

**UMA PROPOSTA DE ATIVIDADE INVESTIGATIVA
ORIENTADA POR DESIGN-BASED RESEARCH
UTILIZANDO UM EXPERIMENTO CONTROLADO
REMOTAMENTE SOBRE ONDAS ESTACIONÁRIAS**

A PROPOSAL OF AN INVESTIGATIVE ACTIVITY BUILT UPON DESIGN-BASED RESEARCH AND EMPLOYING A REMOTE-CONTROLLED EXPERIMENT ABOUT STANDING WAVES

Thiago Costa Caetano¹
Mikael Frank Rezende Júnior²
Camila Cardoso Moreira³

Resumo

Neste trabalho apresentamos uma proposta de atividade investigativa sobre ondas estacionárias que emprega um experimento controlado remotamente. A metodologia Design-Based Research foi empregada para orientar a construção da proposta e os resultados em termos de qualidade e de aprendizagem indicaram ser esta uma ferramenta adequada ao mapeamento das etapas de desenvolvimento de experimentos. Observamos que os estudantes apresentaram avanços no que concerne à metodologia experimental. Esses resultados se baseiam em dados que foram coletados por meio de questionários on-line aplicados antes e após a conclusão da atividade, nas produções individuais dos estudantes disponíveis no ambiente virtual da disciplina, e nas observações realizadas durante os encontros virtuais.

Palavras chave: Atividades investigativas; Laboratórios Remotos; Design-Based Research; Ondas estacionárias

Abstract

In this paper, we present a proposal of an investigative activity on standing waves which makes use of a remote-controlled experiment. The proposal was drawn upon the Design-Based Research and the results have shown it to be a valuable methodology when it comes to the quality and the learning outcomes of the activity. We noticed advances in students' accomplishments regarding the experimental methodology. These results are based on the data collected through the online

1 Doutor em Ciências com ênfase em Astronomia pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. Professor da Universidade Federal de Itajubá.

2 Doutor em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina. É Professor Titular da Universidade Federal de Itajubá e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências.

3 Doutora em Educação para a Ciência pela UNESP de Bauru-SP.

questionnaires applied before and after the activity, on the individual production available on the learning virtual environment, and on the observations carried out during the virtual meetings.

Keywords: Investigative Activities; Remote Laboratories; Design-Based Research; Standing Waves

Introdução

Neste trabalho buscamos elaborar e discutir uma proposta de atividade investigativa cujo elemento central consiste em um experimento didático controlado remotamente, referente ao tema de Ondas Estacionárias (OE), pertencente à ementa da disciplina “Física Experimental II”, a qual é oferecida no terceiro período dos cursos de Física, Licenciatura e Bacharelado.

Atividades experimentais são consideradas imprescindíveis no ensino (SANDOVAL; CUDMANI, 1992; DELIZOICOV; ANGOTTI, 1994; HODSON, 1996; ARRUDA; LABURÚ, 1998; PINHO ALVES, 2000; BORGES, 2002; ARAÚJO; ABIB, 2003; SERÉ; COELHO; NUNES, 2003; BINSFELD; AUTH, 2011) e têm demonstrado grandes potencialidades para familiarizar os estudantes com os métodos da Ciência, além de constituírem uma forma de fomentar discussões em torno da natureza e da história da Ciência. A utilização de atividades experimentais como atividades didáticas auxilia no desenvolvimento do raciocínio lógico dos estudantes; contribui para melhorar o seu desempenho na análise de situações-problema e sua atuação em processos de tomada de decisão; facilita a compreensão de conceitos abstratos e contribui para que se estabeleçam relações entre o conteúdo teórico e elementos concretos, ou entre a teoria e a prática (SANTOS, 2019, MAY, 2023).

Nos cursos inicialmente mencionados, as atividades experimentais são oferecidas em disciplinas específicas paralelamente às disciplinas teóricas. Na divisão tradicional da estrutura dos cursos de física, por exemplo, o conteúdo da Mecânica Clássica é oferecido no segundo período, Oscilações e Termodinâmica no terceiro período, Eletromagnetismo no quarto e Física Moderna no quinto. Na componente prática da disciplina “Oscilações e Termodinâmica” são oferecidas tipicamente seis atividades experimentais em formato presencial. Contudo, a partir do ano de 2020, por conta das medidas adotadas no combate à proliferação da Covid-19, as atividades presenciais foram suspensas.

A transição entre esses modelos representou um grande desafio para a comunidade docente, contudo, esses desafios foram – e ainda são – mais intensos quando se trata de atividades experimentais, especialmente no Ensino Superior (NAVARRO-ESPINOSA et al., 2021; GALARCE-MIRANDA et.al, 2022; MAY,2023). Isso porque, na Educação Básica, infelizmente, atividades experimentais sempre foram pouco empregadas devido a diversos fatores, principalmente ligados à formação docente e à infraestrutura escolar (WESENDONK; TERRAZZAN, 2020). Entretanto, mesmo diante dessas particularidades, utilizar atividades experimentais em um cenário restritivo é um grande desafio.

Nesse contexto de alternativas didáticas ao cenário imposto pela pandemia, observou-se cotidianamente docentes recorrendo a simulações, vídeos, experimentos caseiros e, em alguns casos, até mesmo substituindo o experimento por um estudo teórico com exemplificações retiradas da prática experimental. Embora discussões nesse sentido não façam parte do escopo deste trabalho, não podemos deixar de mencionar que é possível perceber que ocorreu uma intensificação das distorções metodológicas que já existiam no uso das atividades experimentais (HODSON, 1996) e ficou ainda mais evidente que o seu papel no ensino ainda não está claro. Tendo isso em consideração e as limitações impostas pelo cenário da pandemia, temos desenvolvido e explorado uma alternativa, a saber, a utilização de experimentos didáticos reais que podem ser controlados remotamente pela internet (CAETANO, 2019; 2021; JAMSHIDI; MILANOVIC, 2022).

Na disciplina aqui relatada, foram oferecidas cinco atividades, todas baseadas em experimentos dessa natureza. Neste trabalho apresentamos os aspectos da elaboração e da implementação de uma dessas atividades, a qual está relacionada ao tópico “Ondas Estacionárias” (OE). Para a sua elaboração recorreremos à metodologia conhecida por Design-Based Research (DBR), a qual tem se mostrado uma ferramenta promissora quando se trata de fornecer soluções para problemas no contexto educacional (RESEARCHER, 2003; EASTERDAY, LEWIS; GERBER, 2014; GUIASOLA et al., 2017).

Para a estruturação deste artigo, faremos uma apresentação e discussão da DBR em cada uma das suas fases de desenvolvimento. Na Seção II apresentamos o experimento que foi empregado neste trabalho. Passamos então para a seção em que a atividade é apresentada em linhas gerais e depois, em outra seção, discutimos os aspectos mais relevantes da sua implementação e as principais ações de refinamento.

A última seção contém nossas considerações com algumas ponderações pertinentes à adaptação da atividade para outros cenários.

Aspectos Metodológicos do Planejamento da Atividade

Relatamos aqui o planejamento e o desenvolvimento de uma atividade prática investigativa envolvendo um experimento didático controlado remotamente, utilizando a DBR como metodologia. Este planejamento implicou a produção de roteiros e materiais didáticos que pudessem ser úteis na execução da atividade e levou em consideração que ela seria realizada por estudantes do Ensino Superior durante a pandemia da Covid-19, o que implicava distanciamento social e que todas as discussões/interações deveriam ocorrer de forma remota, em uma plataforma digital institucional.

Vários pesquisadores têm utilizado a DBR nos últimos anos e, apesar de existirem alguns questionamentos sobre a metodologia, sua validade e sua eficácia, a comunidade parece concordar que ela tem potencial para fornecer soluções efetivas dentro do contexto educacional (WANG; HANNAFIN, 2005; EASTERDAY; LEWIS; GERBER, 2014). Um dos seus aspectos mais interessantes refere-se ao fato de que ela possibilita avançar com o desenvolvimento de determinada solução ao mesmo tempo em que permite uma compreensão teórica do problema. No caso deste trabalho, ficará evidente que os problemas/dificuldades de aprendizagem relacionados ao tópico OE se tornaram gradualmente melhor compreendidos à medida que esta proposta foi sendo desenhada.

A DBR possui um caráter dinâmico e recursivo que torna isso possível e a solução obtida por meio do processo possui a vantagem de se caracterizar como um produto contextualizado, adaptado à situação-problema desde o momento da sua concepção, ao invés de ser uma solução teórica que ainda precisará ser corroborada. Mas dentre as dúvidas que pairam em torno do uso dessa metodologia, uma delas está relacionada à falta de uma definição clara de suas fases. Por essa razão, neste trabalho iremos empregar a definição sugerida por Easterday, Lewis e Gerber (2014), segundo a qual a DBR “integra projeto e métodos científicos para permitir que pesquisadores gerem produtos úteis e teorias efetivas para a solução de problemas individuais e coletivos em educação” (Ibid., tradução nossa, p.7). De acordo com os autores, podemos considerar seis fases iterativas: A) foco ou delineamento do

problema a ser abordado; B) compreensão do problema; C) definição dos objetivos e indicadores; D) concepção das ações para solução do problema; E) implementação da ação concebida e F) avaliação da eficácia da solução.

Foco

Nessa fase delineamos o conteúdo a ser tratado na atividade, a forma como ele será abordado com relação ao currículo e para quais estudantes esse conteúdo será ministrado (GUISASOLA et al., 2017). A atividade planejada pertence à ementa da disciplina Física experimental II – FIS273 de um curso de Licenciatura em Física em uma Universidade Federal. Um total de vinte alunos matricularam-se nessa disciplina no primeiro semestre de 2021. Trata-se de uma turma diversificada, em termos de gênero, com estudantes na faixa etária de 19 a 21 anos, todos residentes em uma área com menos de 50 km de raio a partir da universidade.

