

# Estudo da evolução da representação de ondas sonoras por estudantes em um Curso de Física de Nível Médio

EDVCATIO PHYSICORVM



ISSN 1870-9095

**Alexandre F. Faria**

*Colégio Técnico, Universidade Federal de Minas Gerais (Brasil), Av. Antônio Carlos, 6627. Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP 31270-901*

**E-mail:** affaria@ufmg.br

(Recibido el 24 de julio de 2021, aceptado el 15 de septiembre de 2021)

## Resumo

O assunto “ondas sonoras”, em geral, é tratado na física como um caso particular no estudo das ondas. Apesar de sua importância para a compreensão de questões do mundo contemporâneo e das dificuldades dos estudantes sobre o tema já identificadas na literatura, pouca atenção tem sido dada a esse tópico pelas pesquisas em ensino. O objetivo deste trabalho foi compreender se um curso de física específico capacita os estudantes a representarem adequadamente uma onda sonora e se esse curso promove uma melhoria na compreensão dos estudantes sobre esse assunto. O estudo foi conduzido em uma escola pública federal de Belo Horizonte com 33 estudantes do primeiro ano do Ensino Médio. Empreendeu-se uma análise de desenhos dos estudantes que mescla aspectos qualitativos e quantitativos. Utilizou-se o “teste t de Student pareado” para comparar o desempenho médio dos estudantes na produção desses desenhos em dois momentos do curso de física. Os resultados indicam que a abordagem das ondas sonoras nas aulas de física gerou uma grande contribuição para o aumento da compreensão dos estudantes acerca desse assunto.

**Palavras-Chave:** ondas sonoras; inscrições científicas; representações científicas; aprendizagem; Ensino de Física.

## Abstract

The subject “sound waves”, in general, is treated in physics as a particular case in the study of waves. Despite its importance for understanding issues in the contemporary world and the students' difficulties on the subject already identified in the literature, little attention has been given to this topic by teaching research. The objective of this work was to understand if a specific physics course enables students to adequately represent a sound wave and if this course promotes an improvement in students' understanding of this subject. The study was conducted at a federal public school in Belo Horizonte with 33 first-year high school students. An analysis of students' drawings was undertaken that mixes qualitative and quantitative aspects. The “paired Student's t test” was used to compare the average performance of students in producing these drawings in two moments of the physics course. The results indicate that the approach of sound waves in physics classes generated a great contribution to increase students' understanding of this subject.

**Keywords:** sound waves; scientific inscriptions; scientific representation; learning; Physics Teaching.

## I. INTRODUÇÃO

O tópico “ondas sonoras” é abordado na disciplina Física tanto na Educação Básica, quanto na Educação Superior. Tradicionalmente, é tratado como um caso particular no estudo das ondas [22]. Apesar de sua presença nos cursos de Física e de sua importância na abordagem de questões do mundo contemporâneo, há um número reduzido de pesquisas sobre o ensino e a aprendizagem deste tópico. Pouco se sabe sobre o entendimento e as representações que estudantes têm das ondas sonoras [24, 25, 34].

Wittmann e colaboradores [34] afirmam que ondas sonoras é um assunto difícil porque, em geral, estudantes falham em descrever e explicar o som como um fenômeno ondulatório. Em vez disso, atribuem às ondas sonoras propriedades de objetos. Esse mesmo tipo de dificuldade foi identificada em crianças por Mazens e Lautrey [24]. Eles constataram que quanto mais nova é a criança maior é a

tendência de atribuir propriedades de objetos às ondas sonoras. O contraste deste resultado com aquele apresentado por Wittmann e parceiros indica que a dificuldade de descrever de maneira adequada o som pode até reduzir com o aumento da idade, mas trata-se de uma dificuldade que não é facilmente superada com a progressão escolar dos indivíduos.

As poucas pesquisas sobre aprendizagem do assunto ondas sonoras se dedicam, totalmente ou em parte, à mapear as dificuldades ou concepções alternativas dos estudantes neste tópico de ensino. Entre as concepções alternativas identificadas na literatura de pesquisa, podemos citar como exemplo: a consideração de que o som é uma onda transversal; que o som é destruído quando atinge uma superfície sólida; a presença do ar é condição necessária à propagação do som; o som pode ser aprisionado em um recipiente fechado contendo ar; que o som pode ser produzido independentemente de um objeto [9, 23]. Essas concepções alternativas podem ajudar, em parte, a compreender dificuldades já destacadas neste texto

como a atribuição de propriedades de objeto às ondas sonoras [23, 24, 34] ou a dificuldade de explicar o movimento de uma partícula de poeira próxima a um alto-falante ligado [34].

Linder [22] discute essas dificuldades de aprendizagem. Ele também trata de escolhas pedagógicas para abordagem do tema, como as analogias e demonstrações, que, usadas de maneira irrefletida e mal planejadas, podem aprofundar os problemas de entendimento dos estudantes. Esse texto é bastante provocador e convidativo à reflexão, pois, comumente, associa-se a esses recursos didáticos o poder de contribuir com a melhoria do ensino e da aprendizagem de tópicos da Física.

