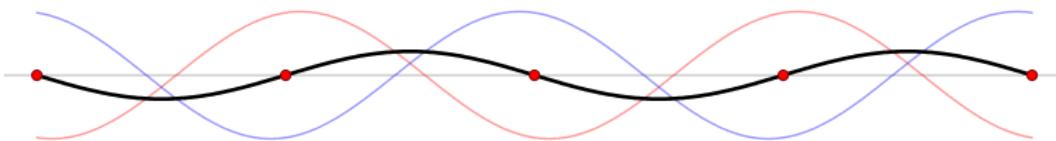


Fonte: PhET, 2024.

Foi mais eficiente mostrar um GIF de uma onda estacionária (Figura 32). Usei-o para apresentar os conceitos de nós e ventres da onda e expliquei que o mesmo fenômeno ocorre em placas metálicas, como nas figuras de Chladni. Perguntei onde a areia se concentra: nos nós ou nos ventres? A turma respondeu corretamente que a areia se acumula nos nós.

Em seguida, tentei demonstrar esse efeito com o aparato montado junto aos alunos. No entanto, ao ligar o alto-falante e colocar a areia na placa, nada aconteceu. Perguntei à turma por que o experimento não estava funcionando. Alguns sugeriram que seria necessário aumentar o volume, o que não descartei. Então, relatei a situação com a ponte Tacoma Narrows e perguntei o que causava sua intensa vibração. Após alguma reflexão, alguns alunos perceberam que era necessária ressonância para que a placa vibrasse o suficiente para deslocar a areia.

Figura 32 - Onda estacionária.



Fonte: Wikipédia, 2022.

Tentei ajustar várias frequências até encontrar uma que fez a areia se mover levemente, mas não o bastante para formar figuras claras. Percebi que o tempo de aula estava terminando e precisei encerrar antes de concluir a demonstração e a discussão sobre ondas estacionárias. Também não consegui abordar as equações relacionadas ao tema.

Antes de liberar os alunos, entreguei a lista de exercícios (Anexo A) e informei que algumas questões da prova seriam retiradas dessa lista.

Essa experiência ilustra como realizar experimentos em sala de aula pode ser desafiador. Talvez tivesse sido mais produtivo limitar-me ao GIF do experimento, que já ilustrava bem as linhas nodais, e dedicar o tempo economizado para explorar as equações das ondas estacionárias. Isso teria facilitado a compreensão teórica e o aproveitamento geral da aula.

5.2.13 Aula 13: Resolução de Exercícios da Lista

Data: quinta dia 28 de Novembro

Tópico: Revisão

Objetivos Docentes: Tirar dúvidas sobre os exercícios da lista e sobre a prova.

Procedimentos:

Pretendo trazer a lista de exercícios e perguntar aos alunos quais os exercícios que eles têm dúvidas ou que não sabem resolver. A aula será toda dedicada a resolução destes exercícios.

Recursos:

Para esta aula será necessário o computador com o projetor, o PDF da lista de exercícios, quadro branco e marcadores.

Avaliação:

A avaliação será feita com base nas perguntas levantadas pelos alunos durante a aula.

Relatos de Regência:

Minha intenção inicial era começar a aula apresentando as equações que regem o comportamento das ondas estacionárias e, em seguida, resolver os exercícios da lista para esclarecer eventuais dúvidas dos alunos. No entanto, os próprios alunos acabaram inviabilizando essa abordagem, pois me interrompiam constantemente para perguntar quando faríamos a revisão dos exercícios. Aos poucos, percebi que, primeiramente, seria impossível apresentar o conteúdo com a turma tão agitada, e, em segundo lugar, a agitação deles tinha fundamento. A turma não estava interessada em novos conteúdos naquele momento, mas sim em revisar o material já estudado, tendo em vista a proximidade da prova. Diante desse impasse, optei por fazer um acordo: encerrar o avanço no conteúdo e dedicar a aula exclusivamente à revisão.

Com esse acordo estabelecido, a aula transcorreu sem maiores dificuldades. Como eu já esperava, nenhum aluno havia resolvido os exercícios da lista previamente e, conseqüentemente, não havia dúvidas específicas nem sugestões de exercícios para abordar. Por conta disso, escolhi os exercícios que considerei mais relevantes e os resolvi no quadro, o que acabou definindo o ritmo da aula.

Essa experiência, assim como outras vivenciadas durante o estágio, reforça que a posição de professor não garante o poder de decidir unilateralmente tudo o que acontece em sala de aula. Esse poder está longe de ser absoluto. Pelo contrário, ele frequentemente precisa ser negociado, e as decisões, revisadas – o que é algo positivo. O problema de um poder absoluto é que ele pode levar a decisões que nem sempre estão corretas ou que, por vezes, desconsideram o bem-estar coletivo.

Reconheço que, no início da aula, minha decisão não estava alinhada com as necessidades dos alunos. Deveria ter notado que o tempo disponível não seria

suficiente para apresentar o conteúdo novo de forma adequada e, ainda assim, realizar uma revisão completa. Felizmente, tive alunos atentos o suficiente para perceber isso e, com coragem, questionar a autoridade imposta pela minha posição, levando-me a mudar de rota. Que melhor exemplo de cidadania eu poderia presenciar do que esse?

5.2.14 Aula 14: Prova

Data: segunda dia 2 de Dezembro.

Relato de Regência:

Cheguei na sala antes da aula começar. Os alunos estavam reunidos na sala em pequenos grupos discutindo as questões das listas de exercícios dadas anteriormente. Assim que me viram, algumas alunas vieram em minha direção para fazer perguntas sobre os exercícios e sobre a prova. Todos estavam ansiosos para fazer a prova logo. Falamos um pouco sobre os exercícios, mas também sobre assuntos diversos até todos os alunos chegarem junto com o professor titular.

Antes de aplicar a prova, fiz uma combinação com a turma para fazermos um lanche coletivo de encerramento no dia 5 no período deles de Física. Quem me passou esta ideia foi o professor deles. Neste encerramento, cada aluno pode trazer alguma coisa para comer e será entregue as provas corrigidas e anunciadas as notas, além das despedidas e tudo o mais.

Porém a ansiedade com a prova era tanta que eles nem quiseram ouvir muito sobre os acertos para quinta. Então, distribuí as provas sem mais demoras e coloquei as equações necessárias no quadro.

A turma não demorou muito para terminar as 5 questões da prova, o que me fez pensar se elas não estavam muito fáceis e muito diretas. Poucos foram aqueles que demonstraram ter mais dificuldade e terminaram muito depois dos outros.