Genericamente, o conteúdo da disciplina abrange gravitação, ondas e termodinâmica, que corresponde ao conteúdo do livro-texto que é utilizado na disciplina, neste caso a obra de Halliday, Resnick e Walker (2018). Especificamente, a atividade refere-se à temática de OE e a abordagem deve ser predominantemente experimental, como a disciplina sugere. Buscando alternativas didáticas para contrapor as limitações impostas pela pandemia, foi feito uso do acervo de um laboratório de experimentação remota da referida instituição, e que, neste caso, é particularmente propício ao desenvolvimento de atividades investigativas, em virtude das características dos seus experimentos (CAETANO, 2019).

Ao acessá-los, é possível perceber que foram desenvolvidos para permitirem superar as limitações de trabalhos meramente demonstrativos ou de verificação, pois, de uma forma geral, os controles disponibilizados nos experimentos permitem que os usuários realizem diversos procedimentos experimentais, em que as medidas são feitas muitas vezes diretamente em instrumentos reais. Desse modo, os usuários têm que lidar com erros no processo de medição: instrumentais, humanos, ambientais, etc. Além do mais, o sucesso da investigação dependerá do planejamento adequado do procedimento experimental, planejamento este que está relacionado com a percepção/compreensão que os estudantes possuem acerca da teoria, da ciência e dos seus métodos.

Por todos esses fatores, a abordagem escolhida apresentou um caráter investigativo e, para dar suporte a sua realização, utilizamos as ferramentas do ambiente virtual de aprendizagem (AVA) empregado na disciplina, o Moodle. Foram também analisados os dados provenientes dos fóruns de discussão deste AVA, utilizados para promover questões problematizadoras e instigar os estudantes a buscarem novas respostas e soluções a partir da utilização do experimento. Também foi prevista a realização de encontros síncronos, os quais ocorreram com auxílio de alguma das ferramentas disponíveis para encontros virtuais.

Compreensão do Problema

Nesta fase são reunidas as informações disponíveis sobre dificuldades na aprendizagem do tema e soluções que tenham sido propostas. É possível ainda que seja necessário obter algumas dessas informações empiricamente. A título de exemplo, é útil conhecer as concepções prévias dos estudantes acerca do tema. No caso deste trabalho, em particular, também seria útil ter uma noção da sua familiaridade com tecnologias digitais. Parece haver um consenso na literatura de que a aprendizagem acerca do tema OE muito se beneficia de demonstrações experimentais e atividades práticas. Há trabalhos que propõem alternativas nesse sentido, as quais estão baseadas em uma variedade de recursos e contemplam contextos diferentes. Existem propostas que utilizam materiais de baixo custo, alguns dispositivos mais difundidos como computadores e smartphones, e até mesmo placas Arduino[®]. (NORBIATO 2019; GUEDES 2015; CAVALCANTE; PEÇANHA; TEIXEIRA 2013; NEVES, 2013; TONEGUZZO; COELHO, 1990).

A maioria desses trabalhos descreve aparatos e propostas de atividades voltadas para o Ensino Médio (EM), contudo, extrapolamos que seja possível que alguns dos pressupostos e ideias desses estudos possam também auxiliar o contexto do Ensino Superior. Por exemplo, os autores citam a falta de motivação, o desinteresse e a dificuldade em visualizar o fenômeno – ondas estacionárias – sem o auxílio de um experimento como fatores que dificultam a aprendizagem do tema. Considerando que boa parte dos estudantes da disciplina concluiu o EM há apenas um ano, aproximadamente, podemos inferir que esses fatores pouco se alteraram e, portanto, continuam válidos no contexto da disciplina em que a atividade será aplicada.

Outro aspecto relevante a se considerar é que as propostas nesses trabalhos estão voltadas para o ensino presencial. A mudança para um cenário onde o experimento é controlado remotamente, portanto, levanta uma série de novas questões, de novas preocupações inerentes à compreensão do problema. Por exemplo, que fatores são introduzidos por esse novo formato e que poderão dificultar a aprendizagem dos conceitos? Que adaptações precisam ser feitas no experimento para que os resultados sejam satisfatórios em termos de aprendizagem? Podemos assumir que os estudantes estão suficientemente familiarizados com o computador e com a internet, ou é necessário prepará-los antes? Como deve ser feita a avaliação quando não podemos observar diretamente a interação dos estudantes com o experimento? Quais as formas disponíveis para mapearmos/acompanharmos essas interações? Que instrumentos de análise seriam indicados para a investigação e que dados seriam relevantes analisar?

O fato de nem todas as respostas serem conhecidas de antemão, ou algumas delas possuírem caráter provisório apenas, está em acordo com os princípios metodológicos da DBR, pois trata-se mesmo de um processo recursivo, não linear e dinâmico, que possibilita o desenvolvimento concomitante tanto da teoria como do próprio projeto. Os resultados desse processo se tornarão mais evidentes em fases posteriores, especialmente na quinta fase (ou fase E, implementação), em que o currículo idealizado é implementado.

Devemos ainda considerar que em uma atividade prática centrada em um experimento remoto é preciso certificar-se de que o experimento ofereça elementos que compensem o fato de que os estudantes serão privados de uma experiência sensorial plena. Ou seja, que ele ofereça outros meios de se obter as informações que normalmente provêm dos nossos sentidos. No experimento sobre OE, os estudantes contarão com as imagens transmitidas pelas câmeras para analisarem o que acontece e isso deverá ser suficiente para que eles elaborem modelos adequados para compreenderem o fenômeno.

À guisa de ilustração, em um estudo realizado por Ribeiro (2018), o experimento “Anel de Thomson” foi utilizado com estudantes do EM tanto na sua forma presencial, como na sua forma remota. Os estudantes que participaram realizando o experimento presencialmente foram mais bem-sucedidos explicando o fenômeno da indução eletromagnética porque tiveram a oportunidade de tocar o anel enquanto este levitava sob o efeito do campo magnético, assim puderam perceber que o anel estava

aquecido e isso os levou a questionar o que poderia estar acontecendo. Resultados como este devem ser entendidos como parâmetros norteadores para a construção e melhoria dos experimentos, e não serem tomados como uma crítica superficial ao método da experimentação remota, tampouco como limitações dos experimentos. No exemplo, o experimento remoto poderia ter essa deficiência corrigida por meio de uma câmara térmica, onde estudantes poderiam “enxergar” a propagação de calor no anel.

Assim, é possível ter uma noção dos fatores que normalmente representam um empecilho à aprendizagem do tema e das abordagens mais comumente empregadas para ensiná-lo. Também é possível compreender o impacto que poderá ser provocado pela introdução de um experimento controlado remotamente na atividade. Já em referência à familiaridade dos estudantes com TD e aos métodos de avaliação, presumimos que atualmente os estudantes possuem familiaridade com tais recursos, entretanto, isso nem sempre é verdadeiro.

Desta forma, com o objetivo de conhecer melhor as características do nosso público-alvo e ampliar, portanto, a compreensão do problema – essencialmente um problema de aprendizagem – utilizamos um questionário on-line contendo trinta perguntas agrupadas em três categorias e com diferentes formatos (fechada com escolha única, fechada com escolha múltipla, textuais abertas, etc.). A primeira delas continha perguntas que visavam determinar os hábitos dos estudantes com relação ao uso das TD – se possuem um computador, com que frequência navegam na internet, que tipo de programas usam mais frequentemente e o nível de dificuldade que atribuem à utilização dos recursos.

A segunda categoria refere-se ao uso das TD nas disciplinas que os estudantes estavam cursando. Aqui procuramos investigar se estavam satisfeitos com a forma com que as TD vinham sendo empregadas nas aulas, o que consideram positivo e negativo nas práticas em que estavam participando. A última categoria referia-se ao conteúdo específico – ondas estacionárias. As perguntas nessa categoria nos auxiliaram em identificar concepções equivocadas, em saber mais a respeito do conhecimento prévio dos estudantes e em avaliar o domínio sobre a linguagem técnico-científica, entre outros aspectos.

O questionário foi respondido por 65% dos estudantes matriculados na disciplina (13 estudantes). A análise das respostas revelou que eles não possuíam a facilidade esperada com relação à utilização das TDs; alguns deles declararam até ter certa dificuldade no assunto. Essas informações foram fundamentais para que

podéssemos delinear as demandas de aprendizagem, consideradas uma das ferramentas de design na DBR, conforme apontado por Guisasola et al. (2017). Com respeito a essas informações, alguns resultados são apresentados na Tabela 1, onde expomos algumas das possíveis implicações que representam para o desenvolvimento da atividade.

Dentre as informações da tabela está o grau de satisfação dos estudantes com relação à forma com que determinados recursos digitais vinham sendo utilizados nas aulas. Com base nessas informações, concluímos que era necessária cautela durante o planejamento e no emprego de recursos como vídeo-tutoriais, videoaulas, textos estáticos, hipertextos, encontros virtuais, slides e questionários. Ressaltamos que o grau de satisfação ou insatisfação foi aferido com respeito à utilização e não com relação ao recurso propriamente. Isso deixa margem à interpretação de que é possível alterar essa percepção dos estudantes desde que os recursos sejam utilizados de outra forma, mais adequada, do ponto de vista dos estudantes.