A pesquisa relatada neste artigo foi conduzida em um contexto no qual um curso de Física de nível médio se estrutura em torno de atividades que exploram recursos didáticos diversificados, de maneira coerente e coordenada, como simulações, vídeos, imagens entre outros. A reflexão decorrente dos apontamentos de Linder [22] mostrou a importância de saber se tal curso de física contribui para uma compreensão adequada do tópico ondas sonoras pelos estudantes. Assim, buscou-se responder às seguintes questões: Antes da abordagem das ondas sonoras pelo professor, os estudantes conseguem representar adequadamente esse tipo de onda? A sequência de atividades didáticas de um curso de física específico contribui para a melhoria dessas representações e, conseqüentemente, da compreensão que possuem sobre as ondas sonoras?

## II. REFERENCIAIS TEÓRICOS

Na descrição e na abordagem dos fenômenos ondulatórios, materiais didáticos e professores se valem de gráficos, esquemas, diagramas e desenhos, além das linguagens verbal e escrita. Nas atividades escolares, os estudantes são colocados diante de situações que precisam produzir, ler e interpretar esses outros modos de comunicação que, na literatura acadêmica, são denominados por inscrições ou representações científicas [4, 8, 16, 30, 32, 35]. Contudo, nas pesquisas em Ensino de Física que se dedicam às situações de ensino e aprendizagem envolvendo as ondas, pouca atenção tem sido dada às inscrições científicas interpretadas ou produzidas pelos estudantes.

A temática das inscrições científicas é central para a pesquisa cujos resultados são aqui comunicados, pois foi a partir da análise de inscrições científicas produzidas pelos estudantes que se buscou responder às duas questões de pesquisa apresentadas no final da seção introdutória. As representações produzidas pelos estudantes são importantes tanto para o ensino e a aprendizagem, quanto para o delineamento teórico-metodológico das pesquisas no campo do ensino.

Os termos “inscrição científica” e “representação científica” são usados para se referir a registros como, por exemplo, desenhos, esquemas, gráficos, diagramas, tabelas, mapas e fotografias. Essas representações são empregadas como forma de comunicar ideias ou fenômenos complexos e para representar dados diversos de forma sucinta [4, 8, 15, 16,

30, 32, 35]. Neste trabalho, os termos inscrições científicas e representações científicas serão utilizados como sinônimos.

A produção e a interpretação de inscrições científicas; o raciocínio baseado nesses registros; e o uso de inscrições na comunicação de ideias são atividades corriqueiras desempenhadas por pessoas que lidam com tarefas de cunho científico ou tecnológico. Entende-se que o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao uso de inscrições é uma forma de promover o letramento científico de estudantes e, por isso, deve figurar como um dos objetivos do ensino de ciências. Argumentos a esse respeito são construídos a partir da ideia de que aprender a lidar com inscrições é uma forma de aprender sobre ciências; e de desenvolver estratégias de aprendizagem, de raciocínio e de comunicação [2, 3, 7, 8, 10, 11, 14, 17, 19, 20, 26, 27, 28, 31, 32, 33, 35].

Além do emprego em contextos científico-tecnológicos, as inscrições científicas constituem modos de comunicação muito utilizados também por pessoas de outras áreas de conhecimento, por veículos de comunicação e propaganda e até mesmo por pessoas no desempenho de tarefas cotidianas. Exemplos desses usos estão em atividades de leitura de esquemas e diagramas em manuais de equipamentos domésticos, leitura de gráficos e tabelas em textos destinados ao público em geral, leitura de infográficos etc. Por isso, além de contribuir para o letramento científico dos estudantes, as atividades que envolvem o uso de inscrições têm o potencial de contribuir para a reelaboração das experiências escolares para situações da vida dos estudantes. Cabe ressaltar que, ao fazermos essa afirmação, consideramos os limites e as possibilidades desse tipo de reelaboração, bem como os debates existentes acerca dessa questão [Cf. 13, 29].

Apesar da importância das inscrições nas ciências e na vida cotidiana, a produção de alguns tipos de representações, como os desenhos, é vista como algo relacionado ao universo infantil. Nos anos iniciais de escolarização os estudantes são estimulados a representarem suas ideias por meio de desenhos. Com o aumento da escolarização, essa demanda é, progressivamente, deixada de lado. Passa-se a valorizar principalmente a representação e comunicação por palavras e números. Isso é rapidamente percebido e assimilado pelos estudantes [5, 10, 12]. A Física escolar é um bom exemplo onde se privilegia a linguagem verbal, matemática e gráfica em detrimento de outros tipos de representações [11]. Contudo, os cientistas usam essas e outras representações para desenvolverem e comunicarem os seus trabalhos [20]. Rosengrant, Etkina e Heuvelen [30] sugerem que as inscrições científicas podem cumprir papel complementar a outras formas de linguagem, como a verbal e a escrita. Esses autores recorrem a resultados de pesquisa para, por exemplo, propor que representações mais concretas como os diagramas de corpo livre possibilitam um tratamento matemático mais assertivo de conceitos básicos da mecânica.

Outros dois aspectos importantes para a inclusão da abordagem de inscrições científicas no currículo de ciências é o fato de que há evidência empírica de que: (i) as atividades didáticas que empregam representações científicas como um recurso mediacional têm o potencial de contribuir para uma melhor compreensão sobre a dimensão teórico-conceitual das

disciplinas científicas; (ii) o engajamento dos estudantes em práticas inscricionais contribuem para o desenvolvimento conceitual e para a melhora de performance na resolução de problemas [2, 3, 4, 10, 16, 19, 28, 30, 31, 33].