Como já mencionei ao comentar as provas aplicadas durante minhas observações, embora não seja a ferramenta ideal, a prova tem o poder de engajar os alunos nos estudos. Durante a realização de uma prova, percebe-se que todos

prestam muito mais atenção e são forçados a raciocinar, algo que nem sempre ocorre em outras situações de aula. O problema é que muitos alunos preferem memorizar respostas em vez de dedicar seus esforços a compreender os raciocínios envolvidos. Nesse aspecto, reconheço que foi um erro utilizar questões tão diretas. Talvez tivesse sido mais interessante propor algum problema aberto. Não sei ao certo como seria a recepção dos alunos nem como faria a correção nesse caso, mas acredito que essa abordagem poderia ter sido mais produtiva.

6 CONCLUSÃO

A experiência de ministrar aulas foi profundamente reveladora. O papel de autoridade de um professor contrasta fortemente com a sensação de vulnerabilidade que senti ao entrar na sala de aula pela primeira vez, diante de mais de 30 indivíduos. Recordar esse momento e a forma como fui recebido – e, por que não dizer, acolhido – pela turma me enche de gratidão por cada um dos que estavam presentes, tanto naquela ocasião quanto nos demais momentos ao longo do período da regência.

Uma das características que mais valorizo nos alunos é a sinceridade. Eles não disfarçam o que sentem e, mesmo quando suas opiniões são mordazes, nunca deixam de ser honestos e diretos. Essa honestidade é valiosa para quem está aprendendo a ser o que ainda não é. Saber como o que está sendo transmitido é recebido pelos estudantes traz uma sensação de vulnerabilidade, sem dúvida, mas também uma certa segurança. Eu sabia com clareza quando algo não estava indo bem, mas também tinha a certeza de que as coisas estavam funcionando quando de fato estavam. Houve momentos de tensão e frustração, mas também muitos momentos em que saí da aula satisfeito e alegre com o trabalho realizado. Cada um desses momentos foi um aprendizado valioso e, no final, todos valeram a pena.

Algo semelhante posso dizer sobre o professor que me recebeu no colégio e acompanhou todas as minhas aulas. Ele me mostrou, de forma clara, como a vida de professor pode ser desafiadora. Muitas situações seriam capazes de desanimar qualquer um, mas, ainda assim, não houve uma aula em que eu não o visse sorrir em algum momento, refletindo o sabor agri-doce da docência. As aulas que assisti dele revelaram a dimensão do desafio que eu enfrentaria e despertaram minha admiração por aquele guerreiro, que está lá todos os dias, trabalhando pelo futuro dos que, um dia, herdarão o mundo. Sou também grato pela forma como ele interveio nos momentos críticos: sempre com sutileza, respeitando meu protagonismo e intervindo apenas quando necessário. Sua presença me transmitiu segurança, mas ao mesmo tempo me deixou livre para enfrentar os desafios por conta própria.

Apesar das dificuldades, percebi-me bem preparado para a função. Isso não poderia ser diferente, considerando os excelentes professores que tive durante minha formação. Aliás, não apenas na graduação em Física, mas também na

Filosofia. Não teria sido capaz de ministrar aulas que captaram a atenção dos alunos se não tivesse aprendido, com os professores do Instituto de Física da UFRGS, como tornar as explicações envolventes. Além disso, os professores e, em especial, as professoras do Instituto de Filosofia contribuíram enormemente, ensinando-me a estruturar o pensamento e apresentar argumentos de forma clara e objetiva.

Não posso deixar de mencionar o papel crucial do meu orientador neste trabalho. Ele assegurou que, mesmo com os desafios atípicos enfrentados devido às enchentes que atingiram Porto Alegre neste trágico ano de 2024, nós, seus orientandos, tivéssemos nossos estágios garantidos. Tenho imensa admiração por aqueles que, como ele, se entregam às suas causas e não medem esforços para que tudo dê certo, mesmo diante das maiores adversidades.

Ao longo da vida universitária, tive a impressão de que, para alguns professores, tanto fazia se o aluno passava ou era reprovado, se aprendia ou não. No entanto, ao vivenciar a experiência de ser docente, percebi que nós realmente torcemos pelo sucesso de nossos alunos, quase como quem torce pela vitória de seu time do coração. Ainda assim, sabemos que não podemos fazer por eles, apenas indicar o caminho. Senti isso ao corrigir provas e pensar: "foi por tão pouco que ele ou ela não acertou tudo!". Era como ver um chute na trave. Nesse momento, lembrei-me das vezes em que meu orientador esteve presente nas minhas aulas e das expressões que ele fazia ao observar meu trabalho. Percebi que ele sentia o mesmo por mim.

Enfim, esta foi uma experiência enriquecedora e transformadora, que só foi possível graças ao apoio da minha família, que me deu toda a base necessária para que eu pudesse estar ali. Espero ser capaz de honrar todos os que contribuíram para que eu chegasse até aqui.

REFERÊNCIAS

AFI CATALOG. **A beautiful mind**. Disponível em:

<https://catalog.afi.com/Catalog/moviedetails/53925>. Acesso em: 10 out. 2024.

ARAUJO, Ives Solano; MAZUR, Eric. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 362-384, 17 abr. 2013. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

<http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2013v30n2p362>.

ARISTÓTELES. Livro 1 (Alfa). In: ARISTÓTELES. **Metafísica**. Campinas: Ifch Unicamp, 2008. p. 9-11. Tradução de: Lucas Angioni.

ARIZA, Rafael Porlán; HARRES, João Batista Siqueira. A Epistemologia Evolucionista de Stephen Toulmin e o Ensino de Ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Santa Catarina, v. 19. N. Especial, p. 76, 78, jun. 2002.

BATISTA, Carolina. **Transformações físicas e químicas**. Disponível em:

<https://www.todamateria.com.br/transformacoes-fisicas-e-quimicas/>. Acesso em: 05 nov. 2024.

CIDEPE - Centro Industrial de Equipamentos Pesquisa e Ensino. **Cuba de ondas com estrobeflash, frequencímetro digital e anteparo**. Disponível em:

<https://www.cidepe.com.br/index.php/br/produtos-interna/cuba-de-ondas-com-estrobeflash-frequencimetro-digital-e-anteparo/EQ231J>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CAp - COLÉGIO DE APLICAÇÃO DA UFRGS. Disponível em:

<https://www.ufrgs.br/colegiodeaplicacao/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

CAp - COLÉGIO DE APLICAÇÃO UFRGS. **Manual do Novato**. Porto Alegre: Cap Ufrgs, 2019. Disponível em:

<https://www.ufrgs.br/colegiodeaplicacao/wp-content/uploads/2019/02/MANUAL-DO-NOVATO-revisado.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CUNHA, Gabriela. **Plickers**: uma ferramenta feita para professores que amam

ensinar sem enrolar. 2017. Disponível em: <https://aulaincível.com/plickers/>. Acesso em: 06 dez. 2024.