Tabela 1: implicações das falas dos estudantes para o desenvolvimento da proposta

	Resultados	Implicações/Ações
Hábitos relacionados ao uso das tecnologias digitais	1. Todos os respondentes possuem um computador em casa e 50% deles passa mais de 5 horas diárias navegando na internet. A frequência com que navegam na internet aumentou, de acordo com 91,7% dos respondentes.	Confere flexibilidade aos horários de acesso; Contribui para uma interação mais frequente; Encontros virtuais para trabalho em grupo; Acesso à – todo tipo de – informação; Assimilam rapidamente novas funcionalidades; Qualidade da conexão pode não ser uniforme.
	2. A grande maioria dos respondentes utiliza navegadores que foram testados durante o desenvolvimento das interfaces do Labremoto.	Compatibilidade entre recurso e navegador; Universalização dos vídeo-tutoriais; Padronização de informações; Facilita a comunicação entre os estudantes; Agiliza a resolução de falhas técnicas; São necessários novos testes na interface.
	3. Todos os respondentes estão versados em múltiplos sistemas operacionais (SO).	Diversificação de recursos/ferramentas disponíveis; Confluência de habilidades e técnicas variadas entre os estudantes; Possibilidade de padronização;
	4. A grande maioria dos respondentes nunca utilizou um experimento controlado remotamente.	Introdução do projeto “Laboratório Remoto”; Familiarização dos estudantes com o recurso; Panorama da atividade proposta; Descrição detalhada e clara dos equipamentos utilizados; Elaboração de materiais instrucionais específicos; Estudo dirigido.
	5. A maioria declara ter facilidade – mas não extrema facilidade – com o uso das tecnologias digitais. Há casos que declaram ter dificuldades.	Promover a aprendizagem acerca da utilização das tecnologias digitais; Fomentar ações individuais; Acompanhamento individualizado; Conteúdo dinâmico; Instrumentos apropriados para avaliação formativa;

Percepção dos estudantes quanto à utilização das TDs nas aulas	6. A maioria dos respondentes é indiferente à forma com as tecnologias digitais vêm sendo empregadas nas aulas.	Propor a construção coletiva de atividades; Disponibilização de canais para feedback; Atentar para o processo de mediação; Buscar uma participação mais ativa dos estudantes;
	7. No geral, os respondentes consideram que todas as disciplinas devam ser oferecidas presencialmente quando possível (pós pandemia).	Enfatizar as particularidades da experimentação remota; Buscar promover um ambiente de trabalho diversificado, potencializado, melhorado pelo uso das tecnologias digitais;
	8. Citam como exemplos positivos do uso das tecnologias digitais a utilização de videoaulas, a realização de encontros síncronos com grupos reduzidos e a realização de atividades práticas.	Utilização de recursos mais aceitos entre os estudantes; Rever a utilização de outros recursos; Oferecer aos estudantes meios de compartilharem sua percepção sobre a utilização desses recursos; Uso de atividades experimentais;
	9. Consideram como exemplos negativos para o uso das tecnologias: leitura de slides, excesso de atividades com prazos exíguos, utilização de aulas preparadas por terceiros e videoaulas muito longas.	Atentar para a quantidade e para o prazo das atividades; Evitar as práticas consideradas negativas pelos estudantes; Flexibilidade do cronograma;
Conteúdo específico relacionado a ondas estacionárias	10. A maioria dos respondentes compreende a diferença entre ondas mecânicas e eletromagnéticas, mas alguns expressam essa diferença de forma vaga, incoerente e imprecisa.	Revisão de conteúdo; Embasamento teórico preliminar; Atividades avaliativas curtas para averiguar a evolução dos estudantes;
	11. No geral, classificam adequadamente as ondas em longitudinais e transversais e sabem dar exemplos. No entanto, alguns têm dificuldade em empregar os termos científicos apropriadamente.	Incentivar a leitura de textos científicos; Exercitar o uso da linguagem científica; Fomentar a produção escrita, a elaboração de relatórios, tabulação dos dados, troca de informações; Fazer referência a conceitos básicos de forma recorrente nos materiais que serão produzidos; Construção coletiva de um glossário;
	12. Uma parcela significativa dos respondentes tem dificuldade em definir aquilo que é transportado por uma onda.	Revisão de conceitos; Análise fenomenológica; Demonstrações e comparações;
	13. A maioria dos respondentes entende a relação entre a velocidade de propagação da onda em uma corda e a tensão aplicada e a massa específica do material. Contudo, o modelo que utilizam revela fragilidades pois falha em reconhecer a influência de outros fatores, como a elasticidade do material.	Promover situações em que o modelo dos estudantes possa ser devidamente cotejado; Conduzir as análises indo do geral para o específico, deixando claras as simplificações feitas em casos considerados ideais; Discussões direcionadas para casos não específicos; Mencionar explicitamente as características de um sistema ideal;
14. A maioria dos respondentes já ouviu falar de ondas estacionárias, mas frustram-se ao tentarem definir o que são.	Introdução teórica; Atividade experimental; Fomentar a produção escrita, exercitando clareza, a utilização da linguagem científica, a utilização de termos do glossário; Aprofundamento dos estudos teóricos; Sistematização do conhecimento; Produção de mapas conceituais;	

Fonte: autores

Por último, com relação aos métodos de avaliação, a versão do experimento na ocasião da atividade não mantinha um registro das operações realizadas na sua interface durante uma sessão, seja ele escrito ou por meio de vídeo, assim, meios mais convencionais puderam ser empregados com auxílio do ambiente virtual da disciplina. Uma proposta inicial consistiu em solicitar que os estudantes elaborassem uma espécie de relatório, um texto abrangendo algumas questões sugeridas pelo roteiro da experiência e que estavam ligadas, evidentemente, aos objetivos e aprendizagem.

Objetivo e indicadores de aprendizagem

Os objetivos e os indicadores de aprendizagem apresentados nesta seção não estão relacionados apenas com o conteúdo específico. Como mencionado, uma vez que a atividade ocorreu de forma remota, também levamos em consideração certos aspectos da aprendizagem que poderiam ter relação com este tipo de mediação. Os itens da Tabela 1 constituem elementos norteadores que auxiliarão nesse sentido.

Após a conclusão da atividade, esperava-se que os estudantes pudessem:

- a. Definir conceitos básicos como nós, antinós, amplitude, frequência, comprimento de onda, ressonância, frequência natural e harmônicos;
- b. Definir o que é uma onda estacionária;
- c. Definir as condições para a ocorrência de ondas estacionárias;
- d. Expressar a equação de uma onda estacionária;
- e. Explicar o que é ressonância;
- f. Citar aplicações para o fenômeno e explicar o funcionamento em cada caso;
- g. Identificar grandezas físicas que influenciam na velocidade de propagação da onda em uma corda;
- h. Utilizar corretamente os termos científicos nas definições e nas explicações;
- i. Formular hipóteses a partir de um problema a ser investigado;
- j. Planejar uma investigação com um experimento controlado remotamente;
- k. Inferir funcionalidades a partir de interfaces dos experimentos remotos;

- l. Combinar ferramentas computacionais para análise de dados;
- m. Compartilhar os resultados por meio de textos acadêmicos, com precisão, clareza e coerência.

Os objetivos de aprendizagem de A até H referem-se especificamente a conceitos relacionados a OE, enquanto os demais objetivos, de I até M, estão ligados à utilização de um experimento controlado remotamente e a aspectos do procedimento experimental, a saber, sua concepção, planejamento e execução. A Tabela 2 contém indicadores de aprendizagem utilizados para aferir se os objetivos de aprendizagem foram atingidos.

Tabela 2: Indicadores de aprendizagem e objetivos relacionados direta ou indiretamente

Indicadores	Objetivos
Utiliza termos técnicos/científicos na definição dos conceitos	a, h
Recorre ao glossário do AVA	a, b, e, h
Emprega termos como soma/interferência/sobreposição na definição de ondas estacionárias	a, b, c, h
Associa o fenômeno da ressonância às ondas estacionárias	b, c
Cita explicitamente a superposição de duas ondas de mesma frequência e mesma amplitude na formação de uma onda estacionária	c
Explicita a equação de uma onda nos trabalhos escritos	d
Cita instrumentos musicais como uma aplicação do fenômeno	f
Cita densidade, elasticidade, tensão, entre outras grandezas	b, c, g
Apresenta questionamentos que precedem à experimentação	i, j
Apresenta um planejamento por escrito	i, j, k, l
Demonstra conhecimento dos componentes do experimento; Realiza consulta aos colegas, ao professor e à literatura.	j, k
É capaz de explicar os comandos da interface	k
Elabora trabalhos escritos com clareza e coerência; Discute os seus resultados; Discute possíveis fontes de erros e eventuais discrepâncias nos resultados.	m
Demonstra autonomia	j
Os trabalhos contêm indicativos da utilização de diversas ferramentas computacionais	l

Fonte: autores

Concepção

A fase da concepção é onde se realiza o primeiro esboço da proposta que se deseja implementar, no caso, uma atividade experimental investigativa sobre OE

envolvendo um experimento controlado remotamente. Nessa fase são produzidos/selecionados os documentos e os materiais que serão empregados na atividade e organizados com base naquilo que foi apresentado na fase de compreensão do problema (análise epistemológica e demandas de aprendizagem). Referem-se ainda a orientações sobre os procedimentos de avaliação, elaborados em conformidade com os objetivos e os indicadores de aprendizagem da fase C; e a materiais auxiliares que contêm informações sobre como os recursos estão articulados e como devem ser utilizados. A concepção da proposta é discutida em detalhes na Seção IV.

Implementação

Os materiais concebidos na fase anterior, de concepção, são empregados aqui. Uma característica marcante dessa etapa é a sua dinamicidade, pois na medida em que os materiais vão sendo utilizados e com o desenrolar da atividade, as fragilidades existentes na proposta emergem e exigem, muitas vezes, uma intervenção imediata. Pode ser necessário realizar um ajuste, um refinamento na proposta mesmo com ela em andamento, como foi o caso deste trabalho. Outras vulnerabilidades da proposta, no entanto, podem dar indicativos para ajustes mais substanciais que só poderão ser testados em aplicações futuras, por diversos fatores. Como exemplo, neste trabalho os estudantes manifestaram dificuldades relacionadas ao conteúdo de disciplinas anteriores do curso já nas etapas finais da atividade, momento inoportuno para uma revisão ou qualquer tipo de preparação em torno daqueles tópicos especificamente, porém isso nos municiou com informações para promover os ajustes necessários à proposta. O conteúdo referente à implementação da proposta é apresentado na Seção V.

