



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
CURSO DE FÍSICA LICENCIATURA

ANA MARIA DA SILVA

ONDAS SONORAS E AUDIÇÃO HUMANA: uma proposta de sequência didática
utilizando a sala de aula invertida

Caruaru
2023

ANA MARIA DA SILVA

ONDAS SONORAS E AUDIÇÃO HUMANA: uma proposta de sequência didática
utilizando a sala de aula invertida

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Física do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de monografia, como requisito parcial para a obtenção do grau de licenciado em Física.

Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez

Caruaru
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Ana Maria da.

Ondas sonoras e audição humana: uma proposta de sequência didática utilizando a sala de aula invertida / Ana Maria da Silva. - Caruaru, 2023.
67. p : il., tab.

Orientador(a): Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Física - Licenciatura, 2023.
Inclui referências, apêndices.

1. Sala de Aula Invertida. 2. Ondas Sonoras. 3. Audição Humana. 4. Sequência Didática. I. Valdés Rodriguez, Ernesto Arcenio . (Orientação). II. Título.

530 CDD (22.ed.)

ANA MARIA DA SILVA

ONDAS SONORAS E AUDIÇÃO HUMANA: uma proposta de sequência didática
utilizando a sala de aula invertida

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Física do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de monografia, como requisito parcial para a obtenção do grau de licenciado em Física.

Aprovada em: 20/10/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Heydson Henrique Brito da Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Diana Patrícia Gomes de Almeida (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, pelo dom da vida e por me ajudar durante toda a caminhada e ser o meu acalento nos dias mais difíceis.

A minha família por todo apoio e incentivo, aos meus queridos amigos Vanessa Karla, Renato Xavier, Emerson Soares, Lucas Costa, Ádriel Dílan, Gustavo Georranys e Gabriela Noronha, por todos os momentos compartilhados, conselhos e risos, grata por vossa amizade.

Ao meu orientador, Professor Ernesto, por toda a paciência e todos os ensinamentos necessários para a conclusão deste trabalho, meu mais sincero obrigada.

RESUMO

Tendo em vista a necessidade de se buscar metodologias de ensino que possam tornar o ensino de Física mais interativo e significativo para alunos do Ensino Médio, pesquisa-se sobre a relação entre o conteúdo de ondas sonoras e a biofísica da audição humana, a fim de desenvolver uma sequência didática para o ensino dessa temática, utilizando a metodologia de sala de aula invertida como estratégia didática. Para tanto, é preciso explorar a relação entre as propriedades físicas das ondas sonoras e os processos físicos e biológicos envolvidos na audição humana, descrever como a metodologia ativa de sala de aula invertida pode ser utilizada para promover o envolvimento ativo dos alunos na aprendizagem de ondas sonoras e percepção auditiva, pesquisar e selecionar materiais audiovisuais e digitais que possam ser utilizados na proposta de sala de aula invertida, e desenvolver atividades práticas que permitam aos alunos aplicar os conceitos aprendidos. Realiza-se, então, um estudo de finalidade básica pura, quanto aos objetivos trata-se de um estudo descritivo e de abordagem qualitativa. Diante disso, verifica-se que a abordagem de sala de aula invertida se mostrou eficaz para a elaboração da sequência didática, dessa forma, a proposta de sequência didática pode contribuir para uma melhor compreensão do conteúdo de ondas sonoras, tornando-o mais atrativo, dinâmico e significativo.

Palavras-chave: sala de aula invertida; ondas sonoras; audição humana; sequência didática.

ABSTRACT

Given the need to look for teaching methodologies that can make physics teaching more interactive and meaningful for high school students, we are researching the relationship between the content of sound waves and the biophysics of human hearing, to develop a didactic sequence for teaching this subject, using the flipped classroom methodology as a didactic strategy. To this end, it is necessary to explore the relationship between the physical properties of sound waves and the physical and biological processes involved in human hearing, describe how the active methodology of the flipped classroom can be used to promote the active involvement of students in learning about sound waves and auditory perception, research and select audiovisual and digital materials that can be used in the flipped classroom proposal and develop practical activities that allow students to apply the concepts learned. This is a study with a purely basic purpose. In terms of objectives, it is a descriptive study with a qualitative approach. Given this, it can be seen that the flipped classroom approach proved to be effective in preparing the didactic sequence. In this way, the proposed didactic sequence can contribute to a better understanding of the content of sound waves, making it more attractive, dynamic, and meaningful.

Keywords: flipped classroom; sound waves; human hearing; didactic sequence.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Princípios constituintes das metodologias ativas.....	14
Figura 2-	Esquema da sala de aula invertida.....	19
Figura 3-	Onda Eletromagnética.....	23
Figura 4-	Onda transversal.....	23
Figura 5-	Onda longitudinal.....	24
Figura 6-	Onda periódica.....	25
Figura 7-	Onda sonora.....	27
Figura 8-	Altura.....	28
Figura 9-	Espectro sonoro.....	28
Figura 10-	Intensidade.....	29
Figura 11-	Sensibilidade do ouvido humano.....	31
Figura 12-	Timbre.....	31
Figura 13-	Anatomia do ouvido humano.....	34
Figura 14-	Ouvido médio.....	35
Figura 15-	Cóclea em corte transversal.....	37
Figura 16-	Cóclea desenrolada.....	38
Figura 17-	Propagação da onda na membrana basilar.....	39
Figura 18-	Frequência na membrana basilar.....	39
Figura 19-	Órgão de Corti.....	40
Figura 20-	Teste Weber e Teste Rinne.....	41
Figura 21-	Tela GeoGebra Materiais.....	44
Figura 22-	Tela inicial Mozaik 3D.....	45
Quadro 1-	Organização esquemática da sequência didática.....	46
Figura 23-	Tirinha sobre propagação do som.....	51
Figura 24-	Ouvindo uma onda senoidal.....	53
Figura 25-	Modelo tridimensional do aparelho auditivo.....	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	METODOLOGIAS ATIVAS.....	13
2.1.1	Sala de aula invertida.....	16
2.2	ONDAS.....	22
2.2.1	Classificação das ondas.....	22
2.2.1.1	Natureza.....	22
2.2.1.2	Direção de vibração.....	23
2.2.1.3	Direção de propagação.....	24
2.2.2	Ondas periódicas.....	24
2.2.3	Ondas harmônicas.....	26
2.2.4	Ondas sonoras.....	26
2.2.5	Velocidade das ondas sonoras.....	27
2.2.6	Percepção das ondas sonoras.....	28
2.2.7	Fenômenos ondulatórios.....	32
2.3	BIOFÍSICA DA AUDIÇÃO HUMANA.....	33
2.3.1	Anatomia e fisiologia do ouvido humano.....	33
2.3.1.1	Ouvido externo.....	34
2.3.1.2	Ouvido médio.....	34
2.3.1.3	Ouvido interno.....	37
2.3.2	Tipos de surdez.....	40
2.3.2.1	Diagnosticando a surdez de condução e sensorineural.....	41
3	PERCURSO METODOLÓGICO.....	43
4	SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	46
4.1	PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	49
4.1.1	Descrição das atividades.....	50
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	60
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63
	APÊNDICE A- QUESTIONÁRIO PERFIL DOS ALUNOS E	
	CONHECIMENTOS PRÉVIOS.....	66

APÊNDICE B- QUESTIONÁRIO AVALIAÇÃO DA PRO- POSTA.....	67
--	----

1 INTRODUÇÃO

A Física não é dissociada de outras ciências, ao contrário disso, está relacionada, por exemplo, a outras disciplinas científicas como a Química e a Biologia. Contrastando com a percepção que os alunos possam ter de que a Física está ligada unicamente à Matemática, esse entendimento equivocado pode ser atribuído a maneira que os conteúdos são tradicionalmente abordados, descontextualizados e com um enfoque puramente matemático. Como aponta Moreira (2021), que no ensino de Física muitas vezes é valorizada a memorização mecânica de fórmulas, definições e respostas certas que serão reproduzidas e logo esquecidas.

Um exemplo disso é o ensino das ondas sonoras, relevante e presente no cotidiano dos alunos, no entanto este conteúdo pode ser apresentado de forma mecânica e descontextualizada. Nessa perspectiva, a BNCC (2018), propõe que haja uma ruptura a esta fragmentação disciplinar do conhecimento, estimulando sua aplicação na realidade e ressaltando a importância do contexto para a atribuição de sentido ao que se aprende, assim como o protagonismo do estudante em seu processo de aprendizagem. Nesse sentido, se faz necessário a adoção de novas metodologias de ensino que promovam uma aprendizagem mais significativa e alinhada às diretrizes educacionais atuais.

Desse modo, a proposta de uma sequência didática para o ensino deste conteúdo a partir de uma abordagem biofísica da audição humana pode ser uma maneira interessante para tornar o estudo desta temática mais atrativa e dinâmica, pois possibilita uma compreensão mais abrangente e contextualizada de como ocorre o processo de produção, propagação e percepção das ondas sonoras pelo aparelho auditivo humano. Além disso, a utilização da sala de aula invertida como estratégia didática pode contribuir para um ensino mais significativo, permitindo que os alunos sejam protagonistas em seu processo de aprendizagem.

Como destacado na BNCC (2018, p. 473),

A contemporaneidade é fortemente marcada pelo desenvolvimento tecnológico. Tanto a computação quanto às tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) estão cada vez mais presentes na vida de todos, não somente nos escritórios ou nas escolas, mas nos nossos bolsos, nas cozinhas, nos automóveis, nas roupas etc. Além disso, grande parte das informações

produzidas pela humanidade está armazenada digitalmente. Isso denota o quanto o mundo produtivo e o cotidiano estão sendo movidos por tecnologias digitais, situação que tende a se acentuar fortemente no futuro.

Portanto, a utilização de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação no contexto educacional são pertinentes para o desenvolvimento da proposta, logo, o *Google Classroom*, como Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), o *software GeoGebra* e o aplicativo de modelos tridimensionais, *Mozaik 3D*, foram empregados com o objetivo de potencializar o processo de ensino e aprendizagem.

Isto posto, indaga-se: Como elaborar uma sequência didática de acordo com a abordagem metodológica de sala de aula invertida sobre a temática de ondas sonoras associado ao processo de percepção auditiva?

Logo, o objetivo geral do presente trabalho é criar uma sequência didática para o ensino de ondas sonoras a partir de uma abordagem biofísica da audição humana utilizando a metodologia de sala de aula invertida.

Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos : explorar a relação entre as propriedades físicas das ondas sonoras e os processos físicos e biológicos envolvidos na audição humana, descrever como a metodologia ativa de sala de aula invertida pode ser utilizada para promover o envolvimento ativo dos alunos na aprendizagem de ondas sonoras e percepção auditiva, pesquisar e selecionar materiais audiovisuais e digitais que possam ser utilizados na proposta de sala de aula invertida, e desenvolver atividades práticas que permitam aos alunos aplicar os conceitos aprendidos.

No capítulo 2, discorreremos inicialmente sobre a metodologia ativa da sala de aula invertida, em seguida apresentamos os principais conceitos relacionados às ondas sonoras, e por fim, exploramos a biofísica da percepção sonora. A associação desses elementos forma a base teórica que fundamenta a elaboração da proposta de sequência didática que utiliza a sala de aula invertida para ensinar de forma significativa e envolvente o conteúdo de ondas sonoras sob a perspectiva da audição humana.

O capítulo 3, trata do percurso metodológico deste trabalho, adotamos um estudo de abordagem básica pura, descritivo e qualitativo para atingirmos nosso objetivo. Descrevemos os passos desenvolvidos para a construção da sequência didática e quais recursos tecnológicos foram utilizados.

O capítulo 4 deste trabalho é dedicado à apresentação de nossa proposta de sequência didática. Descrevemos todas as atividades e os passos para sua implementação, assim o leitor poderá ter uma melhor compreensão de como planejamos ensinar e envolver os alunos no estudo deste importante conteúdo.

No capítulo 5, analisamos e discutimos a respeito da sequência didática proposta, avaliamos seu potencial e adequação na promoção de um ensino mais significativo e envolvente. E por fim, o capítulo das considerações finais, onde ressaltamos as contribuições que este trabalho pode fornecer ao ensino de Física, como também sugerimos direções para pesquisas futuras. Diante do que foi apresentado, podemos afirmar que os objetivos foram atendidos e a pergunta de pesquisa devidamente respondida, à medida que a sequência didática foi cuidadosamente desenvolvida e apresentada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, abordaremos a metodologia ativa de sala de aula invertida e sua aplicação no ensino de ondas sonoras em uma abordagem biofísica da audição humana. Exploramos como essa abordagem de ensino pode contribuir para a aprendizagem e desenvolvimento de habilidades nos alunos, destacando os benefícios e desafios em adotar essa abordagem. Além disso, apresentamos os principais conceitos relacionados ao conteúdo de ondas sonoras e sua relação com o sentido da audição humana, integrando esses elementos com o intuito de criar uma experiência mais envolvente de aprendizagem.

2.1 METODOLOGIAS ATIVAS

As metodologias ativas têm se destacado como propostas inovadoras de ensino, se contrapondo ao modelo tradicional de ensino, onde este é centrado no docente e na transmissão de conteúdo, e os alunos assumem uma postura passiva, memorizando e reproduzindo o que lhe foi transmitido (Diesel; Baldez; Martins, 2017).

No ensino ativo, o aluno é estimulado a desempenhar uma atitude ativa em seu processo de aprendizagem, conforme é afirmado por Moran (2018, p. 41) quando diz que “as metodologias ativas dão ênfase ao papel protagonista do aluno, ao se envolvimento direto, participativo e reflexivo em todas as etapas do processo, experimentando, desenhando, criando, com orientação do professor; [...]”.

Ainda segundo este autor, nesta modalidade de ensino, o professor também tem seu papel modificado, passa a atuar como orientador ou mentor, ajudando os alunos a progredirem naquilo que não conseguiriam sozinhos, motivando, questionando e orientando.

Dentro desta abordagem de ensino, as TDIC têm estado cada vez mais presentes, uma vez que estas fazem parte do cotidiano dos alunos, portanto não faz sentido ignorá-las, logo,

[...] é absurdo educar de costas para um mundo conectado, educar para uma vida bucólica, sustentável e progressista baseada só em tempos e encontros presenciais e atividades analógicas (que são, também, importantes) (Moran, 2018, p. 51).

Para esclarecer o que é uma abordagem baseada em metodologias ativas no ensino, é apresentado a Figura 1, que sintetiza seus princípios básicos.

Figura 1- Princípios constituintes das metodologias ativas



Fonte: Diesel; Baldez; Martins (2017, p. 273).