Alcançar esse tipo de resultado não é tarefa fácil, uma vez que os estudantes apresentam diversas dificuldades na lida com as representações científicas. É preciso um trabalho deliberado dos professores com vistas ao estímulo do uso de inscrições pelos estudantes em situações diversificadas. Também é necessário criar oportunidades para que os estudantes percebam o valor e as potencialidades desse tipo de linguagem [1, 11, 15, 30, 35].

Na pesquisa aqui apresentada, lidou-se com um tipo específico de representação científica produzida por estudantes para representarem a propagação de ondas sonoras: os desenhos. O acesso aos desenhos produzidos permitiu avaliar a compreensão dos estudantes sobre o som.

Sabe-se que são escassas as pesquisas sobre desenhos produzidos por estudantes de nível médio. É preciso reconhecer que a mobilização das representações científicas é essencial à aprendizagem e por isso devem ser consideradas tanto como objeto de investigação, quanto no delineamento metodológico das pesquisas em ensino de ciências [12].

Os desenhos produzidos pelos estudantes são representações externas que nos permitem inferir sobre a compreensão dos estudantes a respeito dos conceitos [15, 28]. Esse entendimento é importante para o ensino, podendo ser usado, por exemplo, para orientar a avaliação e a abordagem de assuntos diversos. Também é importante para a pesquisa, pois pode ser assumido como fonte de evidência a respeito do nível de compreensão que os estudantes possuem sobre conceitos.

### III. CONTEXTO DA PESQUISA

A pesquisa foi conduzida em uma escola técnica vinculada à Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, localizada na cidade de XXXXX. Trata-se de uma escola com excelente infraestrutura, que conta com recursos variados para o ensino como laboratórios e oficinas, salas com computadores conectados à internet, recursos audiovisuais entre outros. Os professores de Física trabalham em regime de dedicação exclusiva e são todos doutores.

Os dados foram coletados no primeiro trimestre do ano letivo de 2019. Participaram da pesquisa 33 estudantes de uma turma de 1º ano, dos cursos técnicos em Análises Clínicas e em Química. Eles eram do sexo masculino e feminino e tinham entre 14 e 16 anos.

### IV. DESCRIÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O conteúdo de ondas foi trabalhado ao longo do primeiro trimestre letivo de 2019, em encontros semanais, em classe e no laboratório de Física. Foram 9 aulas de 100 minutos em classe e 7 aulas de 100 minutos no laboratório. Deu-se grande

ênfase à abordagem dos aspectos teórico-conceituais e ao tratamento dos fenômenos ondulatórios abordados.

Em classe, os conteúdos foram abordados, predominantemente, a partir de sequências de explorações rápidas baseadas em experimentos, simulações, animações e vídeos. Na maioria das aulas, as explorações foram guiadas pelo professor, com uma abordagem dialógica. Em algumas aulas, os próprios estudantes, individualmente ou em pequenos grupos, conduziram as explorações orientados pelo professor e pelo texto didático de autoria própria (autoria omitida – para assegurar revisão às cegas, o texto pdf foi disponibilizado como documento anexo à submissão). Em momentos estratégicos da sequência de ensino, trabalhou-se com a leitura de textos didáticos de terceiros e com a resolução de exercícios.

As atividades desenvolvidas no laboratório tinham relação com os conteúdos abordados em classe. Nesse ambiente, os estudantes trabalharam em grupos de 3 a 4 estudantes. O professor orientou o desenvolvimento das atividades, mas cuidou de garantir a autonomia dos estudantes em todas as etapas tanto no desenvolvimento dos experimentos, quanto na produção dos relatórios.

Nos quadros 1 e 2, está descrita a sequência de aulas de classe e de laboratório. Para cada aula, descrevemos brevemente as atividades que foram desenvolvidas e indicamos as páginas do material didático que serviram de base ao seu desenvolvimento. A leitura do quadro dará uma visão geral dos tópicos abordados e das atividades desenvolvidas. Para conhecer as atividades desenvolvidas e compreender a lógica da sequência de ensino, será preciso visitar as páginas do material didático (link omitido – apresentado como documento anexo à submissão, com autoria omitida) indicadas nas linhas correspondentes a cada aula.

As células preenchidas em cinza indicam as datas em que o pré e o pós-teste foram aplicados aos estudantes voluntários.

**QUADRO 2.** Descrição das aulas desenvolvidas no laboratório.

Aulas no Laboratório		
Nº	Data	Atividades (páginas do material didático de Física)
1	28-fev.	Desenvolvimento da atividades experimentais sobre o pêndulo simples (p.60-62)
2	7-mar.	Elaboração do relatório sobre a atividade relacionada ao pêndulo simples.
3	21-mar.	Desenvolvimento de atividades experimentais sobre modos normais e ressonância em fios esticados (p.62-64)
4	28-mar.	Elaboração do relatório sobre a atividade dos modos normais e ressonância em fios esticados.
5	4-abr.	Desenvolvimento de atividades experimentais sobre modos normais de vibração e ressonância em colunas de ar (p.70-72)
6	11-abr.	Elaboração do relatório sobre a atividade dos modos normais e ressonância em colunas de ar.

7	25-abr.	Desenvolvimento de atividades experimentais sobre sons complexos (p.65-69)
---	---------	--

QUADRO 1. Descrição das aulas desenvolvidas em classe.