Avaliação

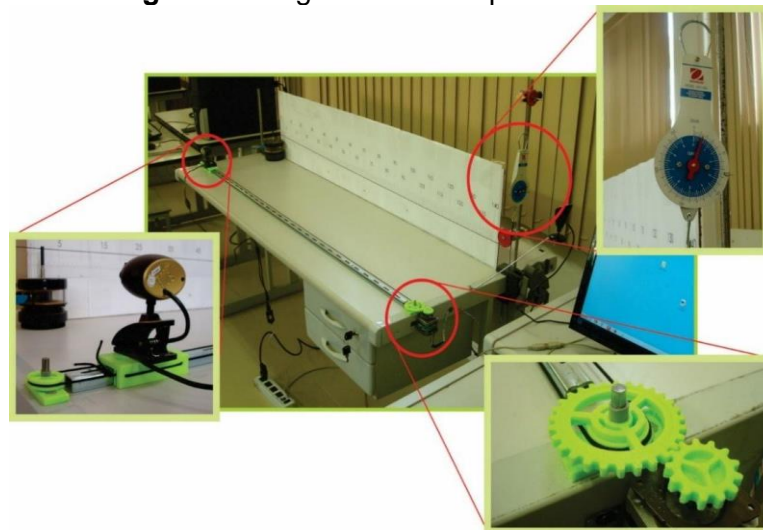
A avaliação não é um processo estanque, restrito a um momento específico da elaboração da proposta. Ela permeia todas as etapas do processo e, quando nos referimos a uma fase de avaliação, estamos nos referindo a um momento em que todos esses dados possam ser sistematizados e confrontados, buscando-se averiguar a eficiência da solução que está sendo proposta. Assim, os aspectos concernentes à

avaliação da proposta, a cada estágio do seu desenvolvimento, podem ser encontrados nas seções seguintes.

O Experimento Didático Controlado Remotamente “ondas estacionárias”

O experimento OE consiste em um fio com cerca de 1,70 m de comprimento suspenso sobre uma bancada, como mostra a Figura 1. Segundo a orientação da figura, a extremidade esquerda do fio passa através do êmbolo de um atuador mecânico, ou oscilador, e está presa a uma haste rígida na borda da bancada. A outra extremidade passa por uma polia e está presa a uma escala que permite a leitura da força de tensão que é aplicada à corda.

Figura 1: Imagem real do experimento OE



Fonte: autores

Esta descrição retrata a configuração da montagem do experimento em relação às suas características mais tradicionais, ou seja, as características de um experimento de bancada para ser utilizado de forma presencial. Entretanto, esse é um caso particular em que o experimento pode ser controlado remotamente, portanto há dispositivos que foram acrescentados para permitir que o usuário controle os parâmetros de interesse. Por exemplo, o quadro inferior direito da Figura 1 mostra um conjunto de engrenagens com um motor de passo que são responsáveis pelo deslocamento de uma câmera ao longo de toda extensão do fio. Através dela é possível ver os detalhes das ondas que se propagam e a posição dos nós e antinós em ondas estacionárias, quando ocorrem. No quadro mais à esquerda é possível ver

essa câmera e também o atuador mecânico mais ao fundo. O quadro superior à direita mostra a escala na qual é feita a leitura da tensão aplicada na corda. Essa escala pode ser movimentada por um conjunto de engrenagens e um outro motor de passo, alterando assim o valor da tensão.

Esses dispositivos estão conectados a um circuito – hardware – que foi desenvolvido especificamente para o experimento, conforme apresentado em CAETANO (2019). Há um microcontrolador AVR neste circuito que se comunica com o servidor, que por sua vez se comunica com a interface do usuário. O Quadro 1 contém uma descrição dos controles disponíveis na interface e suas ações sobre o experimento.

Quadro 1: Controles disponíveis na interface do experimento OE

	Tipo	Título	Ação
1	<i>Knob</i>	Posição da câmera	Altera a posição longitudinal da câmera que mostra a onda em detalhes.
2	<i>Knob</i>	Tensão no fio	Altera a posição da escala onde está presa a extremidade do fio e onde se faz a medida da tensão aplicada na corda, e altera o valor da tensão no fio
3	<i>Knob</i>	Frequência	Altera o valor da frequência do atuador mecânico, ou oscilador
4	<i>Switch</i>	Liga/Desliga o oscilador	Liga ou desliga o atuador mecânico

Fonte: autores

Descrição da Atividade em Linhas Gerais

A primeira etapa da atividade está relacionada aos itens 10.i, 10.ii e 14.i da Tabela 1 e consistiu na revisão do conteúdo e no embasamento teórico preliminar. Para tal, foi disponibilizado um hipertexto (ELERT, 1998) e um vídeo (DANN, 2010) no AVA da disciplina, ambos com teor essencialmente conceitual. O texto traz demonstrações do fenômeno OE e também define as condições para que isso aconteça. Essas informações foram particularmente relevantes pois pretendia-se que os estudantes fossem capazes de planejar um procedimento experimental para estudar o fenômeno. Discutiu-se ainda casos de ondas estacionárias em uma ou mais dimensões e foram apresentados exemplos demonstrando a ocorrência de harmônicos em cada caso. Por fim, algumas aplicações foram apresentadas, o que

contribuiu para que os estudantes pudessem relacionar a teoria e os modelos – normalmente idealizados – com sistemas reais e mais contextualizados.

As informações contidas no vídeo diferem em relação ao formato de apresentação, pois imagens em textos geralmente trazem sistemas idealizados, representações da realidade e elementos artificiais. O vídeo, por outra via, mostra equipamentos verdadeiros em funcionamento e explica como estes são utilizados para produzirem ondas em uma corda.

Um fórum de discussão foi promovido ainda na etapa de revisão do conteúdo com auxílio das ferramentas do ambiente da disciplina, no qual os estudantes puderam construir uma lista com conceitos retirados tanto do texto quanto do vídeo, separando-os em duas categorias: conceitos conhecidos e desconhecidos. Também puderam indicar uma definição ou uma descrição para cada item dessa lista, com o objetivo de servir de subsídio para avaliar o quanto os estudantes compreenderam do material que foi disponibilizado e também averiguar de que forma estavam empregando a linguagem científica e os termos técnicos.

Pode ser que algumas dificuldades persistam mesmo após o estudo do material sugerido – hipertexto e vídeo – e outras, entretanto, podem ter sido mitigadas ou até completamente eliminadas em alguns casos. É possível ainda que surjam novas dúvidas. A partir da análise da persistência de dificuldades em contraposição àquelas mitigadas, tem-se uma orientação sobre a preparação do material de apoio para o encontro virtual que sobrevém a essa fase. No caso deste trabalho em particular, esse material consistiu em um conjunto de slides, de autoria própria, e, conforme os itens de 10 a 14 da Tabela 1, o seu conteúdo deveria abranger os seguintes conceitos: ondas mecânicas e eletromagnéticas, ondas longitudinais e transversais, a velocidade de propagação da onda, o princípio da superposição e ondas estacionárias.

O propósito em se realizar um encontro virtual foi permitir uma interação mais dinâmica entre professor, estudantes e o conteúdo. Esse momento foi fundamental para apresentar informações mais sistematizada e consistente, de uma forma que fizesse sentido para os estudantes. Ao mesmo tempo, foi possível identificar quais pontos não estão claros e investigar as razões que levam a esse resultado. A dinamicidade do evento permite que a estrutura da apresentação – da fala do docente – sofra ajustes, incrementos de modo quase instantâneo, para adequar-se às demandas de aprendizagem que se manifestam durante o encontro.

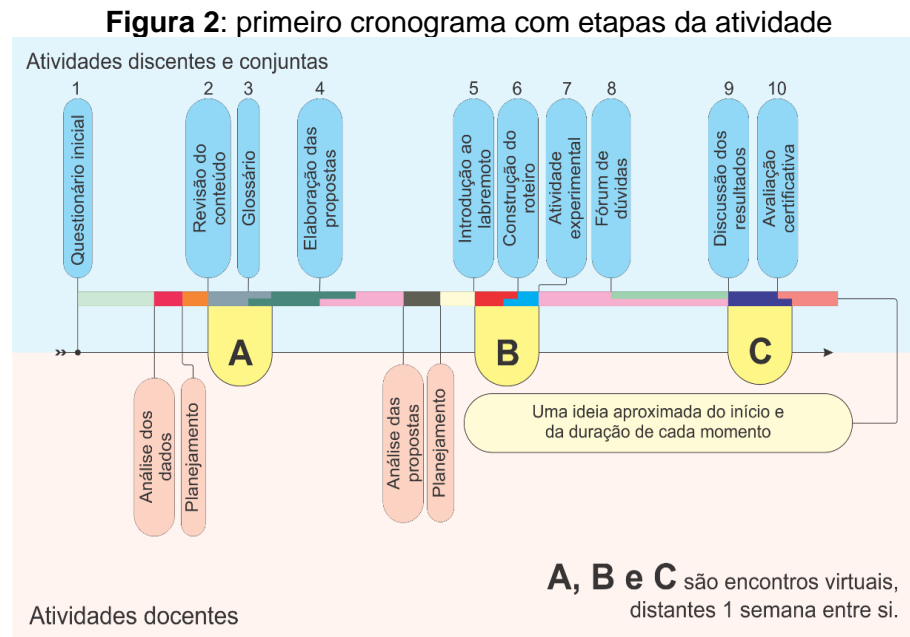
Ainda durante o encontro virtual foi proposto aos estudantes que construam um glossário de forma coletiva utilizando as ferramentas do AVA Moodle. Cada participante deveria criar ao menos uma entrada no glossário, a qual foi submetida antes ao docente para eventuais correções/ajustes. Quando isso ocorreu, o docente teve a chance de fornecer um feedback para o estudante, atribuir uma nota e aprovar o texto ou sugerir revisões. Essa foi uma excelente oportunidade para uma avaliação formativa, ainda que nesse momento ela tenha ocorrido sob uma perspectiva predominantemente teórico-pragmática (FERNANDES, 2006), razão pela qual a avaliação deve priorizar mais os aspectos da interação.