De acordo com Diesel, Baldez e Martins (2017) os princípios que constituem as metodologias ativas de ensino são os seguintes:

- **Aluno: centro do processo de aprendizagem:** nesta perspectiva que se fundamenta as metodologias ativas, coloca os estudantes no centro do processo, tirando-os da posição passiva de mero espectador. Com a adoção de metodologias ativas de ensino, ocorre uma maior interação dos alunos no processo de construção do próprio conhecimento, o que lhes confere maior controle e participação efetiva em sala de aula.
- **Autonomia:** os alunos são incentivados a assumir uma postura mais ativa e participativa no processo de aprendizagem, construindo seus próprios conhecimentos.
- **Problematização da realidade e reflexão:** o método ativo é uma concepção educacional que busca estimular processos de ensino e aprendizagem críticos e reflexivos, nos quais o estudante desempenha um papel ativo e se torna corresponsável por sua aprendizagem. Ao criar situações de aprendizagem que envolvam a problematização da realidade em que o estudante está inserido, e ao permitir que ele assuma papel protagonista no processo de aprendizagem, interagindo com o conteúdo por meio da escuta, da fala, de perguntas e

discussões, ele exerce diferentes habilidades, como reflexão, observação, comparação, inferência, entre outras, em vez de simplesmente ouvir aulas expositivas, que muitas vezes são mais monológicas do que dialógicas.

- **Trabalho em equipe:** a adoção de metodologias ativas de ensino possibilita uma interação constante entre os estudantes.
- **Inovação:** para superar o modelo tradicional de ensino, é necessário valorizar a inovação, o que pode ser alcançado com a renovação, invenção ou criação de metodologias pedagógicas.
- **Professor: mediador, facilitador, ativador:** Em um contexto de utilização de metodologias ativas, é importante que primeiramente, o professor assuma uma postura investigativa de sua própria prática pedagógica. É importante destacar que a mudança na abordagem de ensino não seja uma imposição para os alunos e professores, todos devem estar abertos a conhecer e experimentar o novo.

Assim, as estratégias de ensino baseadas nas metodologias ativas de ensino, apresentam como características principais, o aluno como centro do processo de aprendizagem, o estímulo a autonomia dos alunos, incentivo a problematização da realidade e à reflexão, ao trabalho em equipe e à inovação, e o professor como mediador, facilitador, ativador do processo de ensino e aprendizagem.

As metodologias ativas podem ser trabalhadas em diferentes níveis de ensino e áreas de conhecimento, dentre as principais estratégias de ensino ativa, podemos citar, a aprendizagem baseada em problemas, *just in time* (ensino sob medida), *peer instruction* (instrução pelos colegas), três momentos pedagógicos (3M) e a sala de aula invertida (Stuart, 2019), esta última é objeto de estudo deste trabalho, a qual veremos mais a respeito na seção seguinte.

As metodologias ativas não são uma substituição completa do modelo tradicional de ensino, mas uma complementação deste e formas inovadoras de abordagens pedagógicas. Assim, professores interessados em inovar sua prática docente, irão adequar essas metodologias às suas disciplinas e contextos, explorando suas potencialidades para a promoção de uma educação mais efetiva.

2.1.1 Sala de aula invertida

A sala de aula invertida (do inglês *flipped classroom*) é um modelo de ensino onde “o que tradicionalmente é feito em sala de aula, agora é executado em casa, e o que tradicionalmente é feito em casa, agora é realizado em sala de aula” (Bergmann; Sams, 2018, p. 29), isto é, o conteúdo e as instruções sobre determinado assunto, não é mais transmitido pelo docente em sala de aula, este material será estudado pelos alunos em diferentes ambientes e situações, a sala de aula passa a ser o lugar de aprender ativamente, em momentos de interação, colaboração e envolvimento com as tecnologias digitais (Valente, 2014).

Nesta abordagem de ensino, o papel do professor e do aluno sofrem transformações para atender às demandas exigidas desta modalidade de ensino. Enquanto o aluno assume uma postura mais participativa e autônoma na construção de seu conhecimento, o professor passa a atuar como mediador do processo de aprendizagem (Schneiders, 2018).

O acesso antecipado dos alunos com o material a ser trabalhado em sala de aula, pode ser através de vídeos, textos e outros recursos que o professor queira disponibilizar online. Com este estudo prévio o tempo em sala de aula é direcionado a aplicação dos conceitos estudados, em discussões, resolução de problemas, experimentos, simulações computacionais, entre outros.

Vale ressaltar que a abordagem sala de aula invertida é mais do que simplesmente ter a instrução direta através de vídeos em casa e em sala de aula fazer as atividades propostas pelo professor, implica em uma aprendizagem invertida.

A aprendizagem invertida pode ser entendida como uma abordagem pedagógica onde a instrução direta passa do espaço de aprendizagem em grupo para o espaço de aprendizagem individual, enquanto o espaço em sala de aula é transformado em um ambiente de aprendizagem dinâmico e interativo, onde o professor orienta os alunos na aplicação dos conceitos e na participação criativa destes com o assunto (Flipped Learning Network, 2014).

Dessa forma, para que haja uma aprendizagem invertida, o *Flipped Learning Network* (FLN), organização sem fins lucrativos, responsável pela divulgação de conceitos sobre aprendizagem invertida, recomenda aos professores a implementação de quatro pilares fundamentais em sua prática, representados pela sigla FLIP:

- 1) **Ambiente flexível** (*Flexible environment*): Aprendizagem invertida permite uma variedade de modos de aprendizagem; os educadores criam espaços flexíveis nos quais os alunos escolhem quando e onde aprender. Além disso, os educadores que invertem as aulas são flexíveis nas suas expectativas em relação à sequência de aprendizagem dos alunos e as avaliações da aprendizagem.
- 2) **Cultura de aprendizagem** (*Learning culture*): No modelo tradicional centrado no professor, este é a principal fonte de informação. Por outro lado, o modelo de Aprendizagem Invertida muda deliberadamente o ensino para uma abordagem mais centrada na aprendizagem, onde o tempo da aula é dedicado à exploração de tópicos com maior profundidade e à criação de ricas oportunidades de aprendizagem. Como resultado, os alunos estão ativamente envolvidos na construção do conhecimento, à medida que participam e avaliam a sua aprendizagem de uma forma que seja pessoalmente significativa.
- 3) **Conteúdo Intencional** (*Intentional content*): Os educadores pensam continuamente sobre como podem usar o modelo de aprendizagem invertida para ajudar os alunos a desenvolver compreensão conceitual. Eles determinam o que precisam ensinar e quais materiais os alunos devem explorar por conta própria. Os educadores usam conteúdo intencional para maximizar o tempo de aula, a fim de adotar métodos de estratégias de aprendizagem ativas e centradas no aluno.
- 4) **Educador Profissional** (*Professional educator*): O papel de um educador profissional é ainda mais importante, e muitas vezes mais exigente, em uma sala de aula flexível do que em uma sala de aula tradicional. Durante o horário de aula, eles observam continuamente seus alunos, fornecendo *feedback* relevante no momento e avaliando seu trabalho. Os educadores profissionais são reflexivos na sua prática, interagem entre si para melhorar o seu ensino e aceitam críticas. Embora os educadores profissionais assumam papéis menos proeminentes na sala de aula invertida, eles continuam a ser o ingrediente essencial que permite a aprendizagem invertida.

Embora tenha se popularizado com Bergmann e Sams (2018) a utilização de vídeos para a instrução direta fora do ambiente escolar, outros recursos podem ser utilizados como a leitura de textos, por exemplo. No entanto, para nossa proposta de sequência didática, esta estratégia será utilizada, uma vez que os vídeos permitem

aos alunos pausar ou assistir quantas vezes desejarem, respeitando seu ritmo de aprendizagem.

Não existe uma única forma de inverter a aula, segundo estes autores, conceitos de seu livro foi aplicado por outros professores, no entanto não utilizaram os vídeos como ferramenta didática, mas são adeptos do método da sala de aula invertida. Assim, cabe ao professor aplicar essa abordagem de ensino de acordo com a realidade da comunidade escolar.

A sala de aula invertida é considerada uma modalidade do ensino híbrido, o qual segundo Valente (2014), trata-se de uma abordagem pedagógica, onde as atividades presenciais e aquelas realizadas por meio das tecnologias digitais são combinadas.

Diante disto, a integração das tecnologias no ensino deve ser feita de forma crítica e criativa, com o objetivo de desenvolver autonomia e reflexão em todos os envolvidos no processo de ensino, de modo que estes não sejam apenas receptores de informações (Bacich; Neto; Trevisani, 2015).

Pois a integração das tecnologias no ensino deve ser feita de maneira estratégica para aprimorar o processo de ensino e aprendizagem, visto que a tecnologia por si só não garante aprendizagem, tampouco supera velhos paradigmas (Diesel; Baldez; Martins, 2017).

A utilização de ferramentas tecnológicas, aproxima esta metodologia com a realidade dos alunos, pois estes estão cada vez mais inseridos no ambiente virtual, e possuem “dispositivos de computação mais poderosos do que grande parte dos computadores existentes em nossas escolas subfinanciadas” (Bergmann; Sams, 2018, p. 35). Contudo, os autores recomendam o uso das tecnologias quando estas forem as ferramentas adequadas para a tarefa a ser executada.

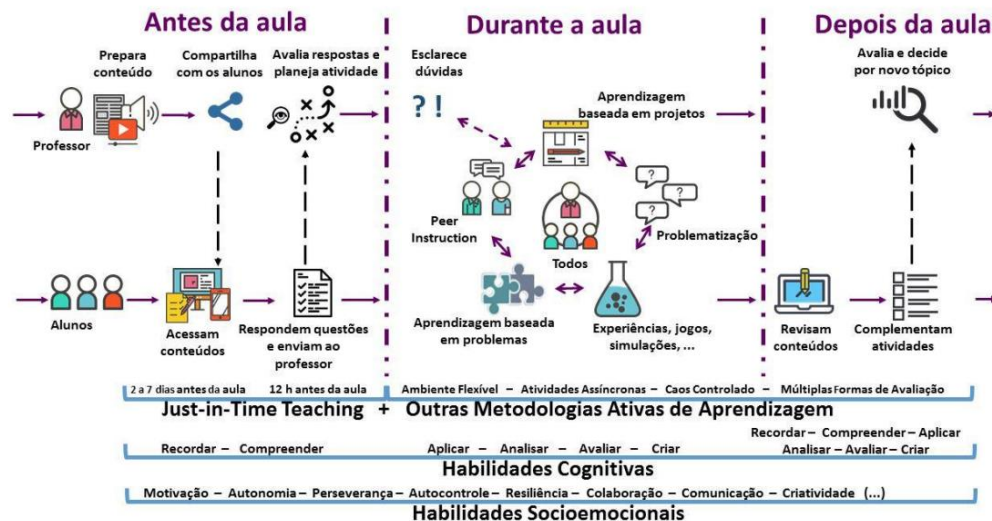
Para implementar a sala de aula invertida em sua prática, o professor precisa de um bom planejamento e uma sequência de atividades bem estruturada, podendo elaborar seu próprio material ou utilizar de terceiros, seja virtual ou físico. Escolhido os materiais didáticos, estes devem ser hospedados em um ambiente virtual de aprendizagem (AVA) para serem acessados pelos alunos onde e quantas vezes acharem necessário.

O próximo passo é preparar atividades práticas que os alunos possam realizar em sala de aula, como discussões em grupo, resolução de problemas, projetos

colaborativos, simulações, experimentos, entre outros, considerando o conteúdo disponibilizado no AVA.

A Figura 2, apresenta um modelo da estrutura da sala de aula invertida.

Figura 2- Esquema da sala de aula invertida



Fonte: Schmitz (2016, p. 80).

Conforme a figura 2, é apresentado um ciclo de três momentos, antes da aula, durante a aula e depois da aula.

- **Antes da aula:** neste momento os alunos têm acesso antecipado ao material disponibilizado no AVA, para se prepararem para as atividades em sala de aula, podendo assistir videoaulas, ler textos, responder perguntas sobre o material de explanação do conteúdo, participar de um fórum de discussão, e elaborar perguntas adequadas sobre o conteúdo do material de estudo, pois segundo Oliveira, Araújo e Veit (2016), ao fazer isso o professor está estimulando o desenvolvimento da capacidade de reflexão e habilidade de elaboração de perguntas. Além disso, é neste momento que,

As dificuldades e dúvidas enfrentadas pelos alunos em seus estudos em casa são levadas ao conhecimento do professor, que as usa para planejar as atividades a serem realizadas nos encontros presenciais. As dúvidas e erros percebidos na fase de preparação são ponto de partida e combustível para as discussões em classe (Oliveira; Araújo; Veit, 2016, p. 6).

- **Durante a aula:** inicialmente, o professor dedica alguns minutos da aula para discussão sobre o vídeo visto em casa, esclarecendo dúvidas e concepções equivocadas, podendo identificar se fizeram o estudo e as dificuldades com o material e/ou as ferramentas digitais utilizadas.

Depois do professor responder às perguntas, os alunos devem realizar as atividades práticas em sala de aula, neste momento outras metodologias ativas podem ser integradas, como aprendizagem baseadas em problemas, aprendizagem baseada em projetos, *peer instruction*, e outras.

Na sala de aula, o professor irá observar e participar das atividades que contribuem para a significação do material estudado previamente, dessa maneira o *feedback* do professor é importante para esclarecer equívocos (Valente, 2014).

- **Depois da aula:** nos pós aula os alunos revisam o conteúdo, e o professor avalia os alunos e decide por novo tópico.

Como podemos observar na figura 2, esta abordagem possibilita aos estudantes o desenvolvimento de habilidades cognitivas, como por exemplo, antes da aula, através dos vídeos, recordar e compreender conceitos, expressões entre outros. Durante a aula, aplicar, analisar, avaliar e criar, pois, neste momento são discutidos conceitos, dúvidas esclarecidas, resolução de problemas e elaboração de projetos. E no momento pós aula, os alunos devem recordar, compreender, aplicar, avaliar, analisar e criar, quando revisa o conteúdo e se aprofunda nos estudos.

Habilidades socioemocionais também são desenvolvidas, como a motivação, autonomia, perseverança, autocontrole, resiliência, colaboração, comunicação e criatividade, as quais fazem parte do conjunto de habilidades apontadas pela OCDE, como essenciais à formação profissional dos jovens, para que estes tenham sucesso em um mercado de trabalho em constante mudança (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2002 *apud* Schmitz, 2016).

Na sala de aula invertida a avaliação é um processo contínuo, isto é, em todas as aulas o professor avalia constantemente o aprendizado do aluno fornecendo o *feedback* imediato ajudando-o em seu processo de aprendizagem (Bergmann; Sams, 2018).

Estes autores citam algumas razões para a inversão das aulas, dentre elas podemos citar, que a inversão fala a língua dos alunos de hoje, no que diz respeito ao uso das tecnologias; ajuda alunos que enfrentam dificuldades, pois a atenção do

professor se volta a eles, já que solicitam mais ajuda; cria condições para os alunos pausar e rebobinar o professor, assim podem assimilar as exposições em seu próprio ritmo; intensifica a interação aluno-professor, conhecendo melhor seus alunos; aumenta a interação aluno-aluno, à medida que trabalham colaborativamente.