Aulas em Classe		
Nº	Data	Atividades (páginas do material didático de Física)
1	25-fev.	A aula foi iniciada com as explorações introdutórias sobre ondas (p.28). Ao final, o aplicativo Ondas em Corda do Phet (p.29) foi apresentado à turma.
2	11-mar.	Foram desenvolvidas as explorações com o aplicativo Ondas em Corda (p.30-32)
3	18-mar.	O aplicativo Ondas e Corda continuou a ser usado nas explorações sobre "Fase, frequência, comprimento e velocidade de uma onda" (p.32-35). A aula foi finalizada com uma leitura complementar (p.35-36).
4	25-mar.	Resolução das "primeiras listas de exercícios sobre ondas elásticas" (p. 38-40)
5	1-abr.	No início da aula, foi aplicada a questão usada como pré-teste (15 minutos). Na sequência, foi realizada a 1ª avaliação sobre ondas (40 minutos). No restante do tempo, iniciou-se as "explorações e simulações de ondas sonoras" (p. 40-41)
6	8-abr.	A aula foi iniciada com a devolução da avaliação, acompanhada de comentários e discussão das dúvidas. Na sequência, finalizou-se as "explorações e sims de ondas sonoras" (p. 40-41)
7	15-abr.	A aula foi iniciada com as explorações sobre transmissão de vibrações e ressonância (p.45-48). Na sequência, os estudantes fizeram a lista de exercícios sobre ressonância (p.48-51). Alguns estudantes finalizaram os exercícios em casa.
8	22-abr.	A interferência de ondas em corda foi explorada com base no aplicativo Ondas em Corda (p.52-54). Na sequência, os estudantes solucionaram os exercícios sobre ondas estacionárias (p.54-55).
9	29-abr.	Nos primeiros 15 minutos da aula, os estudantes responderam à questão usada com pós-teste. Na sequência, o professor discutiu as dúvidas dos estudantes sobre os conteúdos trabalhados anteriormente. A aula terminou com a aplicação da 2ª avaliação sobre ondas.

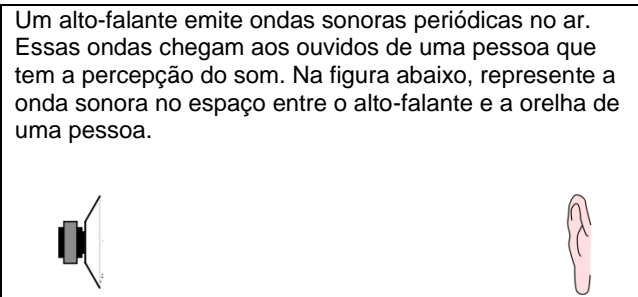
Da primeira a quarta aula de classe, buscou-se desenvolver o conceito de ondas e as definições básicas relacionadas a mecânica ondulatória como, por exemplo, período, comprimento de onda, frequência, fase etc. Na quinta aula, quando foi aplicado o pré-teste, as ondas sonoras ainda não haviam sido abordadas nem em classe, nem no laboratório. A primeira abordagem do assunto ondas sonoras se deu nessa mesma aula, após a aplicação do pré-teste. Nas demais aulas, em várias situações, as ondas sonoras foram retomadas.

## V. DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Para avaliar a compreensão dos estudantes sobre as ondas sonoras e a sua capacidade de representá-las, aplicou-se a seguinte questão em dois momentos distintos do curso de Física, que estão sinalizados no quadro 1 com células em escala de cinza (aulas de classe 5 e 9).

QUADRO 3. Questão usada no pré-teste e no pós-teste.

Um alto-falante emite ondas sonoras periódicas no ar. Essas ondas chegam aos ouvidos de uma pessoa que tem a percepção do som. Na figura abaixo, represente a onda sonora no espaço entre o alto-falante e a orelha de uma pessoa.



Explique o seu raciocínio:

Os desenhos dos estudantes foram analisados e classificados em seis categorias que emergiram do processo de análise dos dados (quadro 4). Para a pesquisa aqui relatada, as explicações que os estudantes produziram para os desenhos foram usadas apenas nos casos em que a categorização desses desenhos suscitou algum tipo de dúvida.

QUADRO 4. Sistema de categorias.

Categoria	Descrição
1	Ondas sonoras como uma onda do tipo transversal. Utiliza-se o modelo de onda em corda para elaborar desenho que representa as ondas sonoras.
2	Ondas sonoras como uma onda do tipo longitudinal. Utiliza-se linhas retas para representar as direções de propagação das ondas sonoras.
3	Ondas sonoras como uma onda do tipo longitudinal. Utiliza-se círculos para representar a propagação de uma sequência de "pulsos" ondulatórios.
4	Ondas sonoras como uma onda do tipo longitudinal. Utiliza-se o modelo de onda longitudinal em mola para elaborar desenho que representa as ondas sonoras.
5	Ondas sonoras como uma onda do tipo longitudinal. Utiliza-se o modelo de frente de ondas para elaborar desenho que representa as ondas sonoras.
6	Ondas sonoras como uma onda do tipo longitudinal. Utiliza-se o modelo de frente de ondas para elaborar desenho que representa as ondas sonoras com indicação de zonas de compressão e rarefação do ar.

Na categoria 1, as representações das ondas sonoras têm um problema conceitual: as ondas sonoras são tratadas como ondas transversais. Nas demais categorias, as ondas sonoras são caracterizadas como ondas longitudinais. De 2 a 6, cresce

o grau de complexidade da representação elaborada pelos estudantes.