A etapa seguinte da atividade referiu-se à elaboração de uma proposta de investigação empírica pautada nas discussões anteriores, em que foram sugeridos que alguns dos aspectos teóricos fossem examinados mais a fundo e que se pensasse em uma maneira de construir um modelo capaz de explicar certas características do comportamento das ondas em uma corda. A proposta não deveria ser demasiadamente abrangente para não perder seu foco, por conta da complexidade do problema. Uma alternativa foi começar com algo simples, como uma tarefa no AVA em que foi pedido que elaborem um texto com aproximadamente 500 palavras contendo uma proposta de investigação que busque determinar a relação entre a velocidade de propagação da onda em uma corda e a tensão aplicada na mesma, sem pressupor qualquer modelo teórico. As propostas elaboradas deveriam ser analisadas e compiladas em um único protótipo de roteiro experimental, o qual deveria ser discutido durante o segundo encontro virtual.

O roteiro final foi construído coletivamente, a partir da análise de cada uma das propostas. Ao final do encontro virtual teve início a fase em que os estudantes deveriam executar a proposta do roteiro final, que se estendeu até o próximo encontro virtual. Concomitantemente, um fórum de discussão foi disponibilizado no ambiente para que as dificuldades fossem compartilhadas e para que os estudantes pudessem se ajudar mutuamente. O docente atuou como mediador no fórum e estava atento para que as discussões não se desviassem do foco.

Conforme é mostrado na Figura 2., durante o último encontro virtual fez-se a análise dos resultados obtidos por meio da investigação empírica. Discutiu-se a análise baseada nos dados, a fundamentação teórica por trás dos modelos empregados, mas também foram discutidos os aspectos experimentais que tinham relação com os resultados, os erros instrumentais, estatísticos, entre outros fatores.

Devia-se aproveitar a oportunidade para explorar formas alternativas para o experimento, que poderiam levar a resultados mais precisos; fazer o levantamento de propostas de melhoramentos, modificações no aparato, para que ele se torne mais eficiente ou simplesmente para que permita investigar aspectos que foram negligenciados durante a atividade.



Fonte: autores

Por último fez-se uma avaliação global certificativa. O objetivo era que os estudantes pudessem ter elementos para identificar o quanto aprenderam com a atividade e os pontos falhos, insuficiências para as quais deveriam direcionar os seus esforços. A fase 10, mostrada na Figura 2 refere-se sobretudo a essa avaliação, que está ligada aos aspectos da aprendizagem dos estudantes.

Existem, todavia, outros aspectos cuja avaliação é primordial para o aprimoramento da atividade proposta neste trabalho, conforme estabelecem os princípios da DBR. Segundo Guisasola et al. (2017), são duas as dimensões que devem ser levadas em consideração durante a avaliação da proposta:

a) Análise da qualidade, o que envolve aspectos como: dificuldades relacionadas à clareza; dificuldades relacionadas ao tempo de execução e dificuldades em escrever uma nova proposta (refinamento da proposta);

b) Análise da aprendizagem e do desenvolvimento de habilidades relacionadas à metodologia científica que permite a compreensão de conceitos, teorias e modelos.

Nesse ponto é importante deixar clara a diferença entre a avaliação que está sendo proposta na fase 10 e esta última. A primeira constituiu uma fase da atividade que estava sendo elaborada. A última, por outro lado, é relativa a um instrumento da construção da proposta, capaz de subsidiar a sua elaboração e as ações de refinamento e ocorre durante todas as etapas do processo.

Implementação da Atividade e Discussão das Principais Ações de Refinamento

É improvável que qualquer atividade didática seja implementada sem que sejam necessárias modificações/ajustes. Essencialmente, essa é a diferença que existe entre as fases D e E, pois enquanto na fase D há uma preocupação com o currículo prescrito e com a produção dos materiais que serão empregados, a fase E representa o currículo aplicado, ou seja, uma recontextualização do currículo.

Assim, nesta seção apresentamos os pontos mais relevantes relacionados à fase de implementação da atividade e os ajustes mais significativos que foram feitos na proposta inicial. Para justificar esses ajustes e dar ao leitor uma ideia de como foram fundamentadas as nossas decisões, apresentamos e discutimos diversos exemplos/casos baseados nas produções feitas pelos estudantes, os quais serão identificados por E1, E2 e assim por diante

Sobre as propostas de investigação elaboradas individualmente pelos estudantes

Ao menos até a quarta etapa, conforme apresentado na Figura 2, não foram detectados problemas com a estrutura da atividade. Contudo, no início do encontro B ficou evidente que seria prematuro tentar construir um roteiro para a utilização do experimento remoto naquele momento. Dos vinte estudantes matriculados na disciplina, apenas doze (60%) participaram desta etapa e a análise das propostas que foram elaboradas individualmente revelou que uma parcela significativa dos estudantes – cerca de 75% dos que participaram da etapa – não conseguiu formular

uma proposta consistente com aquilo que deveria ser investigado, mostrando, assim, que nossa expectativa era um tanto otimista.

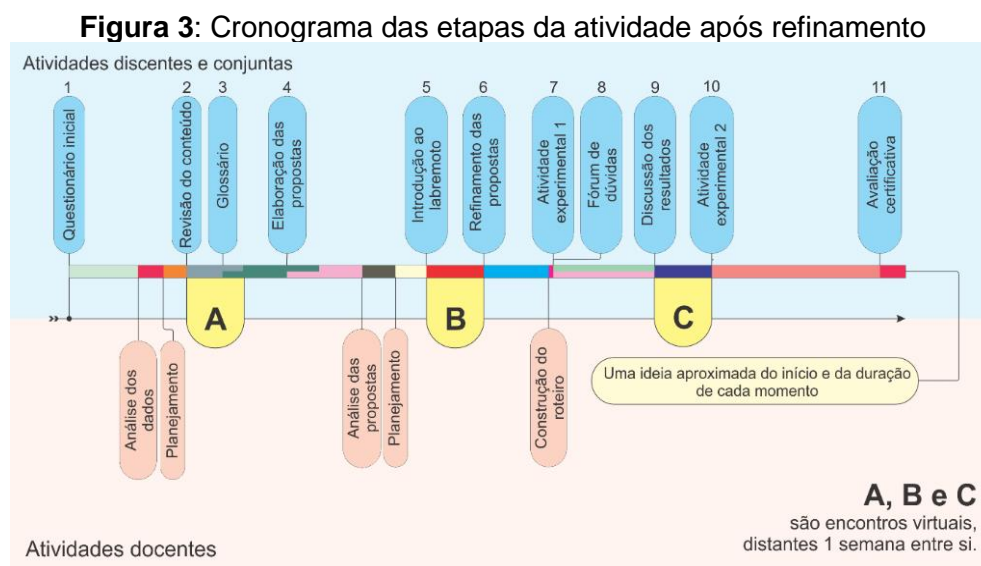
O estudante E1, por exemplo, propôs uma montagem em que uma das extremidades do fio está presa e a outra passa por uma roldana e está ligada a um porta-pesos. A massa no porta-pesos seria conhecida por ele, embora sua proposta não especificasse de que forma iria realizar essa medida ou se iria utilizar uma massa-padrão. Ele propôs que fosse utilizada uma “roldana” improvisada, o que sugere que, segundo sua concepção, o experimento seria construído e realizado em sua casa. Também sugeriu que fosse utilizado um “massageador”, um dispositivo eletrônico – que provavelmente possui em sua casa – para produzir a frequência que gera os pulsos na corda. Ele não fez menção à forma como pretendia determinar e variar a frequência e nem a tensão, mas sim, mencionou o comprimento da corda. Na proposta do estudante, o experimento tem claramente a função de verificação, pois a relação entre as grandezas do sistema já é conhecida a priori.

A estudante E3 demonstrou que ainda tinha dificuldade em se expressar utilizando linguagem científica, embora, em boa parte dos casos, sua dificuldade fosse mais de natureza gramatical. A sua proposta também tinha como pressuposto que o experimento deveria ser realizado com materiais acessíveis em casa. Os termos e os materiais citados no texto, a forma como as instruções foram colocadas, aproximam-se do cotidiano dos estudantes, o que contribui para facilitar a compreensão da proposta e a sua execução. Os objetivos colocados pela estudante faziam referência a conceitos e definições básicas, o que é um indício de que ela examinou os materiais que foram disponibilizados na fase do embasamento teórico preliminar (revisão do conteúdo) e também foi influenciada de forma positiva pelas etapas que seguiram, em que esses tópicos foram devidamente discutidos. Sua proposta foi essencialmente demonstrativa e se enquadraria melhor no nível básico, mais especificamente no EM.

A estudante E4 fez uma boa introdução teórica, contendo todos os conceitos básicos das equações que seriam vistas apenas durante o desenvolvimento do experimento. A referência utilizada pela estudante foi o livro-texto empregado na disciplina, o que explica o fato de sua proposta estar mais bem enquadrada no Ensino Superior. O aparato experimental sugerido por ela também corrobora esse fato. Este empregaria um atuador mecânico para gerar os pulsos em uma corda e um aplicativo de celular para gerar a frequência. Entretanto, a proposta não trouxe detalhes relacionados à montagem, o que de certa forma indica que a estudante enfrentou

dificuldades de transpor as propostas que encontrou na literatura para o contexto da disciplina.

Em geral existiu uma tendência entre os estudantes em proporem abordagens demonstrativas e de verificação, o que sugere que talvez seja essa a perspectiva que possuem com respeito às atividades práticas que vêm realizando durante o curso. Por essa razão, a estrutura do cronograma da atividade foi alterada para que pudesse acomodar uma etapa adicional, na qual ocorresse a discussão e o refinamento das propostas individuais, ao invés de partir diretamente para a construção do roteiro final. Esse novo cronograma é mostrado na Figura 3.