DORNELES, Pedro F.T.; ARAUJO, Ives S.; VEIT, Eliane A.. Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: parte i - circuitos elétricos simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 28, n. 4, p. 487-496, 2006. FapUNIFESP (SciELO).

<http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172006000400011>.

EARTH TUNED. **Death Valley National Park**. 08 out. 2020. Instagram:

@earth_tuned. Disponível em:

<https://www.instagram.com/p/CGGv7WNnSux/?igsh=MWI4ajNpbWxyb2E0aA==>. Acesso em: 13 nov. 2024.

GAIGHER, Jobert. **Intro à tecnologia musical**: altura, intensidade, e timbre. Altura, intensidade e timbre. 2015. Disponível em: <https://jobert.info/5-intro-a-tecnologia-musical-altura-intensidade-e-timbre/>. Acesso em: 28 out. 2024.

GASPAR, Alberto. Música. *In*: GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física 2**: ondas, óptica e termodinâmica. São Paulo: Ática, 2013. p. 51 - 69.

GEOMETRIA SAGRADA. **Fenômeno da Ressonância**. 13 nov. 2024. Instagram: @geometriasagrada. Disponível em: <https://www.instagram.com/reel/CUqrJzJgbPV/?igsh=cXRnZDN6ODInd2pl>. Acesso em: 05 out. 2021.

GOULART, Guilherme Salgueiro; LEONEL, André Ary. Revisão Da Literatura Sobre O Ensino De Física Moderna E Contemporânea No Ensino Médio: potencialidades a partir da aprendizagem significativa. **Dynamis**, Blumenau, v. 26, n. 1, p. 192-215, jan. 2020.

GUARDA-VIDAS. **Oceanografia**. Disponível em: <https://guardavidascivil.wordpress.com/oceanografia/>. Acesso em: 21 out. 2024.

HEWITT, Paul G.. Som. *In*: HEWITT, Paul G.. **Física Conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. p. 355-404.

INSTITUTO DE FÍSICA. **A energia das ondas**: porque o surfista consegue surfar. Porque o surfista consegue surfar. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20021/Roussel/energia1.html>. Acesso em: 18 out. 2024.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2020.

KÜPPER, Armin. **Jam de saxofone usando um pipeline como delay natural e reverb/ Pipelinefunk (concerto) Armin Küpper**. 09 jun. 2020. YouTube: www.youtube.com/c/ArminKupper. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=p8GcHoSIPDg>. Acesso em: 05 nov. 2024.

LEGE, Rangel. **Cada estrutura tem sua frequência natural**. 8 set. 2024. Instagram: @rangellege. Disponível em: https://www.instagram.com/reel/C_qP9gVx7dF/?igsh=MXNheHk5a3ViNDFxdg==. Acesso em: 13 nov. 2024.

MAKEAGIF. **Constructive interference**. 2019. Disponível em: <https://makeagif.com/gif/constructive-interference-JNR5xz?>. Acesso em: 23 nov. 2024.

MAKEAGIF. **Destructive interference**. 2019. Disponível em: <https://makeagif.com/gif/destructive-interference-AkX4to>. Acesso em: 23 nov. 2024.

MATTHEWS, Michael R. História, Filosofia E Ensino De Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Science & Education**, Auckland, v. 12, n. 2, p. 164-214, dez. 1995. Traduzido por Claudia Mesquita de Andrade.

MOREIRA, Marco Antônio. A teoria de aprendizagem de David Ausubel. *In*: MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem**: perspectivas teóricas. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1985. p. 127-143.

O CANAL DA ENGENHARIA. **Tacoma Narrows**: o desastre que entrou pra história. 11 fev. 2022. YouTube: @OCanaldaEngenharia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zqzplDedSiY>. Acesso em: 13 nov. 2024.

PHET. **Difusão**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/diffusion. Acesso em: 05 nov. 2024a.

PHET. **O Homem em Movimento**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/moving-man. Acesso em: 13 set. 2024b.

PHET. **Ondas em Corda**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 01 out. 2024c.

RICHARDSON, Bernard. Mode studies of plucked stringed instruments: application of holographic interferometry. **Second Vienna Talk**. Viena, p. 129-132. 20 set. 2010. Disponível em: https://viennatalk.mdw.ac.at/papers/Pap_02_64_Richardson.pdf. Acesso em: 28 out. 2024.

RUSSELL, Daniel A.. What is a Wave? **Acoustics and vibration animations**. Pennsylvania, 16 abr. 2002. Disponível em: <https://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves-intro/waves-intro.html>. Acesso em: 19 out. 2024.

RUSSELL, Daniel A. Longitudinal and Transverse Wave Motion. **Acoustics and vibration animations**. Pennsylvania. 05 ago. 2016. Disponível em: <https://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.html>. Acesso em: 19 out. 2024.

SECCO, Gisele Dalva. Diálogos que nossos alunos podem ler. *In*: RIGATTI, Cassol Pietra. **Livros que seu aluno pode ler**: formação do leitor na educação básica. Porto Alegre: Sci Books, 2015. p. 127-155.

WIKIPÉDIA. **Onda estacionária**. 2022. Disponível em: https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Onda_estacion%C3%A1ria. Acesso em: 23 nov. 2024.

WIKIPÉDIA. **Ponte de Tacoma Narrows**. 2021. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_de_Tacoma_Narrows. Acesso em: 13 nov. 2024.

APÊNDICE A - Questionário sobre as atitudes dos alunos frente à disciplina de Física.**Nome:** _____ **Idade:** _____

1. Qual sua disciplina favorita e qual você menos gosta? Por quê?

2. Você gosta de Física? Comente sua resposta.

3. Complete a sentença: “Eu gostaria mais de Física se...” _____

4. O que você acha mais interessante na Física? E menos interessante?

5. Que tipo de assunto você gostaria que fosse abordado nas aulas de Física?

6. Você vê alguma utilidade em aprender Física? Comente sua resposta.

7. Quais dificuldades você costuma ter ao estudar Física?

8. Você trabalha? Se sim, em quê?

9. Qual profissão você pretende seguir?

10. Pretendes fazer algum curso superior? Qual? Em que instituição?

APÊNDICE B - Cronograma de Regência

Aula	Data	Hora	Tópicos trabalhados	Objetivos docentes	Estratégias de ensino
1	07/10	15:00 - 15:45	Onda, movimento ondulatório, vibração, propagação Exemplo de ondas no cotidiano	<p>Apresentar os tópicos que serão trabalhados ao longo de toda a regência.</p> <p>Pedir aos alunos para fazerem predições sobre o comportamento das ondas através do experimento das Figuras de Chladni.</p> <p>Desenvolver habilidades de observação e explicação com base na metodologia POE (Predição, Observação, Explicação).</p> <p>Despertar o interesse pela Física das ondas através de experimentos visuais e sonoros</p> <p>Compreender o conceito de onda e as formas básicas de propagação</p>	<p>Fazer uma breve apresentação de mim mesmo e da unidade didática, introduzindo conceitos básicos de ondas e explicando o que será abordado ao longo das próximas aulas.</p> <p>Montar e apresentar o experimento das Figuras de Chladni.</p> <p>Perguntar aos alunos o que eles esperam ver no experimento. Deixá-los fazerem suas predições por escrito discutindo o que pode acontecer ao arrastar o arco de violino na superfície coberta de areia.</p> <p>Realizar o experimento. Os alunos observam como os padrões de ondas se formam na areia, se algum deles quiser, pode atritar o arco ele mesmo, resultando em figuras geométricas. Incentivá-los a anotar suas observações.</p> <p>Depois da observação, pedir para que os alunos tentem explicar o fenômeno.</p> <p>Orienta-los a elaborar hipóteses. Com base nas hipóteses, fazer novos testes para</p>