Os resultados da categorização para os dois momentos de aplicação da questão foram organizados em uma tabela. Calculou-se a média dos valores obtidos na categorização do pré-teste e do pós-teste. A comparação dessas médias se deu por meio do “teste t de Student pareado”, realizado com o aplicativo JASP, gratuito e de código aberto.

O “teste t de Student pareado” permite determinar se a diferença entre duas médias é significativa ou se ocorre ao acaso. O valor de “t” é calculado pela seguinte equação:

$$t = \frac{\bar{D} - \mu D(\text{hypothesised})}{S_{\bar{D}}}$$

Onde  $\bar{D}$  representa a média das diferenças entre as categorizações no pré e pós-teste para cada participante da pesquisa;  $\mu D$  representa a hipótese a ser testada em relação a diferença entre as médias no pré e pós-teste; e  $S_{\bar{D}}$  simboliza o desvio padrão da diferença média [18].

No teste t de Student, trabalha-se com uma hipótese nula (não há diferença entre as medidas do pré e do pós-teste) e com uma hipótese alternativa (neste caso, que a medida do pós-teste é maior que a medida do pré-teste).

O valor de “t” e o valor de “p”, usado para avaliar as hipóteses testadas de modo a dizer se a diferença entre as médias é ou não significativa, foram calculados pelo aplicativo JASP. Com este aplicativo, calculou-se também o coeficiente “d de Cohen” para avaliar o tamanho do efeito do curso de física sobre a diferença observada entre as médias calculadas para o pré e o pós-teste [21].


## VI. RESULTADOS

Todos os estudantes voluntários da pesquisa responderam à questão apresentada como pré e pós-teste. No pré-teste, foram identificados desenhos de todas as categorias. No pós-teste, apenas desenhos das categorias 5 e 6. No quadro 5, são expostas representações de ondas sonoras produzidas pelos estudantes que exemplificam bem cada uma das categorias utilizadas no processo de análise.

**QUADRO 5.** Exemplos das categorias de desenhos produzidos pelos estudantes e suas respectivas análises.

Cat	Exemplo e Análise
1	

	O desenho sugere que o som é uma onda transversal, que se propaga em linha reta. Há uma associação da imagem de uma onda em corda com a representação produzida. Nas palavras do estudante: “O som é uma onda mecânica e transversal, por isso o desenho parece uma corda sendo levantada e abaixada”.	
2		O desenho não traz uma representação da onda sonora propriamente dita, mas de suas várias direções de propagação. Apesar de não estar representado o caráter longitudinal da onda no desenho, o estudante afirmou que “[...] a onda sonora é uma onda mecânica longitudinal [...]”.
3		A onda sonora é representada como sendo constituída por uma sequência de pulsos periódicos. Inferiu-se que o estudante pretendeu representar o caráter longitudinal das ondas sonoras uma vez que já conhecia o resultado de pulsos ondulatórios longitudinais que se propagavam em molas e os círculos desenhados remetem aos elos das molas. Outros estudantes que apresentaram desenho semelhante afirmaram que a onda sonora é longitudinal.
4		O desenho explicita o caráter longitudinal das ondas sonoras. Há uma semelhança entre esta representação e a imagem da propagação de pulsos ondulatórios em mola slink (essa demonstração com mola slink foi realizada em sala).
5		O estudante recorreu à ideia de frente de ondas para representar a propagação da onda sonora no espaço

	entre o alto-falante e o ouvido. As frentes de ondas podem ser usadas para representar a propagação tanto de ondas transversais, quanto de ondas longitudinais. Contudo, o estudante afirmou que “[...] está sendo representada a propagação do som através de ondas longitudinais”.
6	 <p>O desenho destaca o caráter longitudinal das ondas sonoras. Há o recurso à noção de frente de ondas para representar a propagação das ondas. Adicionalmente, destaca-se as zonas de compressão e rarefação do ar no espaço entre o alto-falante e o ouvido, ocasionada pela passagem da onda sonora.</p>

Esta análise de casos exemplares sinaliza que as categorias utilizadas, de 1 a 6, nessa ordem, sugerem uma gradação no nível de entendimento conceitual sobre as ondas sonoras. Partindo desse princípio, passamos a uma análise estatística do conjunto de 66 desenhos categorizados. A tabela 1 apresenta os resultados da categorização.

**TABELA 1.** Categorização das representações de ondas sonoras produzidas por 33 estudantes.

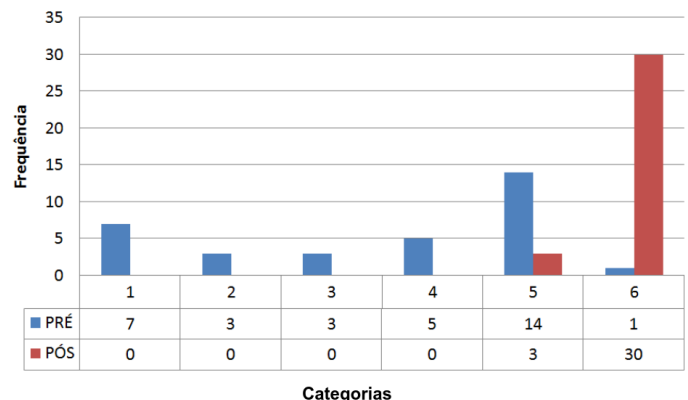
ESTUDANTE	CATEG. PRÉ	CATEG. PÓS
1	4	6
2	3	6
3	1	6
4	5	6
5	3	6
6	4	6
7	5	6
8	1	6
9	5	6
10	1	6
11	4	6
12	4	5
13	5	6
14	6	6
15	1	6
16	2	6
17	4	5
18	5	6
19	2	6
20	5	6
21	5	6
22	5	6
23	5	6
24	5	6
25	3	6