Fonte: autores

É oportuno ainda considerar que alguns estudantes fizeram o trabalho no fechamento do prazo, e isso comprometeu a qualidade da sua produção, como já poder-se-ia esperar. Essas propostas não foram levadas em consideração na análise, mas a dinâmica observada pôde ser adotada como um parâmetro para guiar o refinamento da atividade

Sobre a fase de refinamento das propostas elaboradas pelos estudantes

A quinta etapa da atividade consistiu em uma apresentação de um Labremoto, conforme Figura 3, em particular, do experimento que seria utilizado por eles. O objetivo dessa fase era que as informações prestadas servissem para orientar o trabalho dos estudantes durante a fase seguinte, que era a fase de melhoramento das

suas propostas. Foram descritos os detalhes dos equipamentos, os limites de operação dos instrumentos de medidas, as limitações do experimento remoto, a interface do experimento, os controles e as câmeras disponíveis.

A quinta fase repercutiu positivamente e isso foi perceptível nas propostas após terem sido refeitas. O estudante E1 demonstrou que buscou conhecer melhor o aparato experimental. Os ajustes que realizou em sua proposta sugerem que ele acessou o experimento e procurou caracterizar os instrumentos de forma adequada. Depois sugeriu uma investigação que parte de um modelo hipotético, o qual deve ser verificado por meio da manipulação das variáveis no experimento. Contudo, o modelo apresenta falhas fundamentais, as quais provavelmente seriam reveladas durante a execução do procedimento experimental. O estudante supôs que a frequência é uma função da tensão aplicada.

A estudante E5 também acessou o experimento remoto e, ao que sugere o seu trabalho, conduziu várias investigações: “fiz o seguinte experimento, a montagem de uma tabela contendo [o resultado de] algumas variações”. A estudante sugeriu algumas tabelas e inseriu fotografias das ondas estacionárias que observou por meio do experimento. Uma das tabelas consiste em um conjunto de dados de tensão e quantidade de nós, o que é um forte indício de que a estudante será mais bem sucedida ao investigar a relação entre velocidade de propagação e tensão aplicada à corda. Já a estudante E6 fez uma análise qualitativa do fenômeno e chegou a conclusões interessantes, embora o objetivo fosse apenas propor uma investigação. Ela foi capaz de observar que a velocidade de propagação aumenta quando aumentamos a tensão aplicada à corda. Mas a proposta da estudante não previu coleta de dados e, portanto, não permite um estudo mais aprofundado, em que seja possível obter um modelo matemático para explicar essa relação.

A partir das características das propostas foi elaborado um roteiro simples, pelo qual os estudantes deveriam utilizar uma frequência constante e variar a tensão no fio de forma contínua ao longo de todo o intervalo possível. Ao observar a formação de uma onda estacionária, deveriam anotar a quantidade de antinós (ventres) da onda. O comprimento do fio era dado no roteiro e seu valor permanecia constante, portanto, era possível determinar o comprimento de onda e, por conseguinte, a velocidade de propagação. Foi proposto que utilizassem outros valores para a frequência, repetindo o procedimento. Os estudantes deveriam construir gráficos a

partir dos dados e tentar obter a relação entre a velocidade de propagação e a frequência.

Sobre a primeira realização da atividade experimental

O roteiro final elaborado e disponibilizado através de endereço eletrônico para a utilização do experimento remoto foi construído a partir das propostas revisadas pelos estudantes e essa fase da atividade foi realizada em grupos, os quais foram organizados livremente pelos próprios estudantes e gerenciados com auxílio das ferramentas disponíveis no AVA. Foram formados cinco grupos contendo em média quatro estudantes cada.

Diversos erros foram observados na coleta de dados. Os grupos G2 e G5, por exemplo, calcularam equivocadamente o valor da tensão e isso levanta algumas questões que têm relação com o projeto do experimento. Uma escala de massa foi empregada para permitir a medida da tensão, pois era o instrumento de que se dispunha no momento da construção do experimento. O valor mostrado na escala correspondia à massa de um corpo cuja força peso era equivalente à tensão aplicada na corda, logo a tensão poderia ser obtida simplesmente multiplicando-se a massa indicada pelo instrumento pelo valor da aceleração da gravidade, observadas as devidas transformações de unidades. Esse é o raciocínio que se esperava observar durante o encontro virtual B (Figura 3), quando o tópico foi aventado. Contudo, as discussões naquele momento parecem não ter sido suficientes.

Dentre as muitas possibilidades existentes, a solução/ação empregada naquele momento foi uma reestruturação das últimas etapas da atividade e essa decisão foi alcançada de forma dinâmica, instantes antes do encontro virtual C. Ao perceber a dificuldade enfrentada pelos estudantes, ao invés de partir diretamente para a análise dos resultados da primeira atividade experimental, os dados obtidos foram empregados em discussões com foco no procedimento adotado pelos estudantes. A ocasião muniu-nos ainda de dados para averiguar insuficiências que pudessem ter relação com o roteiro que foi proposto. Evidentemente que a alteração mencionada implicou o prolongamento da atividade, que passou a ter então a duração total de quatro semanas ao invés de apenas três.

Foi possível enxergar algumas vantagens em adotar a estrutura com quatro semanas e preservar a dinâmica original da etapa 5 (Figura 3). Ao mantermos rasas

as informações sobre procedimentos de coleta de dados durante essa fase, foi observado que os estudantes buscaram mais informações sobre o funcionamento do experimento durante a realização da etapa 6 e assumiram uma postura mais ativa. Esse fato foi verificado pelos diversos acessos que foram registrados durante a etapa. Também foi possível observar certo pluralismo nas ideias que se manifestaram durante os encontros, o que propiciou uma discussão mais rica em torno dos aspectos positivos e negativos de cada uma das propostas.

Sobre a segunda realização da atividade experimental

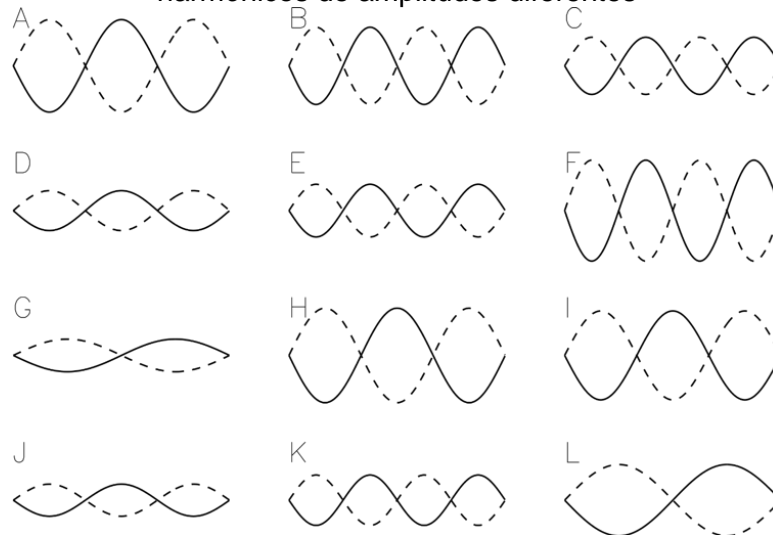
Com exceção de um grupo, cuja participação nas atividades foi errática desde o início, os estudantes apresentaram resultados melhores na segunda vez em que realizaram o experimento. O procedimento de coleta de dados parece ter ficado mais claro, pois os estudantes não repetiram os erros da primeira rodada. Resta agora saber se isso foi o resultado de uma mera reprodução da discussão realizada na etapa 9 ou se de fato implica algum avanço com respeito à compreensão do procedimento. Para averiguar essa hipótese foi proposto um teste no qual os estudantes deveriam fazer uma análise análoga àquela que realizaram durante o experimento, porém em outras circunstâncias, evitando assim que pudessem simplesmente reproduzir aquilo que foi tratado durante a etapa 9.

A Figura 4 apresenta um conjunto de representações de ondas estacionárias com amplitudes variadas. Foi solicitado aos estudantes que construíssem uma tabela contendo a quantidade de ventres da onda e o elemento do conjunto que melhor representasse o harmônico em questão. Foi também mencionado que os dados seriam utilizados para a construção de um gráfico semelhante àquele feito durante a etapa 10 da atividade, e que se desejava, a partir da análise do gráfico, determinar a relação entre a velocidade de propagação da onda e a tensão aplicada. O comprimento da corda e frequência eram conhecidos, hipoteticamente.

Não existia uma única resposta correta para essa questão, pois a análise da figura poderia levar a resultados diferentes dependendo de fatores como, por exemplo, a acuidade visual. Porém, se de fato houve evolução da compreensão sobre o procedimento de coleta de dados, deveria ser possível perceber que a seleção feita pelos estudantes continha, para cada harmônico, aquele que aparentava ter a maior amplitude. Por exemplo, para o harmônico de ordem 4, as imagens K, E e C são

bastante próximas, B tem amplitude intermediária, porém F nitidamente tem a maior amplitude de todas, o que deve ser resultado do efeito da ressonância. Portanto F deveria ser a escolha mais adequada para representar o harmônico de ordem 4 e compor o conjunto de dados. Em contrapartida, para o harmônico de ordem 3, as imagens J e D têm amplitudes muito próximas e são claramente menores que nos casos I e A. Entre esses dois últimos é difícil dizer qual tem a maior amplitude, de forma que qualquer uma das escolhas estaria correta. Assim, o que deveria ser observado na resposta a essa questão é se o estudante foi capaz de formar um conjunto de dados que fosse consistente com a observação.

Figura 4: Figura empregada em questão de avaliação final, apresentando diversos harmônicos de amplitudes diferentes



Alguns problemas continuaram a ocorrer na segunda atividade experimental e não estavam necessariamente ligados ao conteúdo da atividade. Os estudantes pareciam atribuir pouca importância à forma como expressavam as medidas feitas durante a prática experimental e às medidas secundárias. Ainda nessa linha, os estudantes revelaram certas fragilidades relativas à construção e à interpretação de gráficos, embora tenham ocorrido em um grau consideravelmente menor que aquele que foi observado na atividade experimental 1 (etapa 7 da Figura 3).

