

A FÍSICA DO SOM – UMA ABORDAGEM BASEADA EM INVESTIGAÇÕES*¹

Antônio Tarciso Borges
Bruno Augusto Rodrigues²**
Rômulo Evangelista Santana**
Colégio Técnico, UFMG
Campus Pampulha
31270-901 Belo Horizonte, MG, Brasil

Resumo

Neste trabalho, examinaremos como foi que 9 alunos do 1º e do 2º ano estudaram a Física do Som em um ambiente de aprendizagem rico em representações e centrado em computador. Os estudantes planejaram investigações para resolver problemas conceituais após a leitura e resolução de exercícios de fixação. O conhecimento dos alunos sobre o tema foi avaliado por um questionário aplicado antes e depois do curso e os resultados mostram que houve um rendimento positivo. Também foi possível observar desenvolvimento na compreensão dos alunos sobre o tema.

Palavras-chave: Investigações; Ensino-Aprendizagem de Física; Percepção; Aprendizagem.

Introdução

Como resultado de nossa evolução biológica, desenvolvemos um rico e variado sistema perceptual e sensorio, com múltiplas modalidades através das quais estabelecemos contato com o mundo à nossa volta (Neisser, 1976). Isso não é exclusivo da espécie humana, mas é através desse sistema que somos capazes de perceber regularidades no ambiente à nossa volta e usá-las para dar significado ao que percebemos. Através desse sistema, selecionamos, recolhemos e manipulamos, na imaginação, informações que julgamos relevantes sobre algumas qualidades (visuais, olfativas, sonoras, e outras) que nos permitem perceber e fazer inferências sobre este mundo. Através de nossa imaginação podemos modelar coisas e fenômenos que experimentamos em nossa interação com o mundo, e também de entidades e processos intangíveis, e produzir, expressar e interpretar representações delas.

Neste trabalho, investigamos a aprendizagem que resulta da participação de um grupo de estudantes em atividades de investigação de fenômenos sonoros que aconteceram em um ambiente de aprendizagem rico em representações. A partir dos resultados discutimos as implicações e a viabilidade de adoção de ambientes dessa natureza no ensino da Física. Argumentamos que a percepção, não apenas a visual, é fundamental na formação e desenvolvimento de nossos conceitos. Descrevemos parte dos instrumentos e atividades que adotamos ao longo da análise do material empírico coletado. Apresentamos e analisamos um episódio em que um grupo de três estudantes discutia acerca de questões colocadas pelo texto utilizado e que deu início a uma investigação. Com isso, esperamos apresentar indícios de como o ambiente de aprendizagem baseado no laboratório escolar que utilizamos permitiu aos alunos se engajarem em uma atividade de investigação memorável e significativa.

¹ Apoio CNPq

² Bolsistas de IC do CNPq

O uso que fazemos de representações não tem qualquer implicação sobre o status ontológico delas, e nem se o nosso processamento mental envolve a manipulação interna de símbolos ou não. Embora estejam no centro dos debates sobre a natureza da cognição, as disputas sobre a existência ou não de estruturas representacionais na mente resultam de meras hipóteses. A solução dessas disputas não pode ser baseada em atos de autoridade ou de fé. Ao contrário, elas só admitem respostas empíricas. Dito isso, queremos marcar nosso uso e entendimento sobre o estatuto das representações de uma forma que contorne os debates estereis e enviesados sobre a pesquisa em educação em ciências. Nossa perspectiva se apóia no fato incontestável de que nós humanos dispomos de uma capacidade muito desenvolvida para produzir, expressar através de diferentes formas, e interpretar representações simbólicas. Rotineiramente utilizamo-nos de várias formas de representações para tornar públicas nossas construções.

O conhecimento prévio dos alunos

Pesquisas sobre o que crianças e adolescentes acreditam que seja o som, sua produção, suas características, sua transmissão, representações utilizadas e como funciona o processo de audição, foram realizadas por Watt e Russell (1990) e por Asoko, Leach, e Scott (1991), descritas no livro de Driver, Squires, Rushworth & Robinson (1994). Estas pesquisas sugerem que as crianças e jovens utilizam-se de diferentes modelos para explicar o que é o som, como é produzido, como se propaga.

Em termos da produção do som, a primeira pesquisa, de Watt e Russell, foi realizada com 57 crianças, apresentam basicamente três respostas como explicações para a produção do som.

1. Aquelas que envolvem as características físicas do objeto (como o material de que é feito ou a tensão, por exemplo, na película de um tambor).
2. Aquelas que explicam que é a força que o homem utiliza a responsável (quando, por exemplo, bate-se em um tambor).
3. Aquelas que explicam em termos de vibrações.