26	1	6
27	5	6
28	1	6
29	5	6
30	1	6
31	5	6
32	2	5
33	5	6
<b>MÉDIAS</b>	<b>3,576</b>	<b>5,909</b>

Uma rápida inspeção na tabela acima permite perceber que, no pré-teste, as representações de onda sonora produzidas pelos estudantes são variadas quanto à sua qualidade, expressa pela variedade de categorias nas quais foram classificados os desenhos. Já no pós-teste, todas as representações de ondas sonoras dos estudantes foram categorizadas como 5 ou 6, com predomínio desta última categoria. Calculando-se uma média com os valores atribuídos às categorias (1 a 6), tem-se no pré-teste um valor de 3,576 e no pós-teste de 5,909.

Com o gráfico 1, gerado a partir desses dados, pode-se mostrar de outro modo o efeito do curso de física sobre a qualidade das representações de ondas sonoras dos estudantes.

**Frequência das Categorias Pré/Pós-Teste**



**GRÁFICO 1.** Contagem das categorias dos desenhos no pré e no pós-teste.

O gráfico indica que, após a abordagem das ondas sonoras no curso de Física do 1º ano, houve um deslocamento para a direita das categorias dos desenhos produzidos pelos estudantes. No pós-teste, todas as representações de ondas sonoras dos estudantes foram categorizadas como 5 ou 6, com predominância desta última categoria.

Essa informação e o cálculo da média das categorias atribuídas aos desenhos produzidos no pré e no pós-teste (tabela 1) sugerem que o curso de física teve um efeito positivo sobre a qualidade das representações produzidas pelos estudantes.

Contudo, faz-se necessário verificar se esta melhoria nas representações é, de fato, significativa. Para tal, realizamos o “teste t de student pareado”. Este teste estatístico permite comparar as médias de dois grupos a fim de saber se a diferença entre elas se deu ao acaso ou se é, de fato, significativa [18].

O resultado do teste t de student pareado foi  $t=7,934$  ( $p<0,001$ ), conforme o quadro 6. Isso significa que a diferença entre as médias do pré e do pós-teste não ocorreu ao acaso, pois, de acordo com o valor de “p”, a chance desse resultado ocorrer ao acaso em situação semelhante à realizada nesta pesquisa é inferior a 0,1%. Em outras palavras, a diferença encontrada entre as médias no pré e no pós-teste é significativa.

**QUADRO 6.** Resultado do teste t de Student pareado provido pelo aplicativo JASP.

**Teste t de Student Pareado**

Paired Samples T-Test					
Measure 1	Measure 2	t	df	p	Cohen's d
PRE	- POS	-7.934	32	< .001	-1.381

Note. For all tests, the alternative hypothesis specifies that PRE is less than POS.  
Note. Student's t-test.

Como complemento à essa análise, solicitou-se ao JASP o cálculo do “d de Cohen” para avaliar o tamanho do efeito do curso sobre a diferença entre as médias do pré e do pós-teste. Obteve-se  $d=1,381$ , o que pode ser interpretado como uma indicação de que é grande efeito da abordagem do curso de física sobre o assunto das ondas sonoras na melhoria do desempenho dos estudantes no teste aplicado [Cf. 21].

**VII. CONCLUSÃO**

Neste artigo, foi apresentado um relato de pesquisa empírica na qual o objeto de investigação foram as representações de ondas sonoras produzidas por estudantes de uma turma do primeiro ano do Ensino Médio. Buscou-se responder a duas questões: (1) Antes da abordagem das ondas sonoras pelo professor, os estudantes conseguem representar adequadamente esse tipo de onda? (2) A sequência de atividades didáticas de um curso de física específico contribui para a melhoria dessas representações e, conseqüentemente, da compreensão que possuem sobre as ondas sonoras?

Os resultados do pré-teste sinalizam que cerca de 40% dos estudantes não conseguiram propor uma representação que, por si, dessa conta de mostrar com clareza o caráter longitudinal das ondas sonoras (categorias 1, 2 e 3). Metade desses estudantes se quer reconheceram as ondas sonoras como longitudinais. As dificuldades que transparecem nos desenhos desses estudantes são compatíveis com aquelas relatadas em outros estudos [6, 9, 34]. Apenas um dos estudantes da turma elaborou um desenho que mostrava o caráter longitudinal das ondas sonoras, bem como a ideia de som como uma onda de compressão/rarefação das partículas do meio, no caso, o ar (categoria 6).

Alguns dos estudantes voluntários nunca tiveram contato com o conteúdo de ondas antes do curso de Física do 1º ano do Ensino Médio. Nesse curso, até o pré-teste, foram trabalhados apenas o conceito geral de ondas e definições básicas como comprimento de onda, período, frequência, velocidade da onda, amplitude etc. No laboratório, chegou-se

a trabalhar com os modos normais de vibração de um fio esticado, mas nenhuma relação foi estabelecida com as ondas sonoras. Portanto, o desempenho dos estudantes no pré-teste mostrou-se coerente com as experiências prévias dos mesmos e com as dificuldades impostas pela abstração desse assunto.