Essas insuficiências referiam-se muito mais ao conteúdo da disciplina “Introdução à Física Experimental” do que ao conteúdo desta atividade propriamente dita. A disciplina foi oferecida no primeiro semestre do curso, ou seja, um ano antes da disciplina em que esta atividade foi realizada. Portanto, não era esperado que tais

dificuldades permanecessem, ao menos não com a magnitude com que foram manifestadas. Para evitar prejuízos a esta proposta e sobretudo à formação dos estudantes, era imprescindível que ocorresse uma ação de refinamento. Era necessário que fosse realizada uma revisão destes conceitos de metodologia científica, e a etapa 9 parecia ser o momento mais indicado para isso, embora a etapa 5 fosse também uma possibilidade.

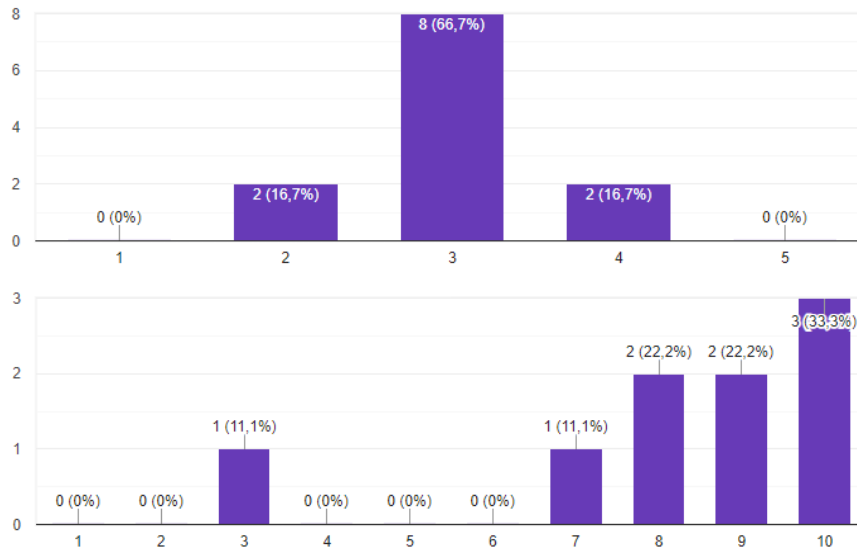
Sobre a avaliação final

A avaliação consistiu em um questionário online com duas categorias de perguntas. A primeira referiu-se a aspectos ligados ao uso das tecnologias na disciplina. O objetivo foi averiguar se houve alguma mudança na opinião dos estudantes concernente à utilização dos recursos tecnológicos e o que poderia ter causado essa mudança. A outra categoria de perguntas estava relacionada ao conteúdo específico. Ao todo, nove estudantes responderam ao questionário.

Com relação a primeira categoria, havia duas perguntas com maior relevância. Uma delas buscava verificar se os estudantes se consideravam satisfeitos com a forma com que as tecnologias foram empregadas na disciplina. Na Figura 5 é mostrado um gráfico com a distribuição dos estudantes segundo o grau de satisfação em uma escala de 1 a 10, em que 1 significa nada satisfeito e 10, totalmente satisfeito. Comparando essa distribuição com aquela obtida durante o estudo exploratório, percebeu-se que o modo com que os recursos tecnológicos foram empregados na disciplina obteve mais aprovação por parte dos estudantes.

Antes dessa atividade, a média dos estudantes era imparcial. Após a atividade, entretanto, quando solicitado que considerassem apenas o uso feito durante a disciplina, a moda da distribuição passou a apontar para “totalmente satisfeito”. Um dos estudantes declarou que “nessa disciplina, [ocorreu] a utilização mais abrangente e mais profunda de plataformas digitais e de ensino remoto que já participei. Desde os formulários até a forma de interação com o Moodle e com o laboratório, tudo fluiu de uma maneira muito produtiva. (E1)”. Observou-se que a declaração de E1 não apontou especificamente para a experimentação remota, mas sim para a articulação que foi feita entre os diversos recursos, e fornece indício de que o recurso não foi utilizado de uma forma trivial e nem de maneira que pudesse sobrepujar o papel desempenhado pelos demais recursos.

Figura 5: Acima - distribuição dos estudantes segundo o grau de satisfação com relação a forma com que as TDIC vem sendo empregadas, em escala que 1 significa totalmente insatisfeito e 5, totalmente satisfeito. Abaixo - distribuição dos estudantes segundo o grau de satisfação com o uso das TDIC na disciplina durante a atividade, em escala que 1 significa totalmente insatisfeito e 10, muito satisfeito



Fonte: autores

A segunda pergunta da mesma categoria, que foi considerada relevante, buscou determinar se os estudantes consideravam viável que a disciplina experimental fosse oferecida de forma remota, mesmo após o término das restrições ocasionadas pela pandemia. A esse respeito, as falas dos estudantes dividiram-se em três grupos, essencialmente: a) concordaram que seria viável, sem ressalvas; b) seria viável, porém não aconselhável e; c) seria inviável. Cerca de 45% dos respondentes encontram-se no segundo grupo. Assim, embora o Laboratório Remoto (Labremoto) tenha viabilizado a experimentação a distância, os estudantes consideraram importante que as atividades experimentais pudessem ser realizadas no laboratório presencial físico. O estudante E2 alegou que “Seria viável manter as duas formas, remota e presencial, assim os alunos poderiam decidir qual forma se enquadraria melhor às suas necessidades”.

Essa percepção foi ao encontro dos pressupostos educacionais do Labremoto (CAETANO, 2019), os quais evidenciam que esse tipo de recurso não tem a intenção de substituir os experimentos tradicionais, mas sim, de oferecer uma alternativa adequada para a realização de atividades experimentais em situações adversas, como a situação vivida durante o período de pandemia, em que o distanciamento social se tornou necessário.

Sobre o conteúdo específico, a Tabela 3 contém observações baseadas nas respostas dos estudantes para cada uma das perguntas apresentadas. No quadro geral, estima-se que houve um avanço significativo em relação às insuficiências que haviam sido detectadas na fase do estudo exploratório. Os estudantes utilizaram menos a linguagem coloquial e mais a linguagem científica para expressarem suas respostas. Na média, foram mais claros e mais precisos em suas respostas.

Tabela 3 - Perguntas sobre o conteúdo específico feitas nas avaliações final e observações

Questões	Observações
1. Explique a principal diferença entre uma onda mecânica e uma onda eletromagnética.	100% dos respondentes utilizaram a expressão “precisa/necessitam/dependem de um meio material para se propagarem”, para descreverem uma onda mecânica. A linguagem se tornou mais clara e mais precisa.
2. O que significa dizer que uma onda é longitudinal?	Os estudantes demonstraram que compreendem o significado do termo, mas ainda recorrem a linguagem coloquial para se expressarem.
3. O que exatamente está se propagando em uma onda?	100% dos respondentes foram categóricos ao afirmarem que o que está se propagando em uma onda é a energia. A linguagem foi objetiva e precisa.
4. Explique o significado dos termos amplitude e frequência.	Houve aumento na frequência com que termos científicos são empregados. A linguagem apresenta coerência, porém ainda carece de precisão. Alguns estudantes recorreram ao glossário da atividade.
5. Que grandeza(s) físicas pode(m) afetar a velocidade de propagação da onda em uma corda?	A grande maioria dos respondentes aponta as grandezas que foram tratadas diretamente na atividade experimental. Sentem-se inseguros com relação a grandezas que não foram tratadas diretamente na atividade experimental, como aceleração gravitacional e elasticidade do meio.
6. O que significa o termo "superposição de ondas"?	A grande maioria dos respondentes associa o termo superposição ao encontro de duas ondas propagando-se no mesmo meio. A linguagem é coerente, clara e frequentemente coloquial. O termo interferência não foi empregado.
7. Você já ouviu falar em ondas estacionárias? Se sim, explique o que são.	100% dos estudantes declaram ter familiaridade. Utilizam termos científicos na definição, porém a linguagem é imprecisa.

Fonte: autores

Um ponto particularmente preocupante referiu-se ao fato de que alguns estudantes possuíam ou desenvolveram uma concepção equivocada relativa ao conceito de ondas estacionárias. De acordo as respostas na avaliação final, aproximadamente 20% dos respondentes acreditavam que não ocorria propagação em uma onda estacionária, o que não é verdadeiro. Embora as ondas estacionárias causem a impressão de que não estão se propagando, elas ocorrem em consequência da superposição de duas ondas de mesma frequência e mesma amplitude se propagando em sentidos opostos. Portanto, afirmações como “são ondas

que não se propagam ao longo da corda, apenas oscilam no sentido perpendicular” (E5) e “nas ondas estacionárias não há propagação da perturbação” (E2) não estão corretas no sentido estrito. Deste modo, uma ação necessária consistiu em tratar essa questão específica de modo mais contundente na fase de revisão do conteúdo (fase 2 da Figura 3) e revisá-la posteriormente, durante a discussão dos resultados (fase 9 da Figura 3). Por ser essa a última fase da atividade, caso fosse constatado que concepções equivocadas ainda persistiam, recomendava-se que fosse realizado um encontro adicional em que essas questões pudessem ser novamente confrontadas juntamente com os estudantes. Esse momento constituiria a fase 12 na linha de tempo mostrada na Figura 3. No entanto, esse momento não pertencia à estrutura original da atividade, sendo ideal que as ações nesse sentido ocorressem em momentos anteriores.