Valente (2014) apresenta algumas críticas a este método de ensino, como por exemplo, o modelo ser dependente da tecnologia, podendo criar um ambiente desigual de aprendizagem. Antes da implementação da sala de aula invertida é importante a verificação de acesso à internet e a dispositivos necessários para acessar o conteúdo, no entanto, caso não seja possível o uso de tecnologias digitais, o método ainda pode ser aplicado, pois a proposta é flexível e adaptável a diferentes contextos educacionais, permitindo a utilização de materiais impressos, recursos offline e experimentos.

Outro ponto abordado é o fato do aluno não se preparar antes da aula, não conseguindo acompanhar o que acontece em sala de aula. Nesta situação, Bergmann e Sams (2018) recomendam que estes alunos assistam ao vídeo na sala de aula, contudo, acabam perdendo um tempo precioso de interação com o professor e colegas, e voltam a fazer as lições em casa, porém os autores acreditam que logo esses alunos perceberão que é melhor ter a presença do professor enquanto realizam as atividades, levando-os a assistir aos vídeos no momento adequado.

Outra questão é o barateamento do processo educacional, com professores menos qualificados encarregados de avaliar a aprendizagem dos alunos aos materiais disponibilizados. Porém, a inversão da aula exige um professor bem qualificado, pois “torna-se responsável por criar, selecionar e organizar o estudo, bem como auxiliar os estudantes sanando as dúvidas deles e concentrando mais atenção às especificidades de cada um nos encontros presenciais (Oliveira; Araújo; Veit, 2016, p. 5).

Pesquisas em ensino de física mostram que a abordagem de sala de aula invertida proporcionou um maior envolvimento dos alunos no processo de aprendizagem, contribuindo para um aumento da autonomia dos estudantes e uma maior interação tanto entre eles, quanto entre eles e a professora (Confortin; Ignácio; Costa, 2018). Além disso, proporcionou um novo agir do professor frente ao planejamento, desenvolvimento e avaliação da aprendizagem dos alunos, como também saber lidar com desafios técnicos referentes ao uso de tecnologias nas atividades em sala de aula (Silva, 2018). Também foi observado que a utilização das tecnologias digitais desempenhou um papel de facilitador no processo de ensino e aprendizagem, e a

utilização de vídeos combinados com as atividades práticas em sala de aula, contribuiu de maneira satisfatória para a aprendizagem dos alunos (Brusdzinski; Belmonte; Tavares, 2022).

Em resumo, a sala de aula invertida é uma abordagem que enfatiza a participação ativa dos alunos no processo de ensino e aprendizagem. Compreender o funcionamento desta abordagem metodológica é fundamental para entendermos como utilizá-la para o ensino de ondas sonoras e biofísica da audição humana.

2.2 ONDAS

Nesta seção são apresentados os principais conceitos relacionados às ondas sonoras, como a frequência, amplitude, altura e intensidade. Somado a isto, discutiremos sobre os fenômenos físicos que afetam a propagação dessas ondas, como a reflexão, refração e difração.

Segundo Young e Freedman (2008, p. 103) “uma onda surge quando um sistema é deslocado de sua posição de equilíbrio e a perturbação se desloca ou se propaga de uma região a outra do sistema”, transportando energia e quantidade de movimento linear, não transportando matéria.

2.2.1 Classificação das ondas

As ondas são classificadas quanto à sua natureza, à direção de vibração e à direção de propagação.

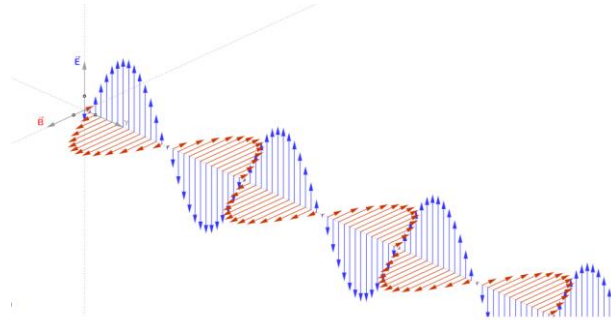
2.2.1.1 Natureza

São classificadas em ondas mecânicas e eletromagnéticas. As **ondas mecânicas** são aquelas que precisam de um meio material para se propagar, meios como a água e o ar, são exemplos desse tipo de onda, as ondas em uma corda, as ondas do mar e as ondas sonoras (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

Já as **ondas eletromagnéticas** (Figura 3) são formadas por campos elétricos e magnéticos oscilantes e variáveis, estes são perpendiculares entre si e perpendiculares em relação à direção de propagação da onda. É um tipo de onda a qual sua propagação não depende de um meio material para ocorrer, viajam no vácuo com a

rapidez c , uma constante universal, de valor $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Á exemplo, temos a luz visível, a radiação ultravioleta, a radiação infravermelha, os raios X, as ondas de rádio etc.

Figura 3- Onda Eletromagnética



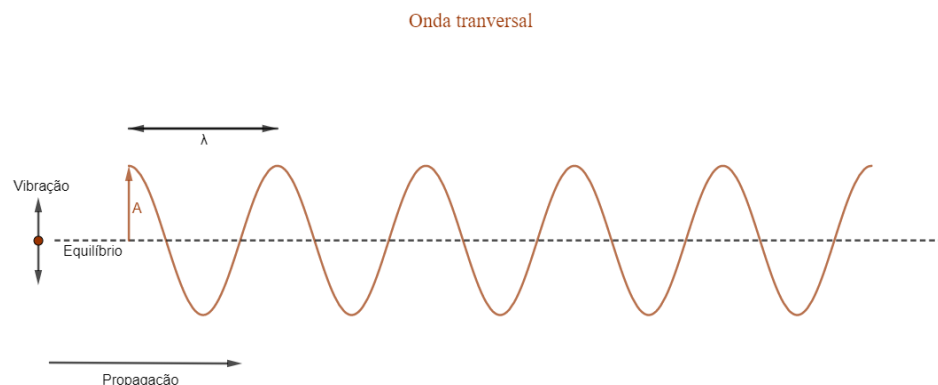
Fonte: Medeiros (2019).

2.2.1.2 Direção de vibração

As ondas podem ser categorizadas em ondas transversais e longitudinais, são assim nomeadas conforme a direção de vibração das partículas do meio onde a onda se propaga.

Ondas transversais (Figura 4) são aquelas cuja direção de propagação é perpendicular a direção do movimento das partículas do meio, por exemplo, quando uma onda se propaga em uma corda esticada, as partículas desta, oscilam em uma direção transversal à direção de propagação da onda (Tipler; Mosca, 2009).

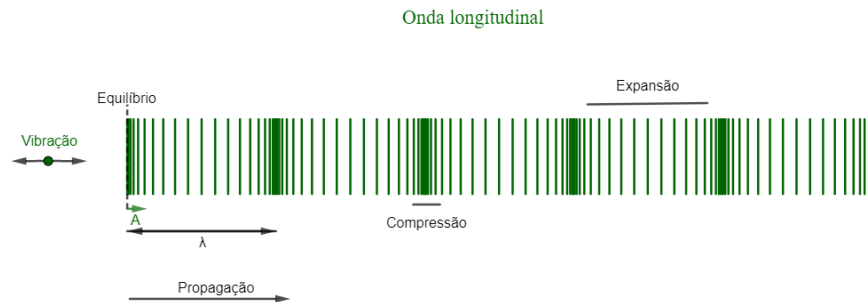
Figura 4- Onda transversal



Fonte: Autora (2023).

Ondas longitudinais (Figura 5), por sua vez, se propagam na mesma direção em que as partículas do meio oscilam, à medida que a onda se propaga no meio as partículas do meio passam por regiões de compressões e expansões, as ondas sonoras são exemplos de ondas longitudinais (Young; Freedman, 2008).

Figura 5- Onda longitudinal



Fonte: Autora (2023).

2.2.1.3 Direção de propagação

Quanto à direção de propagação são classificadas em ondas unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais.

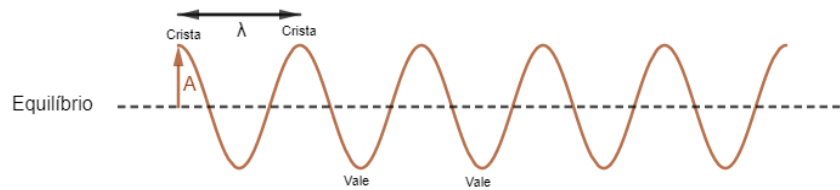
Ondas **unidimensionais** são aquelas que se propagam em uma única direção, como as ondas em uma corda, e as **bidimensionais** são as ondas que se propagam em duas direções, isto é, uma superfície, como as ondas produzidas em um lago quando lhe é jogado uma pedra. Já as ondas **tridimensionais** são as ondas que se propagam em todas as direções, por exemplo, a luz e o som.

2.2.2 Ondas periódicas

São ondas produzidas por uma fonte que realiza um movimento periódico, isto é, que se repete em intervalos de tempos iguais. Considerando uma corda esticada, um movimento realizado pela mão produz um pulso, uma perturbação isolada, se esse movimento for realizado repetidas vezes, movimento periódico, teremos uma sucessão de pulsos, produzindo então uma onda periódica. As partículas da corda, por sua vez, também realizam um movimento periódico conforme a onda se propaga (Young; Freedman, 2008).

Neste caso, temos que a forma da onda na corda, apresenta determinadas propriedades e características, como amplitude A , comprimento de onda λ , frequência f e período T , como apresentado na Figura 6.

Figura 6- Onda periódica



Fonte: Autora (2023).

- **Amplitude (A)** é o maior afastamento em relação a posição de equilíbrio, amplitude também representa o transporte de energia, portanto, quanto maior a amplitude da onda maior será o transporte de energia.
Os pontos de maior afastamento da onda em relação à posição de equilíbrio são chamados de **cristas**, pontos mais altos da onda, e de **vales** os pontos mais baixos da onda.
- **Comprimento de onda (λ)** é a distância entre duas cristas consecutivas ou dos vales consecutivos.
- **Frequência (f)**, medida em Hertz (hz), corresponde ao número de oscilações produzidas em um determinado intervalo de tempo.
- **Período (T)** é o tempo necessário para que uma oscilação seja executada completamente.

A frequência e o período estão relacionados inversamente pela Equação 1:

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

A forma da onda se desloca com uma velocidade constante dada por:

$$v = \lambda f \quad (2)$$

desse modo λ e f são grandezas inversamente proporcionais e v depende apenas das características físicas do meio.

2.2.3 Ondas harmônicas

As ondas harmônicas são um tipo especial de ondas periódicas, onde a forma da onda se repete de maneira exata a cada ciclo da onda. Podem ser representadas matematicamente pelas funções seno ou cosseno, sendo chamada de onda senoidal, de modo que, qualquer partícula do meio, no qual a onda se propaga, oscila em movimento harmônico simples em torno de sua posição de equilíbrio (Young; Freedman, 2008). A função de onda senoidal que descreve o deslocamento da partícula em relação ao tempo é dada por:

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t) \quad (3)$$

Onde k é o número de onda calculado por $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, e ω é a frequência angular, que está relacionada com a frequência f por:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (4)$$

As considerações feitas são válidas para as ondas periódicas transversais e longitudinais.

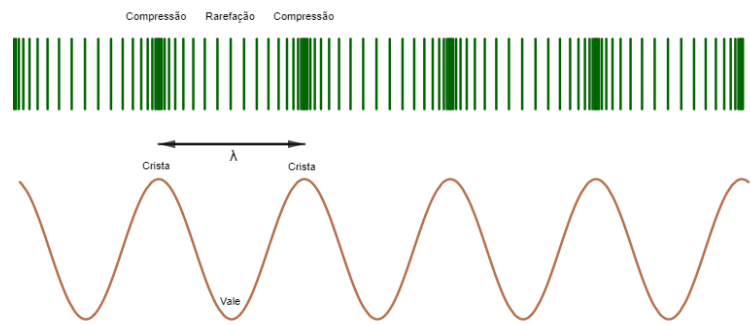
2.2.4 Ondas sonoras

As ondas sonoras são ondas mecânicas, longitudinais e tridimensionais, embora sejam capazes de se propagar por diferentes meios, destacamos neste trabalho sua propagação no ar.

Quando uma onda sonora é produzida, por exemplo ao tocar um tambor, as vibrações da membrana do tambor causam variações de pressões no ar, isto é, regiões de rarefação e compressão que se propagam como ondas progressivas. Assim “as ondas sonoras mais simples são as ondas senoidais, as quais possuem valores definidos para a amplitude, a frequência e o comprimento de onda” (Young; Freedman, 2008 p. 140).

Dessa forma, a onda sonora (Figura 7) pode ser expressa matematicamente por uma função seno ou cosseno, considerando a onda se propagando no sentido positivo do eixo x .

Figura 7- Onda sonora



Fonte: Autora (2023).

De acordo com a figura 7, vemos que a crista e o vale da senoide corresponde à região de compressão e rarefação respectivamente, quanto maior a compressão maior será a amplitude da onda, como também a energia transportada pela onda.

2.2.5 Velocidade das ondas sonoras

Como já mencionado, as ondas sonoras podem se propagar em diferentes meios como sólidos, líquidos e gasosos, e sua velocidade de propagação depende das características do meio.

Pode-se dizer que a velocidade de propagação de ondas sonoras é maior nos sólidos que nos líquidos e nesses maior que nos gases, conforme a Tabela 1.

Tabela 1- Velocidade do som

Material	Velocidade do som (m/s)
<i>Gases</i>	
Ar (20 °C)	344
Hélio (20 °C)	999
Hidrogênio (20 °C)	1330
<i>Líquidos</i>	
Hélio líquido (4K)	211
Mercúrio (20 °C)	1451
Água (0 °C)	1402
Água (20 °C)	1482
Água (100 °C)	1543
<i>Sólidos</i>	
Alumínio	6420
Chumbo	1960
Aço	5941

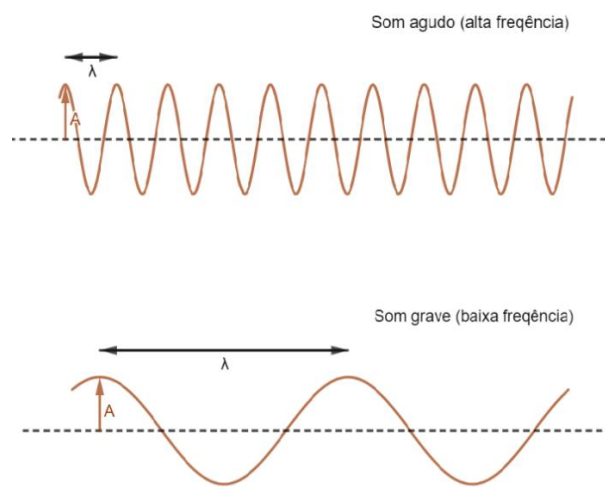
Fonte: Young; Freedman (2008, p. 147).

2.2.6 Percepção das ondas sonoras

As ondas sonoras apresentam certas características que o ouvido humano é capaz de distinguir, são elas, altura, intensidade e timbre.

A **altura** está relacionada com a frequência da onda sonora e permite distinguir um som agudo de um som grave, sons altos são aqueles com alta frequência, chamados de sons agudos, já os sons baixos têm baixa frequência, são os chamados sons graves (Figura 8).