Os resultados do pós-teste mostram que cerca de 90% dos estudantes da turma conseguiram elaborar representações para esse tipo de onda com as qualidades descritas na categoria 6. Os demais 10% da turma, produziram desenhos de categoria 5, em que se considerou o caráter longitudinal das ondas sonoras, utilizou o modelo de frente de ondas, mas não caracterizou a compressão/rarefação do meio de propagação.

Entre o pré-teste e o pós-teste, o conteúdo de ondas sonoras foi direto ou indiretamente abordado na sequência de aulas de classe e de laboratório. A articulação de recursos didáticos variados, incluindo simulações e animações que explicitam representações diversas de ondas sonoras, contribuiu para a compreensão da propagação dessas ondas como decorrente da compressão e da rarefação do ar, bem como para uma adequada representação desse fenômeno. Essa contribuição foi verificada com base em teste estatístico.

Do pré-teste para o pós-teste, houve um aumento na média calculada a partir das categorias atribuídas aos desenhos dos estudantes. O uso do “teste t de Student” mostrou que esse aumento na média após a participação em atividades didáticas sobre ondas sonoras foi significativo, ou seja, não se deu ao acaso [ $t=7,934$  ( $p<0,001$ )]. O cálculo do “d de Cohen” [ $d=1,381$ ] mostrou que o efeito do curso de Física sobre essa variação da média da turma foi alto.

Esses resultados permitem elaborar a inferência de que o curso de física, com a sua organização e as suas características destacadas no quadro 1, promoveu uma melhora no nível de compreensão dos estudantes sobre as ondas sonoras e a sua propagação

A problematização de Linder [22] sobre a relação das dificuldades dos estudantes com o conteúdo de ondas e as escolhas pedagógicas inadequadas de abordagem desse conteúdo foi um motivador para a condução da pesquisa ora relatada. Percebe-se que no contexto em que deu a investigação, havia um cuidado especial com essas escolhas: o trio de professores responsável pela Física destinada às turmas de primeira série se reuniam semanalmente em reunião de coordenação. Entre os assuntos discutidos estavam a abordagem dos conteúdos, os recursos a serem usados e a forma de utilizá-los. Esse é um aspecto importante da atividade docente que confere qualidade ao processo de ensino e aprendizagem. Os resultados permitem inferir que o uso coordenado de recursos variados (simulações, animações, vídeos, demonstrações e práticas de laboratório escolar) para o ensino das ondas se mostrou eficiente no que diz respeito à promoção da aprendizagem acerca das ondas sonoras. A representação das ondas sonoras de categoria 6 possui um refinamento conceitual que, possivelmente, não é comum de se observar com estudantes do Ensino Médio.

Por fim, cabe destacar que a análise de desenhos produzidos pelos estudantes como recurso metodológico mostrou-se adequada à avaliação da compreensão dos estudantes sobre um assunto abstrato como as ondas sonoras.

Isso vem a se somar à discussão iniciada por outros autores [12, 15, 28]. Observamos que houve uma articulação entre as representações das ondas sonoras e as explicações dos estudantes sobre essas representações (embora o foco desta pesquisa não tenha sido as explicações escritas). No entanto, em alguns casos, havia aspectos da compreensão das ondas sonoras pelos estudantes que puderam ser acessados apenas pelos desenhos. Por exemplo, o fato de que as ondas sonoras são caracterizadas como ondas de compressão/rarefação.

## AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos foram aqui omitidos para garantia de anonimato. Serão colocados na versão final.

## REFERÊNCIAS

[1] Aberg-Bengtsson, L. and Ottosson, T., *What lies behind graphicity? Relating students' results on a test of raphically represented quantitative information to formal academic achievement*, Journal of Research in Science Teaching **43**, 43–62 (2006). DOI:https://doi.org/10.1002/tea.20087.

[2] Adadan, E., *Using Multiple Representations to Promote Grade 11 Students' Scientific Understanding of the Particle Theory of Matter*, Research in Science Education **43**, 1079–1105 (2013). DOI:https://doi.org/10.1007/s11165-012-9299-9.

[3] Ainsworth, S. et al., *Drawing to Learn in Science*, Science **333**, 1096–1097 (2011).

[4] Ainsworth, S., *The educational value of multiple-representations when learning complex scientific concepts*, Visualization: Theory and practice in science education. J. K. Gilbert et al., eds. Springer Netherlands. 191–208 (2008).

[5] Anning, A., *Learning to Draw and Drawing to Learn*, International Journal of Art and Design Education **18**, 163–172 (1999). DOI:https://doi.org/10.1111/1468-5949.00170.

[6] Barman, C. R. et al., *Two Teaching Methods and Students' Understanding of Sound*, School Science and Mathematics **96**, 63–67 (1996). DOI:https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1996.tb15812.x.

[7] Bowen, G. M. et al., *Interpretations of graphs by university biology students and practicing scientists: Toward a social practice view of scientific representation practices*, Journal of Research in Science Teaching **36**, 1020–1043 (1999). DOI:https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199911)36:9<1020::AID-TEA4>3.0.CO;2-#.