Considerações finais

Há pouco material produzido para servir de apoio à utilização pedagógica dos laboratórios remotos de Física, assim, a atividade aqui proposta buscou apresentar uma contribuição complementar a esse tipo de trabalho. A metodologia adotada para nos orientar na elaboração da proposta foi a DBR, que mostrou ser uma ferramenta interessante na estruturação da atividade e adequada ao contexto. Devido ao seu caráter iterativo e dinâmico, permitiu que o conhecimento sobre o problema – essencialmente um problema de aprendizagem – avançasse concomitantemente ao projeto, isto é, ao desenvolvimento/construção da solução. À medida que a atividade foi sendo implementada, essa compreensão foi se tornando mais profunda, de forma que as informações obtidas ao longo desse processo foram cruciais para os primeiros refinamentos da proposta.

Percebe-se, portanto, que uma das implicações práticas oriundas dos resultados refere-se a uma solução, ou um produto educacional, inerentemente contextualizado. Isso significa que, muito provavelmente, a solução encontrada por meio da DBR será aquela com maior probabilidade de sucesso ou maior eficiência do ponto de vista da aprendizagem, visto que elementos contextuais assumem o papel de parâmetros norteadores durante o desenvolvimento dessas soluções – da atividade, no caso deste trabalho. Isso contrasta com metodologias essencialmente teóricas tipicamente empregadas na área, em que elementos contextuais muitas

vezes conflitam com as soluções obtidas *a priori*. Ressalta-se que, referimo-nos às soluções ou produtos educacionais após um número suficiente de refinamentos, conforme estabelece a metodologia.

Esta também foi uma oportunidade de teste e familiarização com a metodologia DBR, pois contribui para viabilizar a produção de materiais suplementares para estudantes e professores, os quais servem para dar respaldo à utilização das experiências remotas. Assim, esses materiais podem fornecer ao professor parâmetros para a construção de uma atividade fundamentada na pesquisa.

Por exemplo, consideremos a terceira etapa da atividade, em que os estudantes iniciaram a construção coletiva de um glossário. Essa etapa está ligada aos itens 11 e 14 da Tabela 1, os quais referem-se basicamente à dificuldade que os estudantes tinham em expressar-se por meio da linguagem científica. A presença dessa etapa está fundamentada nos resultados/dados obtidos a partir do estudo exploratório, porém o formato escolhido foi uma opção feita pelos autores. Nesse caso, o importante é atentar para o objetivo da etapa e adotá-lo como um parâmetro para a escolha do formato.

Em relação à avaliação da proposta, há dois pontos principais que devem ser considerados: a) a análise da qualidade da atividade, das etapas existentes, que envolve: a.i) clareza, a.ii) dificuldades relacionadas ao tempo de execução e a.iii) dificuldades, empecilhos à escrita ou à reestruturação da sequência para acomodar um novo conteúdo; e b) a aprendizagem, o que inclui: b.i) compreensão dos conceitos, da teoria e dos modelos, e b.ii) desenvolvimento de habilidades e competências relacionadas à metodologia científica para essa compreensão.

Com respeito à clareza, em nenhum momento os estudantes transpareceram qualquer dificuldade em compreender as instruções que estavam sendo fornecidas. Já em relação ao tempo de execução, existiram alguns problemas que foram resolvidos com os refinamentos implementados. Não só os estudantes necessitaram de mais tempo, como as insuficiências que revelaram em determinado momento levaram à inserção de outras etapas que não haviam sido pensadas no planejamento inicial. A atividade como um todo sofreu uma expansão em termos de tempo e passou a ter quatro semanas.

Conforme o cronograma da Figura 3 infere-se que, de uma forma mais geral, toda a atividade estava alicerçada em momentos, que foram: a) uma revisão geral do conteúdo consubstanciada no conhecimento prévio dos estudantes; b) apresentação

do experimento; c) planejamento do procedimento experimental; d) realização da atividade experimental e; e) discussão dos resultados (fechamento da atividade). As etapas que compuseram cada momento não eram estanques e podiam ser alteradas sem comprometer a estrutura geral. De certa forma, é como se olhássemos para sua estrutura em dois níveis com diferentes graus de aprofundamento e especificidade. O primeiro nível, mais superficial, conteria uma organização mais geral e mais cristalizada, difícil de ser alterada, pois existe uma sequência lógica entre suas etapas. Já no segundo nível, no qual ocorre a fragmentação desses momentos em etapas, as alterações poderiam ocorrer sem prejuízo à atividade. Aqui é possível explorar diferentes ferramentas metodológicas e didático-pedagógicas, reformular partes específicas do cronograma e realizar as adequações necessárias conforme cada demanda de aprendizagem, cada contexto.

Considerando os indicadores de aprendizagem da Tabela 2 e as observações apresentadas na Tabela 3, os resultados podem ser considerados satisfatórios, com ressalvas feitas com relação ao fato de os estudantes terem manifestado uma concepção equivocada sobre ondas estacionárias após a conclusão da atividade.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio das agências CNPq (EDITAL UNIVERSAL/Processo 408828/2021-8) e Fapemig (EDITAL UNIVERSAL 2021/Processo APQ-01764-21).

Referências

ALMASRI, F. *Simulations to teach science subjects: Connections among students' engagement, self-confidence, satisfaction, and learning styles*. **Education and Information Technologies**, p. 7161-7181, 2022.

ARAÚJO, M. S. T; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de ensino de física**, v. 25, p. 176-194, 2003.

BINSFELD, S. C; AUTH, M. A. A experimentação no ensino de ciências da educação básica: constatações e desafios. **Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências**, v. 8, p. 1-10, 2011.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

CAETANO, T. C.; DE FIGUEIREDO FILHO, N.; MOREIRA, C. C. Construção de um transmissor e de um receptor de código Morse através de sinais luminosos com uma placa Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 2, 2020.

CAETANO, T. C. *Physics Remote Laboratory: a kit for acoustic and hydrostatic experiments*. **Sisyphus – Journal of Education**, v.7, p.1 2019.

CAETANO, T. C. *The “light curve” experiment of the Physics Remote Laboratory: a proposal of an investigative activity epistemologically contextualized*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.

CAVALCANTE, M. A.; PEÇANHA, R.; TEIXEIRA, A. C. Ondas estacionárias em cordas e determinação da densidade linear de um fio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, 2013.

DANN, J. *Standing Waves Part I: Demonstration*. Youtube, Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=-gr7KmTOrx0>. Acessado em 15 de agosto de 2021.

DE PINHO ALVES FILHO, J. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. **Caderno brasileiro de ensino de Física**, v. 17, n. 2, p. 174-188, 2000.

DE SANDOVAL, J. S.; DE CUDMANI, L. C. *Los laboratorios de Física de ciclos básicos universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida*. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 5, n. 2, p. 10-17, 1992.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. 1990.

DOS SANTOS, A. T. et al. Experimentação em sala de aula: resultados de uma atividade simples realizada no nível médio para ensino de condutividade elétrica. **Scientia Naturalis**, v. 1, n. 3, 2019.

EASTERDAY, M. W.; LEWIS, D. R.; GERBER, E. M. **Design-based research process: Problems, phases, and applications**, 2014

ELERT, G. *The physics hypertextbook*. **Found July**, v. 9, p. 2008, 1998.

FERNANDES, D. Para uma teoria da avaliação formativa. **Revista portuguesa de educação**, p. 21-50, 2006.

GALARCE-MIRANDA, C., et al. *Developing and Validating an Instrument to Measure Students’ Perceptions of the use of ICTs and Educational Technologies in Times of the COVID-19 Pandemic*. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, p. 186-201, 2022

GUAÑA-MOYA, J., et al. **Impact of ICTs on academic development and the creation of educational public policies in times of pandemic**. 17th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). IEEE, 2022.

GUEDES, A.G. Estudo de ondas estacionárias em uma corda com a utilização de um aplicativo gratuito para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, p. 2502-1-2502-5, 2015.

GUISASOLA, J. et al. *Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level*. **Physical Review Physics Education Research**, v. 13, n. 2, p. 020139, 2017

HALLIDAY, D; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas E Termodinâmica. Vol. 2**. Grupo Gen-LTC, 2018.

HODSON, D. *Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion*. **Journal of Curriculum studies**, v. 28, n. 2, p. 115-135, 1996.

JAMSHIDI, R., Milanovic, I. *Building virtual laboratory with simulations*. **Computer Applications in Engineering Education**, p. 483-489, 2022.

LABURÚ, C.E.; ARRUDA, S. M. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. **Série: Ciência & Educação**, n. 3, 1996.

May, D., et al. *Online laboratories in engineering education research and practice*. **International handbook of engineering education research**. Routledge, p. 525-552, 2023.

NAVARRO-ESPINOSA, J.A., et al. *The higher education sustainability before and during the COVID-19 pandemic: A spanish and ecuadorian case*. **Sustainability**, 2021.

NEVES, U. M. Ensinando sobre ondas transversais, ondas estacionárias e ondas polarizadas utilizando um simples motor a pilha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, p. 1-2, 2013.

NORBIATO, J. C. et al. **Atividade experimental para o ensino de ondas estacionárias**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESEARCHER, D. B. Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. **Educational Research**, v. 32, n. 1, p. 5-8, 2003.

RIBEIRO, N. C. S. Potencialidades e Limitações de Laboratórios Remotos: Um Estudo a Partir de Bachelard. **Dissertação** (Mestrado) – Curso de Educação em Ciências, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.

SÉRÉ, M. G; COELHO, S. M; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 1, p. 30-42, 2003.

TONEGUZZO, L.; COELHO, F. O. Demonstre em aula: Gerador de ondas estacionárias numa corda. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 7, n. 3, p. 227-231, 1990.

WANG, F.; HANNAFIN, M. J. *Design-based research and technology-enhanced learning environments*. **Educational technology research and development**, v. 53, n. 4, p. 5-23, 2005.

WESENDONK, F. S; TERRAZZAN, E. A. Condições acadêmico-profissionais para a utilização de experimentações por professores de Física do Ensino Médio. **Revista ENCITEC**, v. 10, n. 1, p. 39-55, 2020.