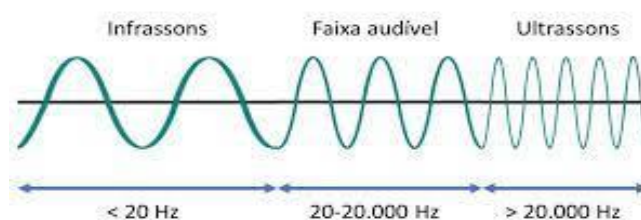
Figura 8- Altura



Fonte: Autora (2023).

O ouvido humano é capaz de perceber ondas sonoras em uma faixa de frequência compreendida entre 20 Hz e 20.000 Hz (Silverthorn, 2017). As ondas com frequência inferior a 20 Hz são chamadas de infrassons e ondas com uma frequência superior a 20.000 Hz são chamadas de ultrassons conforme podemos observar na Figura 9.

Figura 9- Espectro sonoro

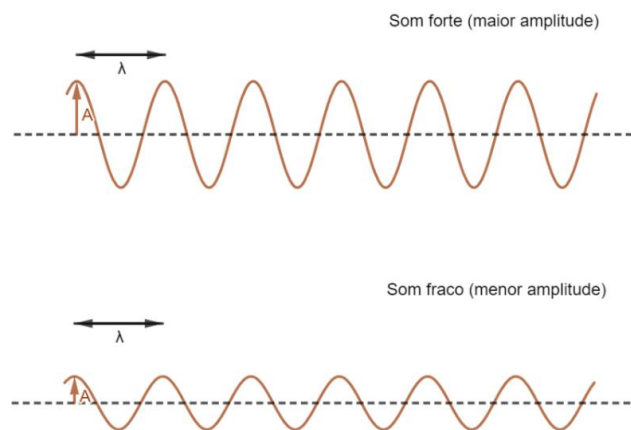


Fonte: Oliveira (2023).

Alguns animais emitem e percebem ultrassons, dentre os quais podemos citar o morcego que é capaz de emitir e detectar frequências de até 100.000 Hz, os golfinhos também se comunicam por ultrassons, os elefantes e as baleias se comunicam através de infrassons (Rui, 2006). Os ultrassons são aplicados à medicina como por exemplo para o diagnóstico por imagens.

A **intensidade** está relacionada com a energia transportada pela onda sonora e permite diferenciar um som forte de um som fraco por meio da amplitude da onda, quanto maior a amplitude, maior a intensidade e mais forte o som será, e quanto menor a amplitude, menor a intensidade e mais fraco o som será (Figura 10). A intensidade também pode ser entendida como o volume do som.

Figura 10- Intensidade



Fonte: Autora (2023).

Para ondas tridimensionais, como as ondas sonoras, a intensidade (I) é definida como “a taxa média de tempo em que a energia é transportada pela onda, por unidade de área, sobre uma superfície perpendicular à direção de propagação” (Young; Freedman, 2008, p. 118). Desta maneira a intensidade é a potência média por unidade de área, medida em W/m^2 .

$$I = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Para uma fonte que emite ondas sonoras igualmente em todas as direções, a energia é igualmente distribuída em uma superfície esférica de raio r e área $A = 4\pi r^2$ (Tipler; Mosca, 2009). Assim, podemos reescrever a equação 5, sendo a área da esfera igual a $A = 4\pi r^2$, portanto,

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (6)$$

Da equação 6, podemos concluir que a intensidade da onda é inversamente proporcional ao quadrado da distância r da fonte, conseqüentemente quanto mais próximo da fonte o ouvinte estiver, maior será a intensidade do som que ele perceberá e quanto mais distante da fonte geradora de som, menor será a intensidade.

O ouvido humano detecta intensidades entre uma intensidade mínima de 10^{-12} W/m^2 , chamada de limiar da audição e uma intensidade máxima de 1 W/m^2 , chamada de limiar da dor. Como a faixa de intensidade sonora percebida pelo ouvido humano é ampla, foi criada uma outra grandeza, o **nível de intensidade sonora** β (Bel), onde é utilizado a escala logarítmica para descrever o nível sonoro, medido em decibéis (dB), é definido por:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (7)$$

Em que I_0 é uma intensidade de referência e corresponde ao valor da intensidade mínima capaz de sensibilizar o aparelho auditivo, e I a intensidade do som. Logo, de acordo com a escala, o limiar da audição corresponde a um nível de intensidade sonora de $B = 10 \log \left(\frac{10^{-12}}{10^{-12}} \right) = 0 \text{ dB}$, e o limiar da dor corresponde a $B = 10 \log \left(\frac{1}{10^{-12}} \right) = 10 \log 10^{12} = 120 \text{ dB}$. A Tabela 2 mostra o nível sonoro de alguns sons.

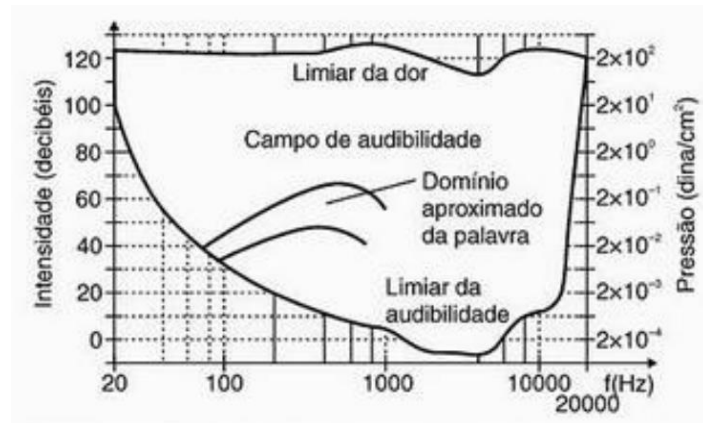
Tabela 2- Intensidade sonora

Fonte	Decibel dB	Potência/Área W.m^{-2}
"Silêncio"	0	10^{-12}
Sussuro, ou tic-tac de relógio (a 1 metro)	20	10^{-10}
Fala em voz baixa (a 1 metro)	40	10^{-8}
Fala normal (idem)	60	10^{-6}
Rádio alto (idem)	80	10^{-4}
Rua com tráfego intenso		
Grande Orquestra (em fortíssimo)		
Britadeira de ar comprimido (a 10 metros)	100	10^{-2}
Turbina de avião a jato (a 100 metros)	120	10^0
← Início da Dor →		
Turbina de avião a jato (a 10 metros)	140	10^2

Fonte: Heneine (2001, p. 328).

A sensibilidade à percepção de altas frequências, que estão dentro da faixa de frequências audível pelo ser humano, diminui com a idade e pode ser agravada pela exposição a níveis excessivos de ruídos (Young; Freedman, 2008). Assim, o nível de intensidade sonora deve aumentar para ser detectável. A Figura 11 mostra o gráfico da sensibilidade do ouvido humano para frequências do espectro auditivo humano.

Figura 11- Sensibilidade do ouvido humano

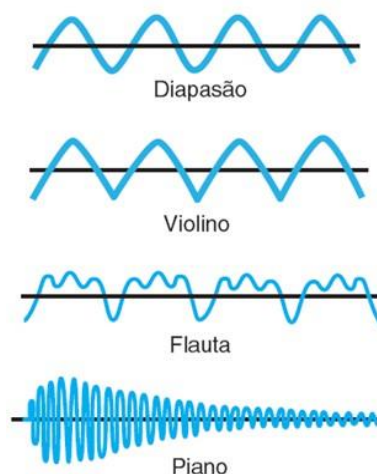


Fonte: Durán (2003, p. 230).

Pelo gráfico observamos que o aparelho auditivo é mais sensível para frequências compreendidas entre 2.000 Hz e 5.000 Hz (Okuno; Caldas; Chow, 1982). Isto significa que neste intervalo conseguimos ouvir os sons com uma menor intensidade.

O **timbre** é uma característica que está relacionada com a forma da onda e permite que dois sons de mesma altura (frequência) e mesma intensidade (amplitude) emitido por fontes distintas possam ser diferenciados (Garcia, 2002). Por exemplo, uma mesma nota produzida por dois instrumentos musicais diferentes, produzirão sons diferentes e podemos perceber esta diferença na Figura 12.

Figura 12- Timbre



Fonte: Carvalho (2016).

2.2.7 Fenômenos ondulatórios

As ondas sonoras apresentam propriedades comuns aos movimentos ondulatórios, como reflexão, refração, difração, interferência e o efeito Doppler.

A **reflexão** das ondas sonoras é observada quando a onda incide em uma superfície de separação entre dois meios, a onda é refletida com um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência (Heneine, 2001). Quando as ondas sonoras refletem, por exemplo, em superfícies como paredes ou montanhas, são produzidos ecos e reverberações.

O eco é produzido quando a distância entre a fonte sonora e a superfície refletora é grande o suficiente para que haja um atraso perceptível entre a emissão do som e sua reflexão. Já a reverberação acontece quando o som refletido chega ao ouvinte antes da extinção completa do som emitido, ouvindo, portanto, um único som com uma duração maior.

A reflexão de ondas sonoras é um fenômeno importante em diversas áreas, como na medicina, onde a reflexão de ondas sonoras são utilizadas em técnicas de imagem, como o ultrassom.

A **refração** das ondas sonoras ocorre quando a velocidade do som muda ao passar de um meio para outro, podendo a onda mudar sua direção de propagação. Devido a esse fenômeno uma pessoa submersa em uma piscina pode ouvir os sons que estão sendo emitidos fora dela. Lembrando que a frequência depende exclusivamente da fonte geradora, portanto a frequência não sofre alterações, mas como a velocidade é alterada, o comprimento de onda se modifica.

Difração é a capacidade da onda de contornar obstáculos (Tipler; Mosca, 2009), esta capacidade das ondas sonoras depende de sua frequência e do tamanho do obstáculo. As ondas sonoras são relativamente grandes e podem contornar grandes obstáculos, assim é possível ouvir uma pessoa do outro lado de um muro, mesmo sem a vê-la.

A **Interferência** é um fenômeno que ocorre quando uma ou mais ondas se encontram no mesmo ponto do espaço. Dependendo das condições de fase e amplitude das ondas, a interferência pode resultar em uma amplificação, interferência construtiva, ou uma diminuição, interferência destrutiva, da amplitude da onda resultante (Halliday; Resnick; Walker, 2012). Quando as ondas sonoras estão exatamente em fase, a interferência é construtiva, e a amplitude da onda resultante aumenta,

aumentando, portanto, a intensidade do som emitido. Quando as ondas estão fora de fase, a interferência é destrutiva, e a amplitude da onda sonora resultante diminui drasticamente, emitindo um som mais fraco.

O **Efeito Doppler** é um fenômeno que ocorre quando há um movimento relativo entre a fonte sonora e um ouvinte, resultando em uma variação na frequência da onda sonora percebida pelo ouvinte (Young; Freedman, 2008).

Quando o movimento da fonte ou do detector é no sentido de aproximação, a frequência detectada aumenta, e o som torna-se mais alto, isto é, mais agudo. Quando o movimento entre fonte ou do detector é no sentido de afastamento a frequência detectada diminui, o som se torna menos alto, isto é, mais grave.

O efeito Doppler é observado em diversas situações do dia a dia, como o som de uma ambulância se aproximando e depois se afastando, o som de um carro passando pela rua, entre outras. Além disso, é uma ferramenta importante em diversas áreas da ciência, como astronomia, acústica e medicina.

Exploramos as principais propriedades das ondas sonoras, sua propagação e suas interações com o meio ambiente, destacando sua importância para nossa vida cotidiana.

2.3 BIOFÍSICA DA AUDIÇÃO HUMANA

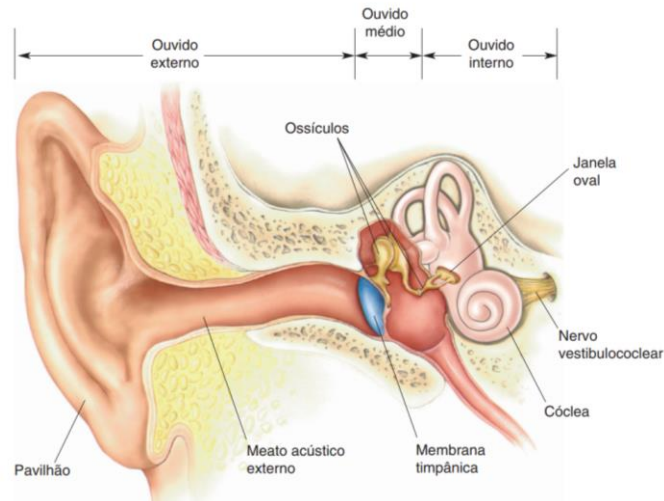
Nesta seção serão abordados os principais aspectos relacionados à audição humana. Inicialmente, serão descritas as estruturas e funções dos ouvidos externo, médio e interno, como trabalham juntos na captação, condução e interpretação das ondas sonoras. Também serão abordados diferentes tipos de surdez, como a de condução, sensorineural e central, as causas associadas a cada uma delas e por fim os testes, Rinne e Weber, utilizados para o diagnóstico das perdas auditivas por condução e sensorineural.

2.3.1 Anatomia e fisiologia do ouvido humano

O ouvido humano tem como principal função a conversão de um fraco estímulo mecânico, proveniente do meio externo, em estímulos nervosos (Durán, 2003). O ouvido é dividido em três partes, ouvido externo, médio e interno. No ouvido externo e

médio ocorrem os processos mecânicos e no ouvido interno os processos mecânicos e elétricos (Rui, 2006). A Figura 13 mostra as principais partes do ouvido.

Figura 13- Anatomia do ouvido humano



Fonte: Bear; Connors; Paradiso (2017, p. 373).

2.3.1.1 Ouvido externo

O ouvido externo é formado pelo pavilhão auricular, também chamado de orelha, e pelo canal auditivo ou meato acústico externo.

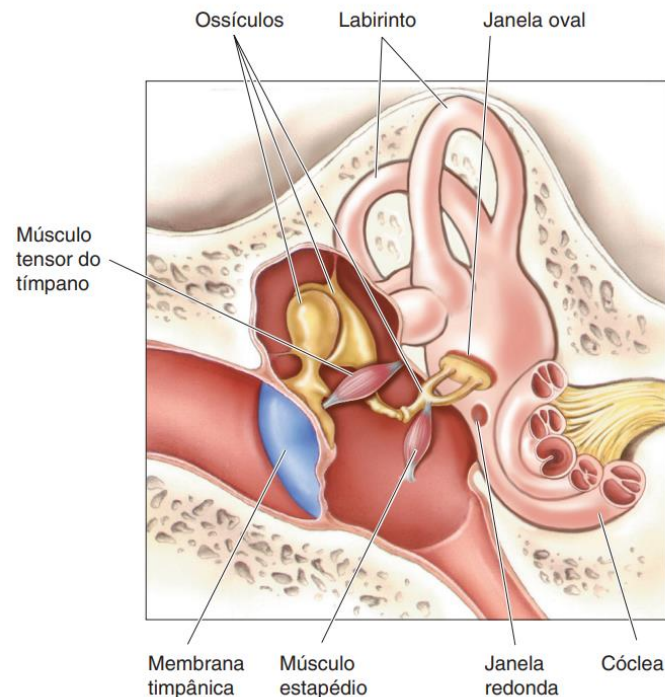
O pavilhão auricular é responsável pela captação e condução das ondas sonoras ao canal auditivo, que tem aproximadamente 2,5 cm de comprimento e conduz essa onda até a membrana timpânica, também conhecida como tímpano (Durán, 2003). Devido a sua forma e tamanho o meato acústico pode ser comparado a um tubo sonoro fechado, pois como este é uma cavidade ressonante, amplifica as ondas sonoras em frequências específicas, melhorando a audição (Garcia, 2002).