Aula	Data	Hora	Tópicos trabalhados	Objetivos docentes	Estratégias de ensino
					tentar testá-las.
2	10/10	08:45 - 09:30	Ondas transversais, longitudinais. frequência, período Amplitude, comprimento de onda Direção de propagação e de vibração.	Apresentar a diferença entre ondas transversais e longitudinais. Relacionar frequência e período e como são medidos.	Apresentar os conceitos com o uso de uma mola. Peer Instruction Distribuir uma lista de exercícios.
3	21/10	15:00 - 15:45	Ondas de som, altura, comprimento de onda, frequência, volume, amplitude. Unidades de medida. Representação gráfica de ondas, Relação com frequência e amplitude	Revisar e reforçar o conteúdo. Relacionar características do som com suas propriedades físicas	Apresentar um simulador que relacione a forma gráfica da onda de som com o som em si. POE
4	24/10	08:45 - 09:30	Resolução de exercícios	Resolver e discutir exercícios sugeridos da lista	Resolução de exercícios em grupos. Passarei exercícios para serem resolvidos em aula em grupo e posteriormente revisados em discutidos em conjunto.
5	31/10	08:45 - 09:30	Timbre, espectro sonoro Análise de sons complexos	Compreender as características de sons complexos	Usarei gravações de instrumentos musicais tocando as mesmas melodias para destacar a diferença de timbres. Explicarei que o som de cada instrumento é composto de várias frequências, que juntas formam o timbre que ouvimos. Utilizarei um aplicativo ou <i>software</i> que exiba o espectro sonoro de diferentes instrumentos em

Aula	Data	Hora	Tópicos trabalhados	Objetivos docentes	Estratégias de ensino
					tempo real.
6	04/11	15:00 - 15:45	Reflexão	Apresentar que a reflexão ocorre em diferentes meios	Aula expositiva seguida de experimentos práticos de reflexão em cordas
7	07/11	08:45 - 09:30	Velocidade de propagação Equação da onda	Explicar a fase e calcular a velocidade de propagação	Experimento da velocidade do som usando uma mangueira longa, um microfone e um programa de computador para medir.
8	11/11	15:00 - 15:45	Refração	Apresentar o conceito de refração	Aula expositiva
9	14/11	08:45 - 09:30	Ressonância Exemplos práticos de ressonância	Explicar o fenômeno da ressonância e sua aplicação	Apresentar o assunto usando dois diapasões. Um deles encostado num pêndulo de bola de isopor e o outro será batido com um martelo. Depois falar sobre porque algumas estruturas caem em terremotos e outras não.
10	18/11	15:00 - 15:45	Difração, interferência, batimentos Interferência construtiva e destrutiva	Apresentar o conceito de difração. Analisar os efeitos da interferência entre ondas	Usar uma cuba de ondas para apresentar o fenômeno.
11	21/11	08:45 - 09:30	Ondas eletromagnéticas	mostrar como a luz possui comportamentos ondulatórios como reflexão, refração e interferência	Apresentar um pouco da Discussão histórica sobre a natureza da luz numa apresentação de PowerPoint e mostrar um experimento óptico usando um LASER e um fio de cabelo para mostrar as franjas de

Aula	Data	Hora	Tópicos trabalhados	Objetivos docentes	Estratégias de ensino
					difração da luz
12	25/11	15:00 - 15:45	Ondas estacionárias Pontos nodais e anti-nodais	Analisar como as ondas estacionárias são formadas	Explicação de ondas estacionárias. Retornar ao experimento das Figuras de Chladni para explicá-lo melhor a luz de toda a teoria que foi fornecida ao longo das aulas.
13	28/11	08:45 - 09:30	Revisão	Resolução da lista de exercícios	Resolver exercícios da lista de exercícios em aula para tirar dúvidas dos alunos.
14	02/12	15:00 - 15:45	Prova		

APÊNDICE C - Slides da Aula 1 e 2



Slide 1



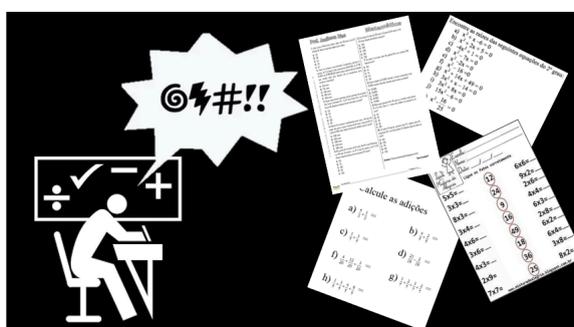
Slide 2



Slide 3



Slide 4



Slide 5



Slide 6



Slide 7



Slide 8



Slide 9



Slide 10



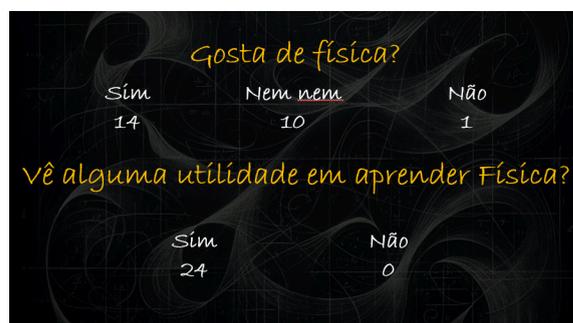
Slide 11



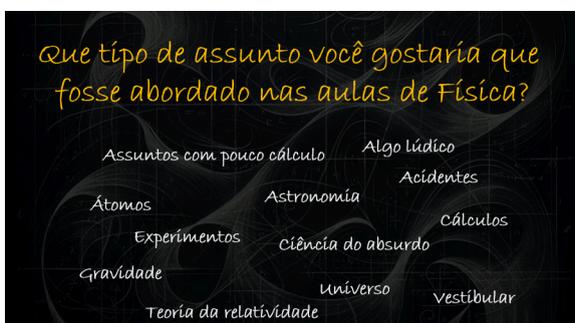
Slide 12



Slide 13



Slide 14



Slide 15



Slide 16

Weimar, 15 de abril de 1787

Prezado Professor Pazetto e equipe,

Escrevo-lhes para buscar auxílio em relação a um fenômeno que, embora fascinante, ainda me escapa. Descobri que, ao friccionar uma placa metálica com um arco de violino e espalhar areia sobre ela, formam-se padrões geométricos que variam conforme a frequência. No entanto, não compreendo como as vibrações podem organizar a areia com tamanha precisão.