[8] Bowen, G.M. and Roth, W., *Why Students May not Learn to Interpret Scientific Inscriptions*, Research in Science Education **32**, 303–327 (2002).

[9] Caleon, I. and Subramaniam, R., *Development and application of a three-tier diagnostic test to assess secondary students' understanding of waves*, International Journal of Science Education **32**, 939–961 (2010). DOI:https://doi.org/10.1080/09500690902890130.

[10] Cappelle, V. and Munford, D., *Desenhando e escrevendo para aprender ciências nos anos iniciais do ensino*

*fundamental*, Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia **8**, (2015). DOI:https://doi.org/10.5007/1982-5153.2015v8n2p123.

[11] Carmo, A. B. and Carvalho, A. M. P., *Construindo a linguagem gráfica em uma aula experimental de física*, Ciência & Educação **15**, 61–84 (2009).

[12] Costa, M. A. F. et al., *O desenho como estratégia pedagógica no ensino de ciências: o caso da biossegurança*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **5**, 184–191 (2006).

[13] Dewey, J., *Experience and Education*, (Touchstone, USA, 1997).

[14] Etkina, E. et al., *Scientific abilities and their assessment*, Physical Review Special Topics - Physics Education Research **2**, 1–15 (2006). DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.020103.

[15] Fan, J. E., *Drawing to Learn: How Producing Graphical Representations Enhances Scientific Thinking*, Translational Issues in Psychological Science **1**, 170–181 (2015). DOI:https://doi.org/10.1037/tps0000037.

[16] Gilbert, J. K., *Visualization in Science Education*, (Springer, USA, 2005).

[17] Harsh, J. A. and Schmitt-Harsh, M., *Instructional Strategies to Develop Graphing Skills in the College Science Classroom*, The American Biology Teacher **78**, 49–56 (2016).

[18] Hole, G., *Research Skills: t-tests*, (2009).

[19] Kozma, R. et al., *The Roles of and Tools Representations in the Chemistry Laboratory and Their Implications for Chemistry Learning*, The Journal of the Learning Sciences **9**, 105–143 (2000).

[20] Lemke, J. L., *Multiplying Meaning: visual and verbal semiotics in scientific texts*, Reading Science: Critical and Functional Perspectives on Scientific Discourse, J. Martin and R. Veel, eds. Routledge (1998).

[21] Lindenau, J.D.-R. and Guimarães, L.S.P., *Calculando o tamanho de efeito no SPSS*, Revista HCPA **32**, 363–381 (2012).

[22] Linder, C. J., *Understanding sound: So what is the problem?*, Physics Education **27**, 258–264 (1992). DOI:https://doi.org/10.1088/0031-9120/27/5/004.

[23] Linder, C. J. and Erickson, G. L., *A study of tertiary physics students' conceptualizations of sound*, International Journal of Science Education **11**, 491–501 (1989). DOI:https://doi.org/10.1080/0950069890110502.

[24] Mazens, K. and Lautrey, J., *Conceptual change in physics: Children's naive representations of sound*, Cognitive Development, **18**, 159–176 (2003). DOI:https://doi.org/10.1016/S0885-2014(03)00018-2.

[25] Menchen, K. V. P. and Thompson, J. R., *Student understanding of sound propagation: Research and curriculum development*, AIP Conference Proceedings **790**, 81–84 (2005). DOI:https://doi.org/10.1063/1.2084706.

[26] Nixon, R. S. et al., *Undergraduate student construction and interpretation of graphs in physics lab activities*, Physical Review Physics Education Research **12**, 1–19 (2016).

[27] Prain, V. and Tytler, R., *Representing and Learning in Science, Constructing representations to learn in science*, R. Tytler et al., eds. Sense Publishers, 1–14 (2013).



- [28] Quillin, K. and Thomas, S., *Drawing-to-learn: A framework for using drawings to promote model-based reasoning in biology*, CBE Life Sciences Education **14**, 1–16 (2015). DOI:<https://doi.org/10.1187/cbe.14-08-0128>.
- [29] Ritchhart, R. and Perkins, D. N., *Learning to Think: The Challenges of Teaching Thinking*, *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning*, K. J. Holyoak and R. G. Morrison, eds. Cambridge University Press, 775–802 (2005).
- [30] Rosengrant, D. *et al.*, *An overview of recent research on multiple representations*, AIP Conference Proceedings: Physics Education Research Conference 149–152 (2007).
- [31] Rosengrant, D. *et al.*, *Do students use and understand free-body diagrams?* Physical Review Special Topics - Physics Education Research **5**, 1–13 (2009). DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.5.010108>.
- [32] Roth, W.-M. *et al.*, *Critical Graphicacy - Understanding Visual Representaion Practices in School Science*, Springer (2005).
- [33] Tytler, R. *et al.*, *Constructing Representations As a Core Science Disciplinary Literacy*, European Science Education Research Association, ESERA Dublin, 1–3 (2017).
- [34] Wittmann, M. C. *et al.*, *Understanding and affecting student reasoning about sound waves*, International Journal of Science Education **25**, 991–1013 (2003). DOI:<https://doi.org/10.1080/09500690305024>.
- [35] Wu, H. K. and Krajcik, J. S., *Inscriptional practices in two inquiry-based classrooms: A case study of seventh graders' use of data tables and graphs*, Journal of Research in Science Teaching **43**, 63–95 (2006). DOI:<https://doi.org/10.1002/tea.20092>.