2.3.1.2 Ouvido médio

O ouvido médio é formado pelo tímpano, três ossículos chamados de martelo, bigorna e estribo, a tuba auditiva ou tuba de Eustáquio e os músculos tensor do tímpano e estapédio, representados na Figura 14.

O tímpano é uma fina membrana que separa o ouvido externo do ouvido médio, ambos preenchidos por ar.

Figura 14- Ouvido médio



Fonte: Bear; Connors; Paradiso (2017, p. 376).

A onda sonora que atinge a membrana timpânica a faz vibrar com frequência e amplitude correspondentes à da onda que a atingiu. Quanto maiores forem a frequência e amplitude da onda, maior será a rapidez com que o tímpano vibra e maiores serão os movimentos realizados por este (Rui, 2006).

O deslocamento do tímpano para a intensidade mínima do som audível é de $1,1 \times 10^{-11} m$, é a partir desse deslocamento que os sons podem ser ouvidos, e o deslocamento do tímpano para intensidade máxima audível é de $1,1 \times 10^{-5} m$, é a partir desse deslocamento que se começa a sensação dolorosa (Heneine, 2001).

A membrana timpânica está ligada a cadeia de ossículos, estando conectada diretamente ao osso martelo, que se conecta com a bigorna, e este osso está ligado ao estribo, o qual está em contato direto com janela oval, entrada para o ouvido interno. Quando a membrana timpânica vibra, os ossículos se movem em conjunto, amplificando e transmitindo a vibração para o estribo que transmite as vibrações sonoras aos fluidos da cóclea (perilíngua e endolíngua).

A função dos ossículos é a de promover a amplificação da energia da onda sonora do tímpano para o ouvido interno. Como o ouvido médio é preenchido por ar e o ouvido interno por líquidos, é preciso uma pressão maior para fazer um líquido vibrar

do que o ar, ou seja, a pressão na janela oval deve ser maior para que haja a transmissão adequada da onda sonora (Bear; Connors; Paradiso, 2017).

Devido a diferença de densidade dos meios, a onda sonora encontra resistência para sua propagação, desse modo a cadeia de ossículos funciona como uma alavanca promovendo um ganho mecânico de cerca de 1,3, isto significa que a força exercida pelo estribo sobre a janela oval é 1,3 maior do que a força exercida pela membrana timpânica sobre o martelo (Garcia, 2002).

Além da ação dos ossículos para aumentar a pressão na janela oval, a diferença entre as áreas do tímpano e janela oval também contribuem para esse aumento, pois a área do tímpano é $0,55 \text{ cm}^2$ e a da janela oval $0,032 \text{ cm}^2$ (Durán, 2003). Considerando a expressão para o cálculo da pressão devido a força perpendicular a uma área, $P = \frac{F}{A}$, para a membrana timpânica e a janela oval, podemos calcular o ganho total de pressão conforme Okuno, Caldas e Chow (1982):

Seja,

$$P_{\text{tímpano}} = \frac{F_{\text{tímpano}}}{A_{\text{tímpano}}} \quad (8)$$

$$P_{\text{janela oval}} = \frac{F_{\text{janela oval}}}{A_{\text{janela oval}}} \quad (9)$$

A amplificação da pressão na janela oval pode ser calculada por:

$$\frac{P_{\text{janela oval}}}{P_{\text{tímpano}}} = \frac{\frac{F_{\text{janela oval}}}{A_{\text{janela oval}}}}{\frac{F_{\text{tímpano}}}{A_{\text{tímpano}}}} \quad (10)$$

Lembrando que a força na janela oval é amplificada por um fator de 1,3, temos que a pressão na janela oval é de:

$$F_{\text{janela oval}} = 1,3 F_{\text{tímpano}} \quad (11)$$

Logo, o ganho total de pressão será de:

$$\frac{P_{\text{janela oval}}}{P_{\text{tímpano}}} = \frac{1,3 \left(\frac{F_{\text{tímpano}}}{0,032} \right)}{\frac{F_{\text{tímpano}}}{0,55}} = \frac{1,3 \times 0,55}{0,032} = 22 \quad (12)$$

Portanto a pressão total aplicada na janela oval é igual a 22 vezes a pressão aplicada no tímpano, esse aumento é suficiente para mover os líquidos no ouvido interno.

A tuba ou trompa de Eustáquio ou tuba auditiva liga o ouvido médio a nasofaringe e é responsável por manter o equilíbrio de pressões nos ouvidos externo e médio, quando há uma diferença de pressão a audição é prejudicada, como em situações

de grandes altitudes, onde a pressão é reduzida, a pressão no ouvido médio é maior que a pressão no exterior, causando desconforto. Normalmente a tuba auditiva permanece fechada, mas durante a mastigação, deglutição e bocejo se abre temporariamente permitindo a equalização das pressões das partes média e externa.

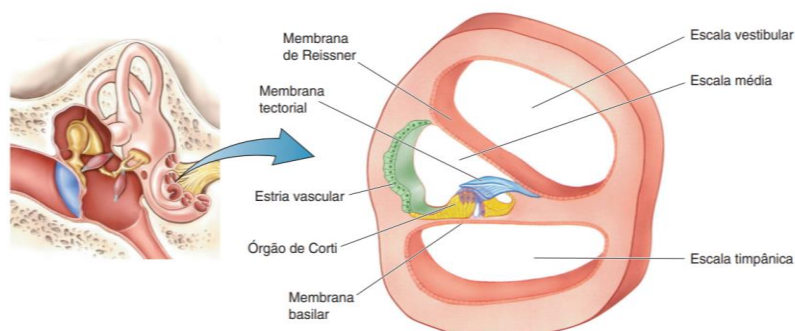
Os músculos tensores do tímpano e estapédio têm a função de diminuir a capacidade de vibração da membrana timpânica e da janela oval diante de sons graves e fortes, atenuando assim a intensidade do som e protegendo o ouvido interno de danos. O músculo tensor do tímpano está conectado ao martelo, este músculo quando acionado se contrai e puxa o martelo e este puxa o tímpano o tensionado, diminuindo as vibrações nessa membrana. Já o músculo estapédio está ligado ao estribo e quando se contrai afasta o ossículo da janela oval, diminuindo a transmissão da energia sonora.

2.3.1.3 Ouvido interno

No ouvido interno, acontece a transdução da onda sonora em sinais elétricos, enviados ao cérebro, via nervo auditivo. Esta parte do ouvido é formada por duas estruturas sensoriais, o vestíbulo, responsável pelo equilíbrio do corpo, e a cóclea, responsável pela audição. O sistema vestibular não será discutido neste trabalho.

A cóclea, como mostrado na Figura 15, “tem cerca de 3 *cm* de comprimento e está disposta em forma de espiral que se dobra em torno de um pilar central chamado de **modíolo**” (Garcia, 2002, p. 125), esta estrutura é dividida em três canais, chamados de escala vestibular, escala média e escala timpânica, como pode ser observado no esquema da cóclea cortada em secção transversal.

Figura 15- Cóclea em corte transversal

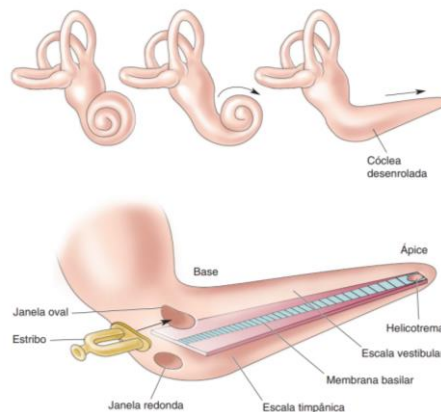


Fonte: Bear; Connors; Paradiso (2017, p. 377).

As escalas ou rampas vestibular e timpânica são preenchidas por um líquido chamado de perilinfa, estas escalas se comunicam através de um orifício situado no ápice da cóclea, chamado de helicotrema (Figura 16). Já a escala média, também conhecida como ducto coclear, é o canal preenchido pelo líquido chamado de endolinfa.

A escala vestibular é separada da escala média pela membrana de Reissner, e a escala média é separada da escala timpânica pela membrana basilar, nesta membrana se encontra o órgão de Corti, órgão sensorial da audição, que possui um conjunto de células, chamadas de células ciliadas, encarregadas de converter os estímulos mecânicos em sinais elétricos, (Okuno; Caldas; Chow, 1982), sobre este órgão está a membrana tectorial.

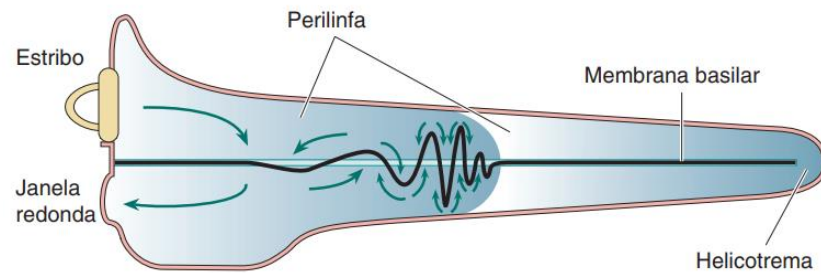
Figura 16- Cóclea desenrolada



Fonte: Bear; Connors; Paradiso (2017, p. 378).

Com a vibração do estribo sobre a janelas oval uma onda é formada e propagada na perilinfa, essa onda se desloca por toda a rampa vestibular, passando pelo helicotrema dando continuidade à sua propagação na rampa timpânica até a janelas redonda, onde parte da energia produzida é dissipada no ouvido médio. Essa movimentação nas rampas timpânica e vestibular é transmitida à membrana de Reissner e à membrana basilar, estimulando, portanto, o órgão de Corti (Durán, 2003). A Figura 17 mostra uma representação da propagação da onda na membrana basilar.

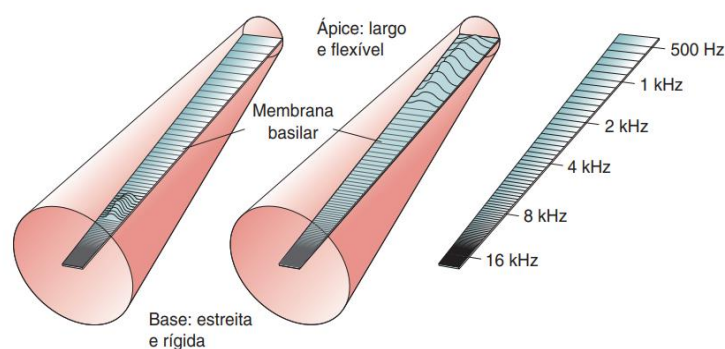
Figura 17- Propagação da onda na membrana basilar



Fonte: Bear; Connors; Paradiso (2017, p. 379).

A membrana basilar se estende por toda cóclea desde a janela oval até seu ápice. A base desta membrana está localizada próximo a janela oval, é rígida e estreita, vibrando melhor as ondas de maior frequência. Já no ápice a membrana é mais larga e flexível, vibrando melhor as ondas sonoras de menor frequência. Portanto, é na membrana basilar que ocorre a distinção entre os sons agudos e os sons graves (Rui, 2006). Assim, o ouvido é capaz de perceber, frequências diferentes, simultaneamente. A Figura 18 mostra as regiões da membrana basilar que são ativadas de acordo com a frequência sonora.

Figura 18- Frequência na membrana basilar



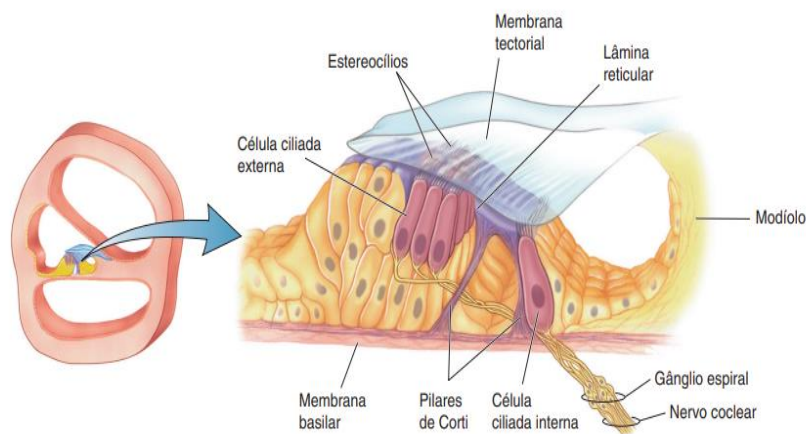
Fonte: Bear; Connors; Paradiso (2017, p. 380).

O deslocamento da membrana basilar e do órgão de Corti tem uma amplitude proporcional à intensidade sonora. Quanto maior a intensidade do som, maior a amplitude de deslocamento, maior o impulso elétrico gerado, sendo maior também a corrente, causando uma sensação sonora mais intensa no encéfalo (Heneine, 2001).

O órgão de Corti (Figura 19) é um órgão receptor que gera impulsos nervosos a partir da movimentação da membrana basilar, este órgão é formado por células

ciliadas internas e externas, organizadas em fileiras, se estendendo por toda a cóclea. Estas, são células receptoras auditivas, que geram impulsos nervosos em resposta às vibrações sonoras.

Figura 19- Órgão de Corti



Fonte: Bear; Connors; Paradiso (2017, p. 381).

Sobre o órgão de Corti está a membrana tectorial, uma membrana flexível, e esta, como a membrana basilar, também é movimentada em resposta a onda que percorre a cóclea, à medida que a membrana basilar realiza um movimento vertical, a membrana tectória realiza um movimento na horizontal, curvando as células ciliadas. Este movimento sobre os cílios provoca sua excitação e o aparecimento de impulsos elétricos que se propagam pelos nervos auditivos ou cocleares (Garcia, 2002). Após a transformação das ondas sonoras em sinais elétricos, na cóclea, as informações são transmitidas ao encéfalo, que irá interpretar os estímulos recebidos em sons.

2.3.2 Tipos de surdez

Segundo Garcia (2002) a perda auditiva pode ser dividida em surdez de condução, surdez sensorineural e a surdez central.