Por que certas áreas permanecem imóveis, formando linhas nodais, enquanto outras vibram? Seria uma propriedade intrínseca do material ou algo mais profundo sobre a natureza das ondas? Acredito que, com sua ajuda, possamos elucidar esse mistério.

Aguardo ansiosamente suas reflexões.

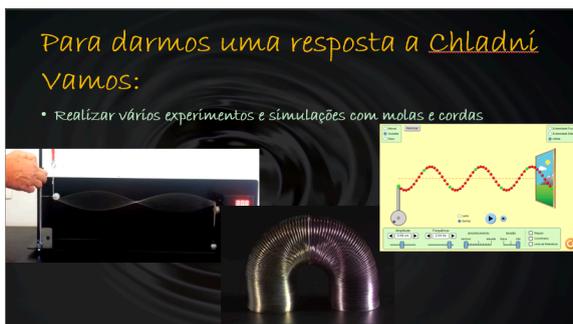
Atenciosamente,

Ernst Chladni

Slide 17

Para darmos uma resposta a Chladni vamos:

- Realizar vários experimentos e simulações com molas e cordas



Slide 18

Para darmos uma resposta a Chladni vamos:

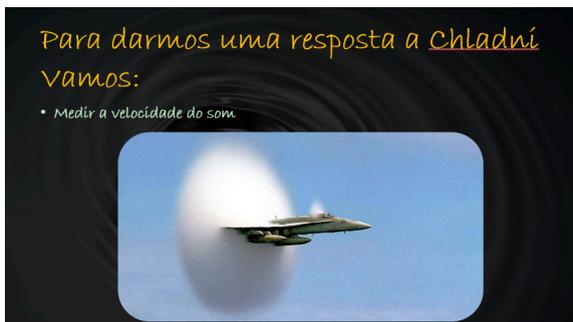
- Estudar como se forma o som em instrumentos musicais e entender porque instrumentos diferentes produzem sons diferentes



Slide 19

Para darmos uma resposta a Chladni vamos:

- Medir a velocidade do som



Slide 20

Para darmos uma resposta a Chladni vamos:

- Estudar como funciona um sonar



Slide 21



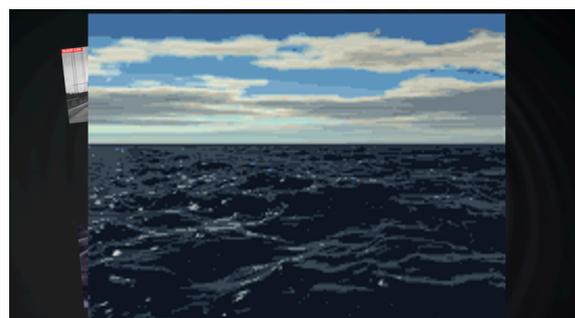
Slide 22



Slide 23



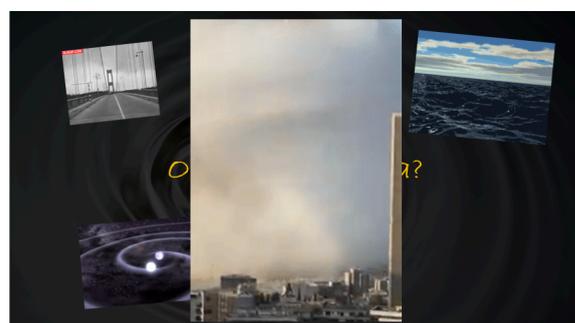
Slide 24



Slide 25



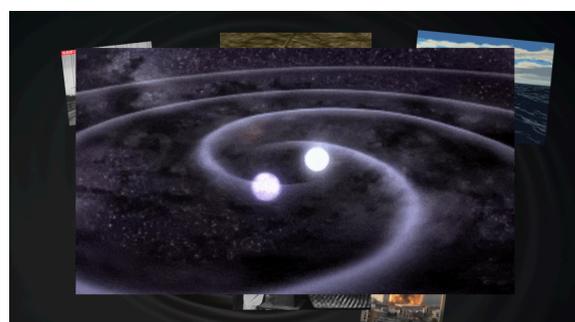
Slide 26



Slide 27



Slide 28



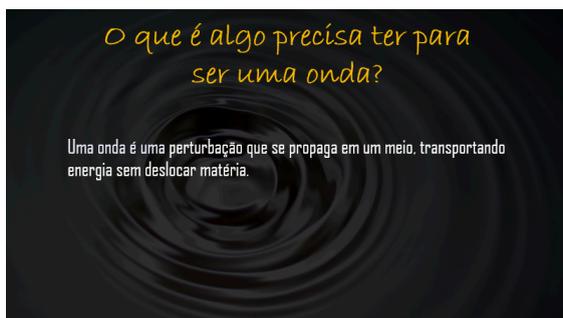
Slide 29



Slide 30



Slide 31



Slide 32



Slide 33

APÊNDICE D - Lista de Exercícios de Ondulatória 1

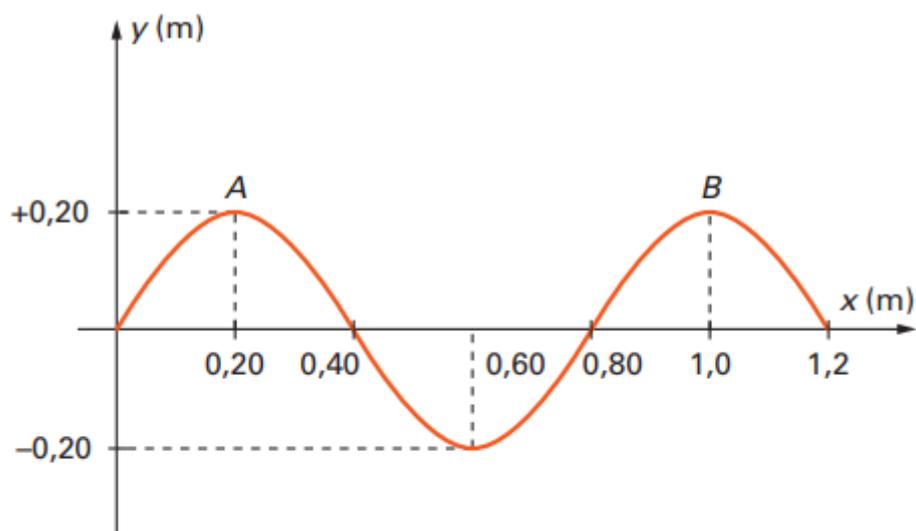
1. Durante uma aula prática, um estudante gera ondas em uma mola. Ele nota que, ao empurrar a mola para frente e para trás na direção de sua extensão, uma onda é criada. O que essa observação indica sobre o tipo de onda?
 - a. A onda gerada é transversal, pois a mola se move lateralmente.
 - b. A onda gerada é longitudinal, pois o movimento da mola é na mesma direção da propagação da onda.
 - c. A onda gerada é transversal, pois o movimento da mola envolve compressão e rarefação.
 - d. A onda gerada não pode ser classificada como longitudinal ou transversal.