A **surdez de condução** é o tipo de surdez mais comum, afeta o ouvido externo e médio, ocorre devido uma obstrução à livre condução da onda sonora no meato acústico externo, geralmente uma obstrução por cerume ou coleções purulentas, lesões na membrana timpânica, ou lesões na cadeia ossicular também impedem que o som chegue ao ouvido interno.

A **surdez sensorineural** afeta o ouvido interno, corresponde a uma perda da sensibilidade dos receptores auditivos, as células ciliadas, esse tipo de surdez pode ser causado por infecções que destroem a cóclea, processos inflamatórios e a exposição prolongada a sons de elevada intensidade.

A **surdez central** é a surdez nas regiões de interpretação do som, acontece quando existem lesões nas vias de condução ou nas regiões do córtex cerebral envolvidas com a audição, podendo ser causada por acidente vascular cerebral (AVC), traumatismo craniano ou tumores no cérebro.

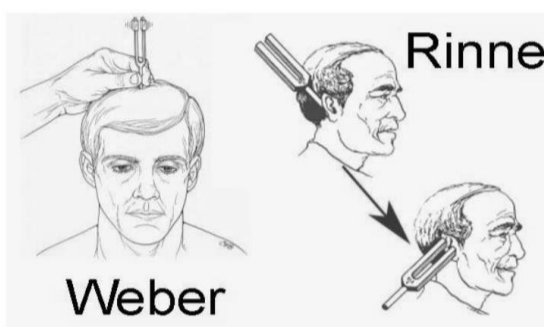
2.3.2.1 Diagnosticando a surdez de condução e sensorineural

Para o diagnóstico de perda de audição ou entupimento do canal auditivo é utilizado um diapásão e realizado o teste de Weber e Rinne (Garcia, 2002).

O **teste de Weber** vai indicar se a surdez é de origem neural ou de condução, nesse teste o diapásão é posto a vibrar e colocado no centro da testa, conforme a Figura 20, o normal é que o som seja percebido em ambos os ouvidos, porém quando o som é percebido apenas por um ouvido, há uma perda auditiva. Se o som percebido for no lado afetado a surdez é de condução, e se o som percebido for no lado normal a surdez é sensorineural.

O **teste de Rinne** é utilizado para a comparação da condução óssea e aérea. O diapásão é posto a vibrar e colocado de maneira alternada na mastoide e depois ao lado da orelha (Figura 20). Para o ouvido saudável, o som mais intenso é o do lado da orelha, mas se o som percebido pelo paciente for mais intenso na mastoide, isso significa que a condução óssea não está afetada, porém a condução por via aérea está afetada, dificultando a transmissão do som ao ouvido interno.

Figura 20- Teste Weber e Teste Rinne



Fonte: Neuro Brasil (2015).

Exploramos a complexidade da audição humana, compreendendo sua anatomia e fisiologia e sua relação com as ondas sonoras. A biofísica da audição configura um tema estimulante e relevante, com aplicações que perpassam a sala de aula, contribuindo para nossa compreensão do mundo e do nosso corpo.

3 PERCURSO METODOLÓGICO

“A pesquisa pura busca o progresso da ciência, procura desenvolver os conhecimentos científicos sem a preocupação direta com suas aplicações e consequências práticas” (Gil, 2008, p. 26). Devido aos fins didáticos, esse trabalho se enquadra em um estudo de natureza básica pura ou teórica, uma vez que, ela diz respeito a apenas a elaboração de uma sequência didática para o ensino de ondas sonoras a partir de uma abordagem biofísica da audição humana utilizando a metodologia ativa de sala de aula invertida como estratégia didática.

Quanto à abordagem, pode ser classificado como qualitativo, devido a interpretação a ser feita sobre a bibliografia explorada para a produção de um novo conhecimento. Conforme Bogdan e Biklen (1994, p. 67) sobre investigação qualitativa, “o objetivo principal do investigador é o de construir conhecimentos e não dar opinião sobre determinado contexto”.

Conforme Sampieri, Collado e Lucio (2013, p. 102) os estudos descritivos “buscam especificar as propriedades, as características e os perfis de pessoas, grupos, comunidades, processos, objetos ou qualquer outro fenômeno que se submeta a uma análise”. Nessa perspectiva, podemos classificar nosso trabalho, quanto aos objetivos, como descritivo, pois objetivamos descrever a proposta de sequência didática.

Nossa proposta é direcionada para alunos do segundo ano do Ensino Médio, desenvolvida para professores de física interessados em utilizar a abordagem de sala de aula invertida em diferentes contextos educacionais,

Para o desenvolvimento da proposta de sequência didática fizemos um levantamento de referências teóricas sobre o conteúdo de ondas sonoras, audição humana e metodologia de sala de aula invertida, em livros, teses, dissertações, artigos entre outros na área de ensino de física, a fim de formar uma base teórica que fundamenta a proposta de sequência didática.

O passo seguinte foi a definição dos objetivos da sequência didática, e a identificação de recursos tecnológicos que pudessem ser utilizados de modo a facilitar o processo de ensino e aprendizagem. Para execução da sala de aula invertida faz-se necessário a utilização de um ambiente virtual de aprendizagem, para tanto optamos pelo *Google Sala de Aula* ou *Google Classroom*, o qual é uma plataforma gratuita de gerenciamento de sala de aula, permite a criação de turmas, compartilhamento de

conteúdo, atribuição de tarefas, além disso possibilita a interação entre alunos e professores, através dos fóruns de discussão e *chat* privado, apresenta um sistema de *feedback* e permite a criação de formulários, avaliações e atribuição de notas. Possibilitando que o professor acompanhe o progresso de cada estudante nas atividades propostas.

Outros recursos são integrados a sala de aula virtual, como, o *google meet*, para aulas *online* ao vivo; *google drive*, para compartilhamento de documentos, apresentações, planilhas e outros arquivos; *google forms*, para criar avaliações, questionários, fazer pesquisa de opinião; *google keep* para criar notas e lembretes sobre a sequência didática. Estes recursos facilitam a utilização e reuni diferentes funcionalidades em um único ambiente virtual.

Outras ferramentas tecnológicas também foram utilizadas, como o *software* de matemática dinâmica, *GeoGebra* (Figura 21) que pode ser utilizado em qualquer nível de ensino, do ensino fundamental ao ensino superior, pois possui recursos de geometria, álgebra, planilhas, gráficos, estatísticas e cálculos, em uma única plataforma, pode ser utilizado de maneira *online*, sendo acessado por computadores e dispositivos móveis como *smartphones* e *tablets*, também conta com versão para *download*, podendo ser instalado em computadores com sistema operacional *Windows*, *Linux* e *macOS*, nesse caso pode ser utilizado mesmo sem o acesso à internet.

Figura 21- Tela GeoGebra Materiais

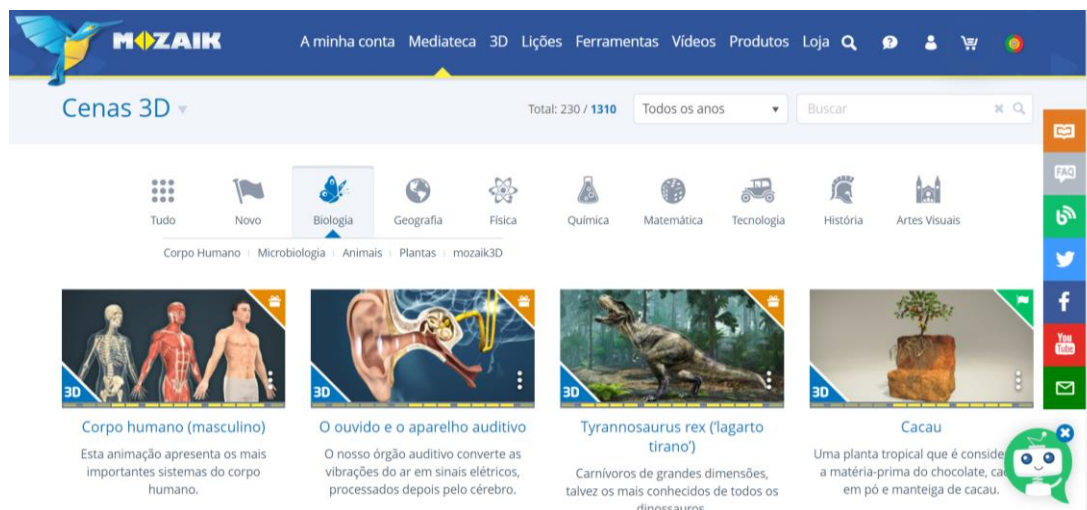


Fonte: GeoGebra

Também foi utilizado o aplicativo de visualização de cenas tridimensionais interativas, *Mosaik 3D* (Figura 22), que apresenta cenas educacionais para diferentes

disciplinas, como física, biologia, história, matemática e outras. Esta ferramenta pode ser utilizada através de aplicativo em smartphone ou tablet com sistema operacional *android* ou *iOS*, e para computadores com sistema operacional *windows* e *macOS*.

Figura 22- Tela inicial Mozaik 3D



Fonte: Mozaik 3D

Após esta etapa, partiu-se para seleção dos materiais necessários para a realização das atividades propostas, como vídeos, textos, atividades práticas, simulações, entre outros.

Em seguida partimos para a elaboração do plano de aula, levando em consideração o referencial teórico acerca da metodologia de ensino adotada. Detalhando cada atividade, seus objetivos específicos e os recursos necessários para sua execução.

O processo de elaboração e implementação de uma sequência didática está em uma constante avaliação, pois a sequência didática deve atender as necessidades dos alunos e ser possível de ser aplicada à realidade da comunidade escolar, assim o professor verifica as potencialidades de aplicação e resultados, fazendo as modificações e adaptações necessárias para garantir uma experiência de aprendizagem significativa.

4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Neste capítulo, apresentaremos em detalhes nossa proposta de sequência didática para o ensino de ondas sonoras, em uma perspectiva interdisciplinar com a biologia, no que diz respeito ao processo de recepção e transmissão do som no ouvido humano, adotando a abordagem de sala de aula invertida.

A sequência didática consiste em um conjunto de atividades organizadas de maneira sequencial, objetivando o aprendizado do aluno. Zabala (1998, p. 18) define sequência didática como,

[...] um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos.

Dessa forma, estabelecemos como objetivos para e com o tema proposto, instigar o aluno para o estudo de Física; compreender os principais conceitos do fenômeno em estudo; entender a importância das ondas sonoras para a vida cotidiana; conhecer os perigos e cuidados para a saúde auditiva; participação ativa do aluno no processo de ensino e aprendizagem.

O quadro 1, mostra resumidamente a organização das aulas e atividades propostas em nossa SD.

Quadro 1- Organização esquemática da sequência didática

Momentos	Objetivos	Atividades
Apresentação da proposta	Apresentar aos alunos a metodologia de sala de aula invertida, o Ambiente Virtual de Aprendizagem (<i>Google Classroom</i>) e as ferramentas tecnológicas auxiliares (<i>GeoGebra</i> e <i>Mozaik 3D</i>).	Discussão sobre a metodologia ativa de sala de aula invertida; Apresentação da proposta de sequência didática; Apresentação do ambiente virtual de aprendizagem e das ferramentas tecnológicas auxiliares.

Primeiro ciclo		
Antes da aula: Introdução às ondas sonoras	Compreender o que são ondas sonoras e suas características; Identificar a relação entre frequência e altura do som; Compreender a relação entre amplitude e intensidade do som.	Analisar tirinha e debater sobre esta no fórum de discussão; Assistir ao vídeo “o que é uma onda?”; Responder a algumas perguntas relacionadas ao vídeo; Fazer resumo do material de estudo, elaborar perguntas para discussão em sala de aula.
Durante a aula:	Entender o conceito de ondas e suas características (f, A, T, λ); Classificar as ondas sonoras; Compreender a relação entre frequência e altura, amplitude e intensidade.	Retomada do conteúdo do vídeo; Discussão sobre o material de estudo disponibilizado no AVA; Realização da atividade proposta para a sala de aula utilizando o <i>Geogebra</i>
Depois da aula:	Revisar o conteúdo; Aprofundar nos estudos.	Realizar atividade usando o <i>GeoGebra</i> .
Segundo ciclo		
Antes da aula:	Conhecer a estrutura do ouvido; Compreender o funcionamento do ouvido; Entender como ocorre a transmissão das ondas sonoras pelo ouvido.	Discussão no fórum a respeito do questionamento “Por que nossa voz gravada soa diferente para nós mesmos do que para outras pessoas?”; Assistir ao vídeo “Anatomia e fisiologia auditiva”; Responder a algumas perguntas relacionadas ao vídeo; Fazer resumo do material de estudo, elaborar perguntas para discussão em sala de aula.
Durante a aula:	Compreender a anatomia e	Retomada do conteúdo do

	fisiologia do ouvido humano; Entender como ocorre a transmissão das ondas sonoras pelo ouvido; Compreender o processo de transformação das ondas sonoras em estímulos nervosos; Compreender a importância da audição para comunicação e percepção do mundo ao nosso redor.	vídeo; Discussão sobre o material de estudo disponibilizado no AVA; Realização da atividade proposta para a sala de aula utilizando o aplicativo <i>Mozaik 3D</i> .
Depois da aula:	Revisar o conteúdo; Aprofundar nos estudos.	Realizar atividade usando o aplicativo <i>Mozaik 3D</i> .
Terceiro ciclo		
Antes da aula:	Compreender o conceito de poluição sonora; Identificar as principais fontes de poluição sonora; Conhecer os efeitos da poluição sonora na saúde e no meio ambiente.	Assistir ao vídeo “Poluição sonora”; Responder a algumas perguntas relacionadas ao vídeo; Discussão no fórum a respeito do questionamento “Quais são os níveis seguros de exposição a sons intensos para prevenir danos na audição?”; Fazer resumo do material de estudo, elaborar perguntas para discussão em sala de aula.
Durante a aula:	Compreender o conceito de poluição sonora e suas consequências para saúde humana e meio ambiente; Identificar as principais fontes de poluição sonora; Aprender a utilizar o decibelímetro para medir o nível de	Retomada do conteúdo do vídeo; Discussão sobre o material de estudo disponibilizado no AVA; Realização da atividade proposta para a sala de aula utilizando o aplicativo decibelímetro.

	intensidade sonora do ambiente e identificar situações de risco; Refletir sobre medidas que podem ser adotadas para prevenção e redução da poluição sonora.	
Depois da aula	Revisar o conteúdo; Aprofundar nos estudos.	Construir um mural colaborativo sobre os efeitos da poluição sonora e medidas de prevenção e controle.
Avaliação:	Avaliar os alunos quanto a sua participação no fórum de discussão e em sala de aula; a qualidade e clareza das respostas às atividades propostas e suas produções; a capacidade de trabalhar em grupos; compreensão dos conceitos.	

Fonte: Autora (2023)

4.1 PROPOSTA DE SEQUÊNCIA

Esta sequência didática foi criada para professores de física do segundo ano do Ensino Médio, com o objetivo de apresentar uma abordagem interdisciplinar com a biologia. Através da abordagem metodológica de sala de aula invertida, trabalharemos conceitos relacionados ao estudo de ondas sonoras e sua relação com o sentido da audição. Utilizaremos tecnologias digitais para desenvolver atividades que envolvam os alunos ativamente no processo de construção do conhecimento. A proposta pode ser modificada e adaptada para a realidade de cada sala de aula.

Objetivo geral: temos como objetivo geral despertar o interesse dos estudantes pela física, através da interdisciplinaridade que a temática de ondas sonoras apresenta com a biologia, que possam compreender conceitos bases de ondas através do uso de tecnologias digitais.

Público-alvo: esta proposta está direcionada para turmas do segundo ano do Ensino Médio.

Número de aulas: o desenvolvimento da proposta é previsto para quatro encontros presenciais com duração de 50 minutos cada, com um total de 200 minutos.

4.1.1 Descrição das atividades

Apresentação da proposta

Objetivo Geral: Apresentar aos alunos a metodologia de sala de aula invertida, o Ambiente Virtual de Aprendizagem (*Google Classroom*) e as ferramentas tecnológicas auxiliares (*GeoGebra* e *Mozaik 3D*), visando a preparação para a implementação da proposta.

Objetivos específicos:

- Apresentar o conceito de sala de aula invertida e seus benefícios para o processo de aprendizagem;
- Mostrar o funcionamento do ambiente virtual de aprendizagem, *Google Classroom*;
- Apresentar as ferramentas auxiliares *GeoGebra* e *Mozaik 3D*.

Recursos:

- Projetor multimídia;
- Dispositivos móveis;
- Acesso à internet;
- *Google Classroom*;
- *GeoGebra*;
- *Mozaik 3D*.

Desenvolvimento:

1. Introdução (5 minutos)
Apresentação do conceito de sala de aula invertida e seus benefícios.
2. Apresentação da sequência didática (10 minutos)
Apresentação da proposta de sequência didática com a abordagem da metodologia ativa de sala de aula invertida;
Explicação das atividades a serem desenvolvidas pelos alunos.
3. Demonstração do AVA, o *GeoGebra* e *Mozaik 3D* (20 minutos)
Apresentação do ambiente virtual de aprendizagem, explicando suas funcionalidades e como utilizá-lo;

Apresentação do *GeoGebra* e *Mozaik 3D*, explicando suas funcionalidades e aplicabilidades na proposta.

4. Aplicação de questionário (10 minutos)

Aplicação de um questionário sobre os conhecimentos prévios dos alunos (Apêndice A); sobre o acesso destes a internet e aparelhos tecnológicos necessários para aplicação da proposta, como *tablet*, *notebook*, *smartphone* etc.

5. Encerramento (5 minutos)

Recapitulação dos principais pontos abordados na aula.

Primeiro ciclo

Antes da aula

Tema: Introdução às ondas sonoras

Objetivos:

- Compreender o que são ondas sonoras e suas características;
- Identificar a relação entre frequência e altura do som;
- Compreender a relação entre amplitude e intensidade de um som.

Recursos necessários:

- Vídeo aula sobre ondas sonoras;
- Fórum de discussão no *Google Classroom*;
- *Google* documentos para anotações.

Atividades:

1. Discutir sobre a tirinha no fórum de discussão:

Figura 23- Tirinha sobre propagação do som



Fonte: Arte da Física em Quadrinhos

2. Assistir a vídeo aula intitulada “O que é uma onda?”, do canal “Ciência Todo Dia”. Disponível em: <https://youtu.be/M2D5-zXID6A>.

3. A partir do vídeo responder as perguntas a seguir:
 - a) O que é uma onda?
 - b) Como as ondas se propagam?
 - c) Quais as características fundamentais de uma onda?
 - d) Como a velocidade de propagação de uma onda é determinada?
4. Utilizando o Google Documentos fazer anotações sobre o vídeo, resumo e elaborar perguntas, dúvidas a serem abordadas na sala de aula.

Durante a aula

Tema: Ondas sonoras

Objetivos:

- Entender o conceito de onda e suas características (frequência, amplitude, período, comprimento de onda);
- Classificar as ondas sonoras como uma onda mecânica, tridimensional e longitudinal;
- Compreender a relação entre frequência e altura, e amplitude e intensidade do som;
- Relacionar as características físicas da onda sonora com a percepção de sons graves e agudos, fortes e fracos, utilizando o *GeoGebra*;

Recursos:

- Projetor multimídia;
- Dispositivos móveis;
- Acesso à internet;
- *GeoGebra online*.

Desenvolvimento:

Atividades:

1. Retomada do conteúdo do vídeo (10 min)
Apresentação do conteúdo teórico sobre ondas sonoras, com o auxílio de recursos multimídia;
2. Perguntas e respostas sobre o vídeo (10 min)
Discussão sobre o exercício, deixado após a vídeo aula, esclarecendo dúvidas sobre o vídeo e o exercício proposto;
3. Resolução de exercícios ou soluções de problemas (30 min)

Exercício prático utilizando o software *GeoGebra*. Para este exercício será utilizado a simulação “Ouvindo uma onda senoidal”, de autoria de Humberto José Bortolossi, disponível no site *GeoGebra* através do link, www.geogebra.org/m/HzUcaYb8. Esta simulação é uma ferramenta interativa que permite visualizar e ouvir uma onda senoidal, tipo mais básico de uma onda sonora.

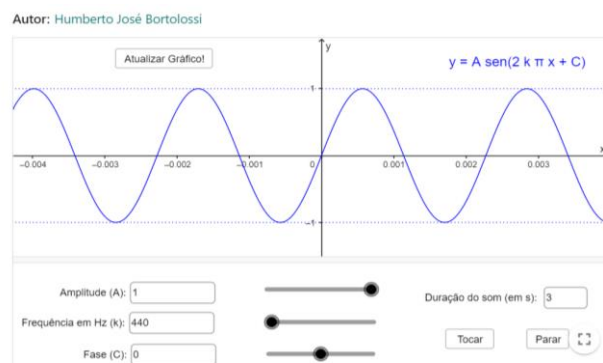
A interface da simulação é dividida em duas partes, a primeira exibe o gráfico que representa a onda senoidal e a segunda o painel de controle, contendo o comando para a reprodução do som da onda.

Na primeira parte da interface, o gráfico da onda é exibido com o eixo horizontal representando o tempo e o eixo vertical representando a amplitude da onda. Os parâmetros da onda, como frequência, amplitude e fase, podem ser modificados utilizando os controles deslizantes exibidos na interface.

Na segunda parte da interface, pode-se a partir do botão “Tocar” ouvir a onda senoidal através do alto-falante. O som é gerado a partir de uma onda senoidal exibida no gráfico, podendo o volume do som ser ajustado pelo controle deslizante.

A simulação permite que os alunos alterem parâmetros da onda, como a frequência, amplitude e fase, e observem como essas mudanças afetam a aparência e o som da onda. Dessa forma, a simulação ajuda a ilustrar conceitos fundamentais de ondas sonoras, como a relação entre frequência e altura do som, e como a amplitude da onda afeta a intensidade do som. Ajustando a frequência da onda, o aluno poderá ouvir diferentes notas musicais e perceber como o som é mais agudo ou mais grave dependendo da frequência da onda.

Figura 24- Ouvindo uma onda senoidal



Fonte: Bortolossi (2017).

O exercício para o momento presencial, em grupos:

1. Como a frequência da onda sonora afeta a altura do som percebido? Explique o que acontece quando a frequência é aumentada ou diminuída.
2. Como a amplitude da onda sonora afeta a intensidade do som percebido? Explique o que acontece quando a amplitude é aumentada ou diminuída.
3. Como a fase da onda sonora afeta o som percebido? Explique o que acontece quando a fase é alterada.
4. Qual é o intervalo de frequência que o ouvido humano é capaz de ouvir? Utilize a simulação para criar diferentes ondas senoidais com frequências variando de 20Hz a 20000HZ e determine a faixa de frequência audível.

Depois da aula

Para este momento foi criado no *Google Classroom* o seguinte exercício:

Desenhe uma onda sonora no *software GeoGebra* e defina suas propriedades (frequência, amplitude, comprimento de onda etc.) e explique o que cada propriedade representa e como ela afeta a onda sonora.

Segundo ciclo

Antes da aula

Tema: Introdução à biofísica da audição humana

Objetivos:

- Conhecer a estrutura do ouvido;
- Compreender o funcionamento do ouvido;
- Compreender como ocorre a transmissão das ondas sonoras pelo ouvido.

Recursos necessários:

- Vídeo aula sobre a audição humana;
- Fórum de discussão no *Google Classroom*;
- Google documentos para anotações.

Atividades:

1. No fórum de discussão, os alunos devem expressar suas respostas ao questionamento: “Por que nossa voz gravada soa diferente para nós mesmos do que para outras pessoas?”

2. Assistir a vídeo aula intitulada “Anatomia e Fisiologia Auditiva”. Disponível em: <https://youtu.be/MJi4pXb-OCA> .
3. A partir do vídeo responder as perguntas a seguir:
 - a) Descreva as principais partes do aparelho auditivo e sua função.
 - b) Como acontece o processo de captação e condução do som?
 - c) Faça um diagrama da cadeia auditiva.
4. Utilizando o *Google* Documentos fazer anotações sobre o vídeo, resumo e elaborar perguntas, dúvidas a serem abordadas na sala de aula.

Durante a aula

Tema: Biofísica da audição

Objetivos:

- Compreender a anatomia e fisiologia do ouvido humano;
- Entender como ocorre a transmissão das ondas sonoras pelo ouvido;
- Compreender o processo de transformação das ondas sonoras em estímulos nervosos;
- Compreender a importância da audição para a comunicação e percepção do mundo ao nosso redor.

Recursos:

- Projetor multimídia;
- Dispositivos móveis;
- Acesso à internet;
- Aplicativo *Mozaik 3D*.

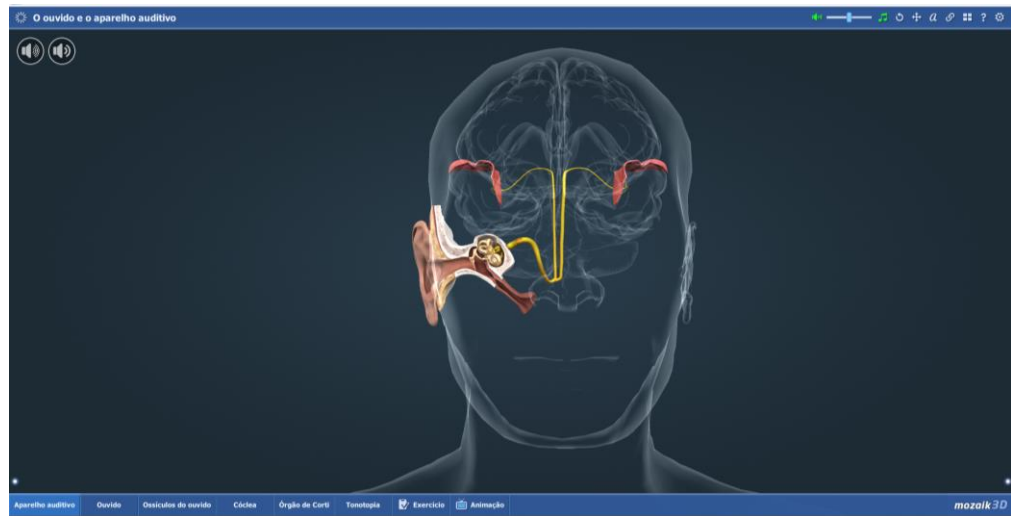
Desenvolvimento

Atividades:

1. Retomada do conteúdo do vídeo (10 min)

Apresentação do conteúdo teórico sobre o aparelho auditivo humano, explicando sua estrutura e principais funções, com auxílio de recursos multimídia e do modelo tridimensional do ouvido humano (Figura 24), disponível no aplicativo *Mozaik 3D*, pois permite uma abordagem mais visual e interativa dos conceitos relacionados às ondas sonoras e à audição humana;

Figura 25- Modelo tridimensional do aparelho auditivo



Fonte: Mozaik 3D

2. Perguntas e respostas sobre o vídeo (10 min)

Discussão sobre o exercício, deixado após a vídeo aula, esclarecendo dúvidas sobre o vídeo e o exercício proposto;

3. Resolução de exercícios ou soluções de problemas (30 min)

Para a solução deste exercício será necessário a utilização do modelo tridimensional do ouvido humano.

Exercício proposto para o momento presencial:

1. Utilizando o modelo tridimensional do ouvido humano no *Mozaik 3D*, identifique as diferentes partes envolvidas no processo de condução das ondas sonoras e descreva a função de cada parte no processo de audição.
2. Selecione uma frequência sonora aguda e uma grave e compare como cada uma é percebida pelo ouvido humano. Utilize o modelo tridimensional do ouvido no *Mozaik 3D* para explicar como as diferentes partes do ouvido reagem a cada frequência.

Depois da aula

Para este momento foi criado no *Google Classroom* o seguinte exercício:

Encontre no modelo tridimensional do ouvido no *Mozaik 3D*, as partes que podem ser afetadas por problemas auditivos, como a perda de audição. Descreva a causa e os efeitos desse problema.

Terceiro ciclo

Antes da aula:

Tema: Ondas sonoras e poluição sonora

Objetivos:

- Compreender o conceito de poluição sonora;
- Identificar as principais fontes de poluição sonora;
- Conhecer os efeitos da poluição sonora na saúde e no meio ambiente.

Recursos necessários:

- Vídeo aula sobre poluição sonora;
- Texto sobre poluição sonora;
- Fórum de discussão no *Google Classroom*;
- *Google* documentos para anotações.

Desenvolvimento

Atividades:

1. Assistir a vídeo aula intitulada “Poluição sonora” do canal “MR Aprendizagem”.
Disponível em: <https://youtu.be/j1j9FR7-XX4> .
2. A partir do vídeo responder ao exercício:
 - a) O que é poluição sonora?
 - b) Quais são as fontes mais comuns de poluição sonora em áreas urbanas?
 - c) Quais são os efeitos da poluição sonora na qualidade de vida das pessoas?
 - d) Quais medidas podem ser adotadas para reduzir a poluição sonora em ambientes urbanos?
3. Participar do fórum de discussão no *Google Classroom* respondendo ao exercício: “Quais são os níveis seguros de exposição a sons intensos para prevenir danos na audição?”
4. Utilizando o *Google* Documentos fazer anotações sobre o vídeo, resumo, perguntas a serem discutidas na sala de aula.

Durante a aula

Tema: Poluição sonora

Objetivos:

- Compreender o conceito de poluição sonora e suas consequências para a saúde humana e meio ambiente;

- Identificar as principais fontes de poluição sonora;
- Aprender a medir a poluição sonora e identificar situações de risco;
- Refletir sobre medidas que podem ser adotadas para prevenção e redução da poluição sonora.

Recursos:

- Projetor multimídia;
- Dispositivos móveis;
- Exemplo de decibelímetro (pode ser um aplicativo de celular);
- Acesso à internet.