2. Quando uma onda sonora viaja através do ar, o que está sendo transportado?
 - a. Apenas matéria.
 - b. Apenas energia.
 - c. Matéria e energia.
 - d. Nem matéria, nem energia.

3. Quando uma onda em uma corda passa através de um ponto no meio da corda, qual das seguintes afirmações é verdadeira?
 - a. A energia e a matéria no ponto são transferidas pela onda.
 - b. Somente a energia é transferida pela onda, não a matéria.
 - c. Somente a matéria é transferida pela onda, não a energia.
 - d. Nem a energia nem a matéria são transferidas.

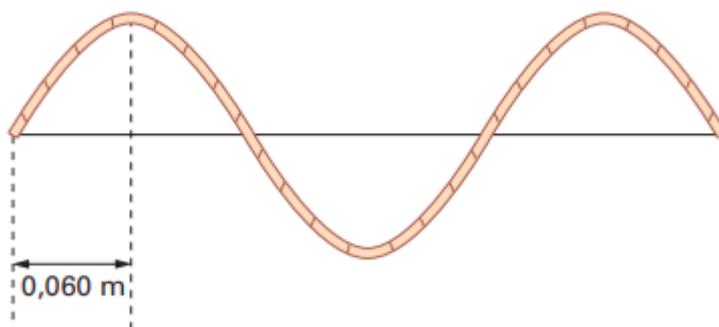
4. Em uma corda vibrando, o que aconteceria com o comprimento de onda se você aumentasse a frequência sem alterar a tensão da corda?
 - a. O comprimento de onda aumentaria.
 - b. O comprimento de onda diminuiria.
 - c. O comprimento de onda permaneceria o mesmo.
 - d. Não é possível determinar sem mais informações.

5. A figura abaixo foi obtida a partir de uma foto instantânea de ondas que percorrem uma corda com velocidade de propagação v



A partir da observação dessa figura, determine:

- a amplitude e o comprimento dessa onda;
 - a frequência e o período da onda.
6. Na figura está representado um trecho de uma onda que percorre com velocidade de propagação $v = 0,12$ m/s, a corda homogênea submetida à tração constante.



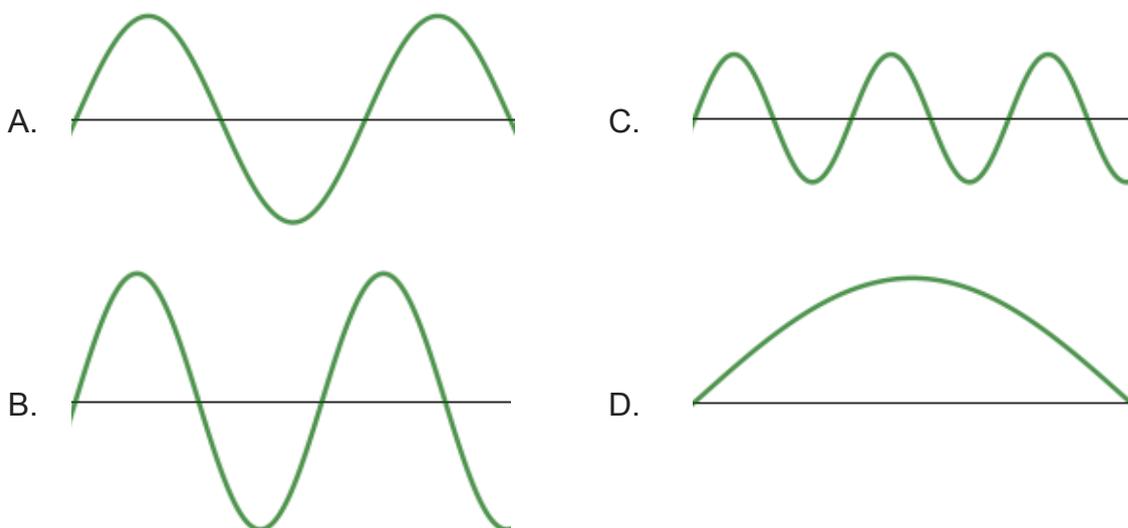
Determine:

- o comprimento de onda e a frequência;
- o comprimento de onda nessa corda se a frequência da fonte tornar-se dez vezes maior.

APÊNDICE E - Prova do 3º bimestre

Nome: _____ Turma: _____

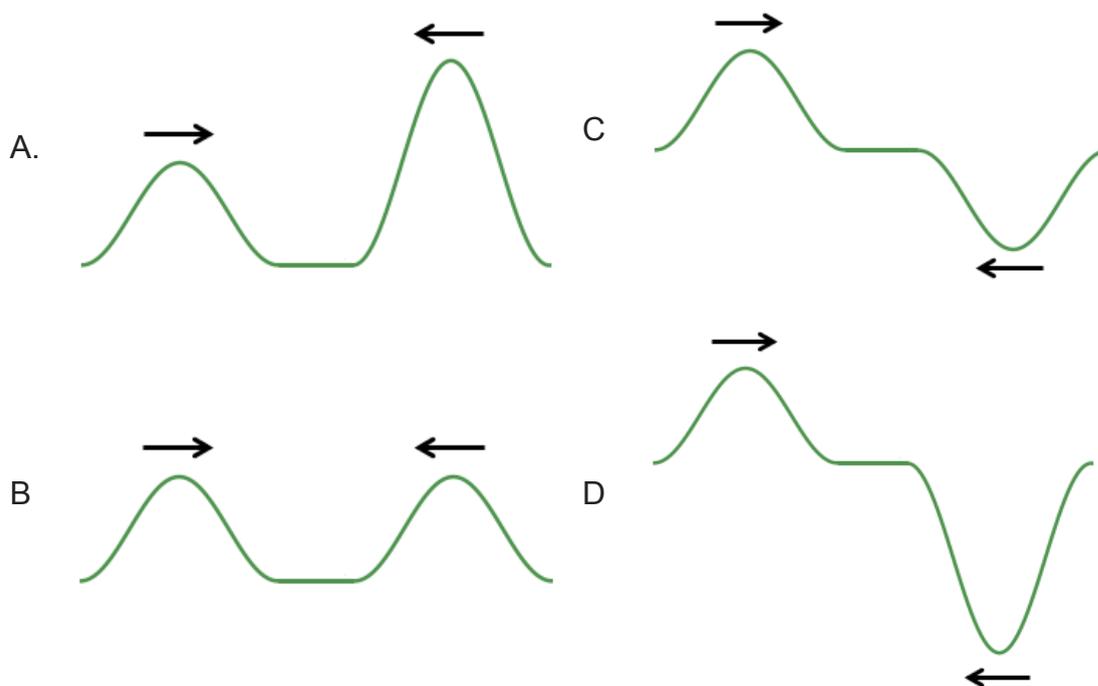
1. (Hewitt, 2015, p. 371) Todas as ondas mostradas abaixo têm a mesma velocidade no mesmo meio.