Desenvolvimento

Atividades:

4. Retomada do conteúdo do vídeo (10 min)

Apresentação do conteúdo teórico sobre poluição sonora, causas, efeitos à saúde, fontes de poluição e legislação.

1. Perguntas e respostas sobre o vídeo (10 min)

Discussão sobre o exercício, deixado após a vídeo aula, esclarecendo dúvidas sobre o vídeo e o exercício proposto;

5. Resolução de exercícios ou soluções de problemas (30 min)

Para este momento será necessário a utilização de um aplicativo para a medição de ruído do ambiente, decibelímetro, ficando a critério de escolha dos alunos qual aplicativo usar.

Exercício proposto para o momento presencial:

Escolha um local da escola que, em sua opinião, seja o mais afetado pela poluição sonora e utilize o decibelímetro para medir o nível de ruído no local escolhido, registre os valores obtidos, e discuta os possíveis efeitos da exposição prolongada a esses níveis de ruído e como poderiam reduzir o nível de ruído no ambiente escolhido.

Depois da aula

Para este momento foi criado no *Google Classroom* o seguinte exercício:

Utilizando o *Google Jamboard* construam um mural colaborativo sobre os efeitos da poluição sonora e medidas de prevenção e controle.

Algumas questões que podem ser exploradas no mural colaborativo incluem:

- Quais são os principais tipos de fontes de poluição sonora?

- Como a exposição prolongada a níveis elevados de ruídos afeta a saúde humana?
- Quais são as principais medidas de prevenção da poluição sonora?
- Como podemos reduzir o ruído em ambientes urbanos e residenciais?
- Quais são as principais normas e regulamentações relacionadas à poluição sonora?
- Quais são as implicações sociais, econômicas e ambientais da poluição sonora?

Avaliação

A avaliação será de forma contínua, isto é, em todo o processo de aplicação da sequência didática, com as atividades propostas esperamos que os alunos possam desenvolver habilidades e competências de maneira progressiva. Portanto, propomos alguns critérios de avaliação como:

- Participação ativa no fórum de discussão e na sala de aula;
- Qualidade e clareza de resposta das atividades propostas e das produções;
- Capacidade de trabalhar em equipe, colaboração e comunicação entre os integrantes;
- Compreensão dos conceitos.

Após aplicação da proposta de sequência didática, propomos a aplicação de um questionário (Apêndice B) a fim de obter o *feedback* dos alunos sobre a proposta, quanto a adequação desta aos objetivos propostos, clareza na organização e apresentação da sequência didática, concordância entre os objetivos específicos, e relevância dos recursos e tecnologias utilizados, se contribuiu para o ensino e aprendizagem do conteúdo.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Neste capítulo, discutiremos a respeito da proposta de sequência didática elaborada para o ensino de ondas sonoras sob a perspectiva da audição humana, e a metodologia da sala de aula invertida como meio para seu desenvolvimento e implementação. A partir da organização proposta para a inversão da sala de aula, segundo Bergmann e Sams (2018) e Schmitz (2016), buscou-se criar um conjunto de atividades articuladas que pudessem contribuir para uma compreensão mais profunda e significativa do fenômeno de onda sonora combinado ao sentido da audição.

A metodologia de sala de aula invertida mostrou-se pertinente para a abordagem desejada, pois está centralizada no aluno o processo de ensino e aprendizagem, possibilitando um estudo prévio do conteúdo a ser explorado em aula, onde haverá discussões mais profundas e atividades práticas de modo a promover nos estudantes habilidades cognitivas e socioemocionais (Schmitz, 2016).

Para cada momento em cada ciclo de aula invertido foram definidos objetivos claros e alinhados com cada conteúdo a ser explorado. Esses objetivos foram estabelecidos após uma análise dos principais tópicos de ondas sonoras e biofísica da audição humana, com o propósito de que os alunos adquiram tanto conhecimentos teóricos como práticos.

Os conteúdos foram organizados de modo que oferecessem uma progressão lógica e coerente. Primeiro ciclo aborda aspectos das ondas sonoras, o segundo ciclo a audição humana, sendo base para o terceiro ciclo sobre poluição sonora. Essa ordem ajuda os estudantes a construir seu conhecimento de maneira gradual e mais compreensiva. Vale ressaltar que estes conteúdos são apresentados de forma acessível, através de vídeo aulas claras e de fácil entendimento.

As atividades propostas permitem que os alunos explorem os conceitos de forma prática, através de recursos como o *GeoGebra*, o modelo tridimensional do ouvido humano e o aplicativo decibelímetro contribuem para uma experiência de aprendizado mais dinâmica e torna os conceitos menos abstratos.

A avaliação dos alunos é contínua, considerando diferentes critérios como, participação, realização das atividades e trabalho em equipe. Além disso, propomos mecanismos para obter o *feedback* dos alunos quanto à eficácia da proposta e da abordagem de sala de aula invertida. Necessário para que melhorias possam ser realizadas de modo a atender as necessidades de aprendizagem dos alunos.

Portanto, a proposta de sequência didática apresentada pode contribuir para uma abordagem mais dinâmica e interativa do tema em estudo, tornando o processo de aprendizagem mais atrativo e significativo para os estudantes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, apresentamos nossas reflexões e conclusões em relação ao desenvolvimento da sequência didática para o ensino de ondas sonoras em uma abordagem biofísica da audição humana e a adoção da metodologia de sala de aula invertida para sua implementação. Este tema surgiu da necessidade de se buscar metodologias que pudessem tornar as aulas de física mais envolventes e dinâmicas para alunos do Ensino Médio.

A temática de ondas sonoras é importante para o ensino de física e presente no cotidiano dos alunos, no entanto este por muitas vezes é abordado de forma mecânica e descontextualizada da realidade dos estudantes. Ao utilizar a abordagem biofísica da audição humana, a proposta busca tornar o conteúdo menos abstrato e mais contextualizado ao cotidiano dos alunos, favorecendo um maior entendimento do tema. A escolha de utilizar a metodologia de sala de aula invertida tem como objetivo tornar o processo de ensino e aprendizagem mais dinâmico e participativo, incentivando uma postura mais ativa dos alunos frente ao seu processo de aprendizagem.

Diante disso, este trabalho objetivou produzir uma sequência didática que fornecesse os subsídios necessários para uma compreensão mais significativa das ondas sonoras e do sentido da audição, ao mesmo tempo em que incentiva os alunos a serem mais participantes em sua aprendizagem. Constata-se que o objetivo geral foi atendido pois apresentamos a sequência de ensino a qual havíamos nos propostos a desenvolver.

Acreditamos que nosso trabalho tem potencial para contribuir de maneira satisfatória para o ensino de ondas sonoras e biofísica da audição humana. A implementação prática pode apresentar desafios como a falta de recursos tecnológicos e restrições de tempo, mas nossa proposta pode ser adaptada para atender às necessidades específicas de diferentes contextos educacionais.

Para pesquisas futuras sugerimos, a sua aplicação prática em sala de aula, para testar sua eficácia, bem como pesquisas que investiguem sua adaptação em diferentes contextos educacionais ou em disciplinas relacionadas. Acreditamos que as contribuições teóricas, a sequência didática e as reflexões apresentadas, possam contribuir para a pesquisa educacional em ensino de física.

REFERÊNCIAS

BACICH, Lilian; NETO, Adolfo Tanzi; TREVISANI, Fernando de Mello. **Ensino híbrido**: personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre: Penso, 2015.

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. **Neurociências**: desvendando o sistema nervoso. Porto Alegre: Artmed, 2017. il. color.

BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. **Sala de aula invertida**: uma metodologia ativa de aprendizagem. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

BOGDAN, Roberto C.; BIKLEN, Sari. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto, 1994.

BORTOLOSSI, Humberto José. **Ouvindo uma onda senoidal**, 2017. Disponível em: <https://www.geogebra.org/m/HzUcaYb8>. Acesso em: 19/09/2023. il. color.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso: 10/05/2023.

BRUSDZENSKI, Thais Teixeira da Costa Portes; BELMONTE, Valéria Nunes; TAVARES, Bernardo Mattos. SALA DE AULA INVERTIDA NO ENSINO DE FÍSICA PARA OS ANOS INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL. **Revista do Professor de Física**, v. 6, n. Especial, p. 88-97, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/45935>. Acesso em: 26/07/2023

CARVALHO, Lavínia Sousa de. **Fisiologia do som**, 2016. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/9422279/>. Acesso em: 09/07/2023. il. color.

CONFORTIN, Carolina Krupp Consul; IGNÁCIO, Patrícia; COSTA, Rosângela Mene-gotto. Uma aplicação da sala de aula invertida no ensino de física para a Educação Básica. **Revista Educar Mais**, v. 2, n. 1, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.15536/reducarmais.2.2018.%p.1231>. Acesso em: 26/06/2023.

DIESEL, Aline; BALDEZ, Alda Leila Santos; MARTINS, Silvana Neumann. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. **Revista Thema**, v. 14, n. 1, p. 268-288, 2017. Disponível: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/404>. Acesso: 05/06/2023.

DURÁN, José Enrique Rodas, **Biofísica**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

FLIPPED LEARNING NETWORK. Definition of flipped learning. South Bend, IN: Flipped Learning, 2014. disponível em: <https://flippedlearning.org/definition-of-flipped-learning/>. Acesso em: 15/06/2023.

GARCIA, Eduardo A. C. **Biofísica**. São Paulo: Sarvier, 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. v. 2, 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HENEINE, Ibrahim Felipe. **Biofísica Básica**. São Paulo: Atheneu, 2001.

MEDEIROS, Tales Quirino. **Ondulatória**: onda eletromagnética, 2019. Disponível em: <https://www.geogebra.org/m/x3m6ubyd>. Acesso em: 05/07/2023. il. color.

MORAN, José. Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda. *In*: BACICH, Lilian; MORAN, José. **Metodologias ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200451, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxFhQLy/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 18/05/2023.

OLIVEIRA, Tobias Espinosa de; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Sala de aula invertida (flipped classroom): Inovando as aulas de física. **Física na escola**. São Paulo. v 14, n. 2, p. 4-13, out. 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/159368>. Acesso em: 12/06/2023.

OLIVEIRA, Renê. **Voo do morcego e a ultrassonografia**, 2023. Disponível em: <https://vemlerciencia.com.br/2023/06/23/voo-do-morcego-e-a-ultrassonografia/>. Acesso em: 08/07/2023. il. color.

OKUNO, Emico; CALDAS, Iberê Luiz; CHOW, Cecil. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: HARBRA, 1982.

RUI, Laura Rita. **Uma proposta de introdução de conceitos físicos na 8a. série através do som, e algumas importantes curiosidades e aplicações do seu estudo**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/11192>. Acesso em: 12/07/2023.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, María del Pilar Baptista. Metodologia de pesquisa. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SILVA, Ronaldo Conceição da. Ensino de física moderna em um processo de sala de aula invertida: reflexões e potencialidades. **Horizontes-Revista de Educação ISSN 2318-1540**, v. 6, n. 12, p. 141-153, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/hre.v6i12.9187>. Acesso em: 26/06/2023.

SILVERTHORN, Dee Unglaub. **Fisiologia humana**: uma abordagem integrada. 7 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

SCHNEIDERS, Luís Antônio. **O método da sala de aula invertida (flipped classroom)**. Lajeado: ed. da UNIVATES, 2018. Disponível em: <https://www.univates.br/editora-univates/publicacao/256>. Acesso em: 17/06/2023

SCHMITZ, Elieser Xisto da Silva. **Sala de aula invertida: uma abordagem para combinar metodologias ativas e engajar alunos no processo de ensino-aprendizagem**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Educacionais em Rede) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/12043>. Acesso: 18/06/2023.

STUDART, Nelson. Inovando a ensinagem de física com metodologias ativas. **Revista do Professor de Física**, v. 3, n. 3, p. 1-24, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/28857>. Acesso em: 11/06/2023.

TESTES de Rinne e Weber para nunca mais esquecer. **Neuro Brasil**, 2015. Disponível em: <http://neurobrasil.blogspot.com/2015/01/testes-de-rinne-e-weber-para-nunca-mais.html>. Acesso em: 03/08/2023. il. p&b.

TIPLER, Paul, A.; GENE, Mosca. **Física para cientistas e engenheiros**. v.1, 6. ed. São Paulo: LTC, 2009.

TIRINHAS para ensino de física: ondas mecânicas. **Arte da Física em Quadrinhos**, 2019. Disponível em: <https://artedafisicapibid.blogspot.com/2019/07/tirinhas-diversas-ondas-mecanicas.html>. Acesso em: 09/09/2023. il. color.

VALENTE, José Armando. Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida. **Educar em revista**, p. 79-97, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/er/a/GLd4P7sVN8McLBcbdQVyZyG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 08/06/2023.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A., **Física II: termodinâmica e ondas**. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

ZABALA, Antoni. A prática educativa. Porto Alegre: Penso, 1998.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PERFIL DOS ALUNOS E CONHECIMENTOS PRÉVIOS

1. Você possui acesso à internet em casa?
☐ Sim
☐ Não
2. Quais dispositivos você possui que podem ser usados para realizar as atividades da proposta?
☐ Computador
☐ Notebook
☐ Tablet
☐ Smartphone
☐ Outro: _____
3. Você já participou de alguma disciplina em que tenha sido utilizado uma plataforma virtual de aprendizagem?
☐ Sim, qual ? _____
☐ Não
4. Você se sente confortável em utilizar ferramentas tecnológicas em suas atividades escolares? Justifique.
☐ Sim
☐ Não
5. Qual sua expectativa em relação à proposta que será aplicada utilizando a metodologia de sala de aula invertida e o ambiente virtual de aprendizagem?
 1. Você já teve contato com os conteúdos que serão abordados na proposta?
☐ Sim
☐ Não
 2. Em caso afirmativo para a pergunta anterior, qual seu nível de conhecimento em relação aos conteúdos?
 3. Você tem alguma sugestão ou dúvida em relação à utilização da metodologia de sala de aula invertida e do ambiente virtual de aprendizagem que será utilizado nesta proposta? Em caso afirmativo, quais seriam?

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO AVALIAÇÃO DA PROPOSTA

1. Você considera que a abordagem da metodologia ativa de sala de aula invertida contribuiu para o seu aprendizado? Por quê?
2. Você considera que a proposta de sequência didática foi adequada para o desenvolvimento dos conteúdos? Por quê?
3. Você se sentiu mais motivado(a) com essa metodologia do que com aulas expositivas tradicionais? Por quê?
4. Como você avalia a utilização do ambiente virtual de aprendizagem *Google Classroom* na proposta de sequência didática? Foi útil para o seu aprendizado? Por quê?
5. Qual sua opinião sobre as ferramentas tecnológicas auxiliares utilizadas na proposta da sequência didática, como o *GeoGebra* e os aplicativos *Mozaik 3D* e decibelímetro? Elas contribuíram para o seu aprendizado? Por quê?
6. O professor conseguiu explicar os conceitos de forma clara e compreensível?
7. Você tem alguma sugestão para melhorias na proposta de sequência didática apresentada? Quais seriam?