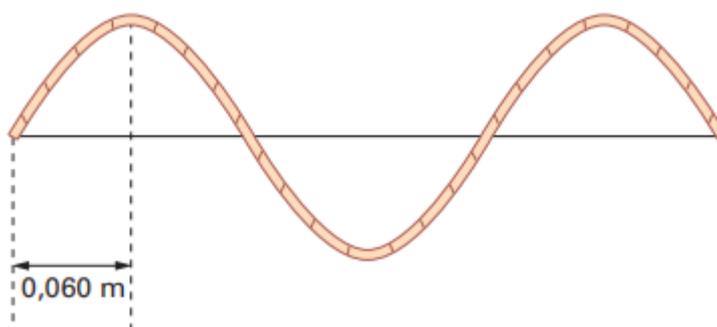
Ordene essas ondas em sequência decrescente de acordo com o valor de sua/seu

- comprimento de onda
 - frequência
 - período.
2. Quando uma onda em uma corda passa através de um ponto no meio da corda, qual das seguintes afirmações é verdadeira?
- A energia e a matéria no ponto são transferidas pela onda.
 - Somente a energia é transferida pela onda, não a matéria.
 - Somente a matéria é transferida pela onda, não a energia.
 - Nem a energia nem a matéria são transferidas.
3. (Hewitt, 2015, p. 389) Suponha que uma onda sonora e outra eletromagnética tenham a mesma frequência e se propaguem no mesmo meio. Qual delas tem o maior comprimento de onda?

4. (Hewitt, 2015, p. 371) Quatro diferentes pares de pulsos de ondas transversais que se movem um em direção ao outro estão mostradas acima à direita. Em algum instante de tempo, os pulsos se encontrarão e interagirão (interferirão) um com o outro. Ordene os quatro casos em sequência decrescente com base na altura do pico que resultará quando os centros dos pulsos coincidirem.



5. Na figura está representado um trecho de uma onda que percorre com velocidade de propagação $v = 0,12\text{m/s}$, a corda homogênea submetida à tração constante.



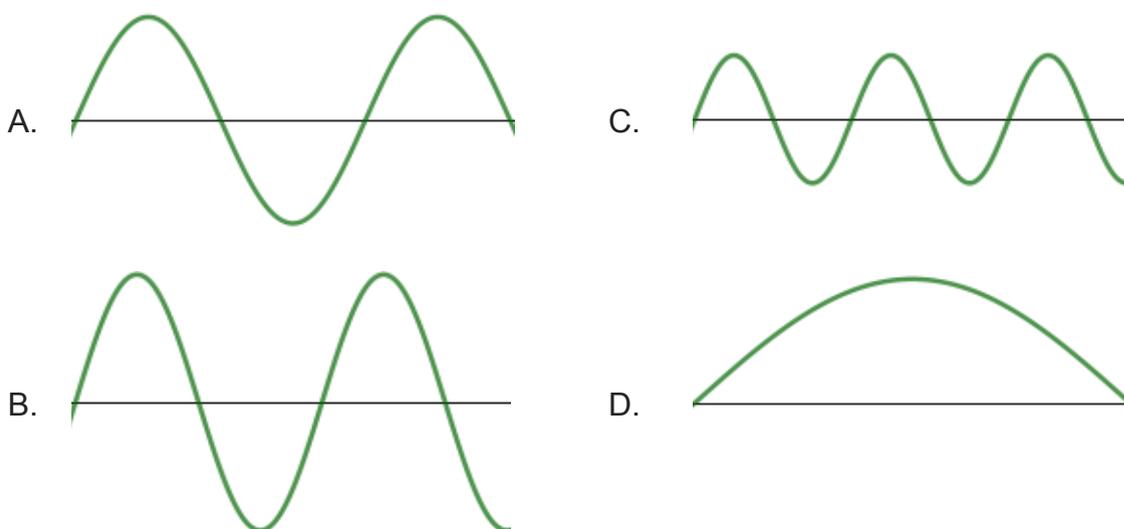
Determine:

- o comprimento de onda e a frequência;
- o comprimento de onda nessa corda se a frequência da fonte tornar-se dez vezes maior.

ANEXO A - Lista de Exercícios de Ondulatória

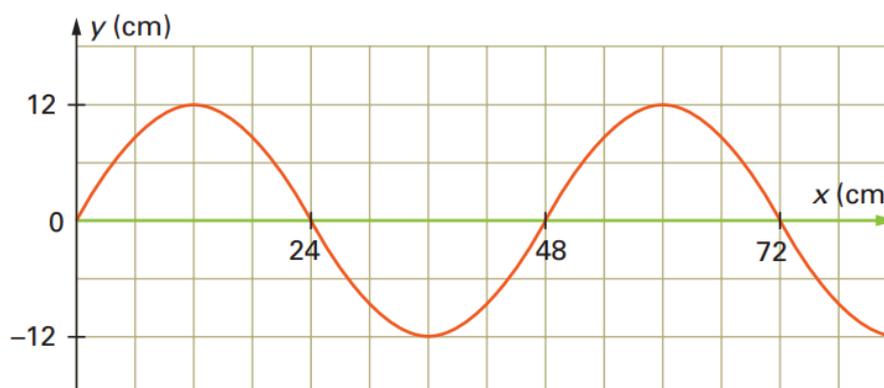
Nome: _____ Turma: _____

1. (HEWITT, 2015, p. 371) Todas as ondas mostradas abaixo têm a mesma velocidade no mesmo meio.



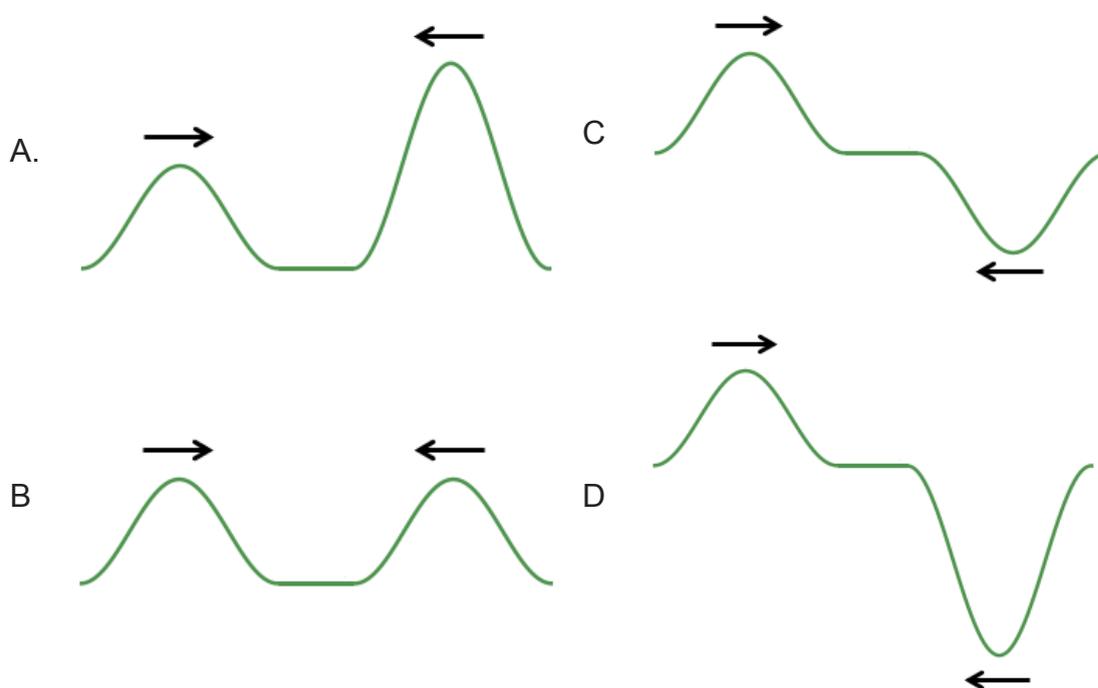
Use uma régua e ordene essas ondas em sequência decrescente de acordo com o valor de sua/seu

- amplitude
 - comprimento de onda
 - frequência
 - período.
2. (Gaspar, 2013, p. 21) A figura a seguir foi obtida a partir de uma foto instantânea de ondas que percorrem uma corda. A frequência da fonte é de 120 Hz.



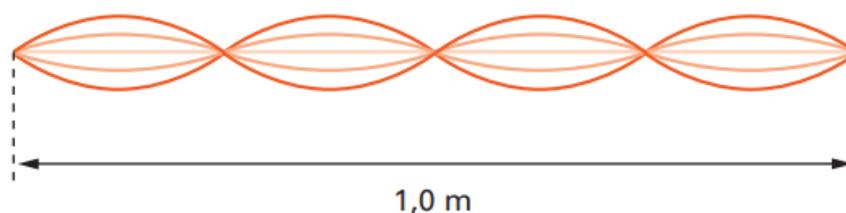
Determine:

- a. a amplitude e o comprimento de onda dessa onda;
 - b. a velocidade de propagação da onda.
3. (Hewitt, 2015, p. 372) Se a velocidade de uma onda dobrar enquanto sua frequência se mantém inalterada, o que acontecerá ao comprimento de onda?
 4. (GASPAR, 2013, p. 21) A proporcionalidade inversa entre a frequência e o comprimento de onda de uma onda é sempre válida? Justifique.
 5. (Hewitt, 2015, p. 372) A luz vermelha tem um comprimento de onda mais longo do que o da luz violeta. Qual delas possui maior frequência?
 6. (Hewitt, 2015, p. 371) Quatro diferentes pares de pulsos de ondas transversais que se movem um em direção ao outro estão mostradas acima à direita. Em algum instante de tempo, os pulsos se encontrarão e interagirão (interferirão) um com o outro. Ordene os quatro casos em sequência decrescente com base na altura do pico que resultará quando os centros dos pulsos coincidirem.



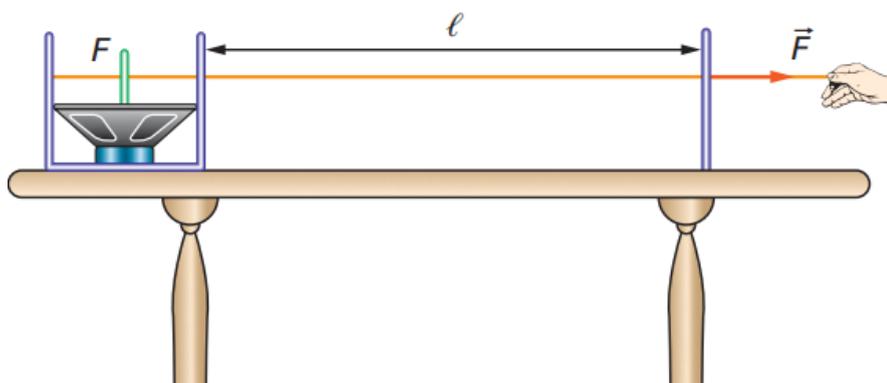
7. (Hewitt, 2015, p. 389) Se a Lua explodisse, por que nós não ouviríamos isso?
8. (Hewitt, 2015, p. 389) Ordene em sequência decrescente os valores de velocidade do som nos seguintes meios:
 - a. Ar

- b. Aço
c. Água
9. (HEWITT, 2015, p. 389) Suponha que uma onda sonora e outra eletromagnética tenham a mesma frequência. Qual delas tem o maior comprimento de onda?
10. (Gaspar, 2013, p. 26) A figura representa uma configuração de ondas estacionárias numa corda de densidade linear $0,015 \text{ kg/m}$, sob tração de módulo igual a $1,5 \text{ N}$. A distância entre as extremidades é de $1,0 \text{ m}$.



Determine:

- a. o comprimento de onda das ondas que formam essa configuração de ondas estacionárias;
b. a frequência dessas ondas componentes;
c. a velocidade de propagação na corda das ondas componentes dessa configuração.
11. (GASPAR, 2013, p. 27) No sistema representado na figura, o fio pode vibrar entre duas extremidades separadas pela distância, $l = 0,50 \text{ m}$. Sabe-se que um rolo de comprimento $\Delta l = 10 \text{ m}$ desse fio tem massa $\Delta m = 120 \text{ g}$.



Determine:

- a. densidade linear desse fio em kg/m ;
b. as frequências naturais de oscilação dessa corda quando submetida a uma tração de módulo 30 N ;

- c. a tração na corda para que se produza nela uma onda estacionária de três ventres, sabendo que a frequência de oscilação do alto-falante é $f_0 = 60\text{Hz}$.