A pesquisa sugere também que à medida que os entrevistados ficam mais velhos, eles tendem a mudar o modelo de produção sonora de 1 para 3 passando por 2.

Os resultados referentes à origem do som encontrados por Asoko e sua equipe foram semelhantes aos encontrados por Watt, porém observou-se que o objeto de investigação influencia na escolha do modelo adotado pelo entrevistado. Asoko, Leach e Scott pesquisaram 260 crianças, de 4 a 16 anos de idade, em quatro contextos de produção de som diferentes. O primeiro, uma corda de violão conectada a um amplificador. O segundo, um brinquedo portando um buzina de apertar; O terceiro foi o som produzido pelo choque de duas pedras e o quarto foi o som proveniente da percussão em um prato metálico como os de bateria.

Eles observaram que o uso do modelo 3, de vibrações, mesmo que não inteiramente consistente, utilizando palavras como balançar, oscilar ou gesticulando com as mãos, foi mais adotado no contexto da corda de violão, com cerca de 80% das respostas. Porém, poucos relataram a transferência das vibrações para o ar. No contexto da buzina, a maioria dos entrevistados utilizou o modelo 2 para justificar a produção do som e cerca de 40% dos relatos fizeram referência ao movimento do ar, sem, no entanto falar de transmissão de vibrações para o ar.

Na situação do choque entre pedras, a maioria dos pesquisados também utilizou o modelo 2, mas o modelo 1, referente ao material de que são feitas as pedras, também foi utilizado. Não houve explicações envolvendo o ar ou vibrações neste contexto, apenas

envolvendo a ação humana e o tipo de rocha utilizada. Como as crianças não possuem uma teoria geral para explicar a produção de som em diferentes contextos, o professor que deseje ajudar os estudantes na construção desta teoria geral deveria planejar e fornecer situações de observação que partam de contextos onde as vibrações são mais evidentes em direção àqueles em que elas são menos evidentes, favorecendo a generalização e abstração.

O ambiente de aprendizagem

Uma de nossas preocupações está relacionada a como levar as idéias apresentadas na seção introdutória para o currículo. Optamos por fazê-lo através de atividades de ensino-aprendizagem centradas em problemas (Borges, 2002). As investigações promovem o engajamento dos estudantes com idéias que inspiram suas ações. Elas produzem nos aprendizes expectativas sobre o que pode ser encontrado, descoberto ou explicado. Num currículo com essa orientação, os alunos devem ser encorajados a resolver problemas que sejam significativos para eles.

Não são necessariamente problemas formulados por eles, mas um problema que eles sintam que vale a pena ser enfrentado. Tanto melhor se o problema é encontrado por eles mesmos. Um problema verdadeiro tem semelhanças com um desafio e não exercícios rotineiros que podem ser resolvidos aplicando-se uma regra ou procedimento padrão, como aqueles exercícios típicos de fim-de-capítulo. Para encontrar uma solução para um problema, seja ele conceitual ou prático, os alunos terão que conceber, planejar, preparar e executar e interpretar. Envolvendo-os nessas atividades de solução de verdadeiros problemas, eles exercitarão e mobilizarão seus conhecimentos prévios, suas habilidades investigativas, analíticas e sua imaginação.

Comentando sobre o papel da percepção na construção de conhecimentos e significados, Moreira (2003) aponta que a percepção, a conceitualização e a ação de um sujeito são processos simultâneos e que se desenvolvem de maneira coordenada. Adotamos neste trabalho a perspectiva transacional de Dewey que enfatiza não apenas o que ocorre no plano mental do indivíduo, mas na transação temporal e ativa entre ele e o mundo. Esta visão se contrapõe à perspectiva cognitivista, em que os conceitos, esquemas, modelos mentais e representações expressam os sentidos que o aprendiz constrói e sobre os quais ele atua (Greeno, 1989; Gardner, 1985).

Segundo a perspectiva transacional, um indivíduo interagindo com o mundo percebe uma série de qualidades que determinam que aspectos daquele ambiente são representados e que conceitos são construídos. Esses são formados a partir das experiências que o aparato perceptual torna possíveis. O sujeito é dotado de um sistema sensorial e de uma história pessoal de aprendizagens, um conjunto de atitudes e disposições para perceber o mundo de determinadas formas e dotado de habilidades representacionais, isto é, de produzir e usar artefatos culturais, sociais e cognitivos, que o caracterizam.

Uma vez que o sujeito transforma seu entendimento em representação e as torna públicas, as qualidades representadas tornam-se parte do ambiente. A criação de novas qualidades ambientais torna possível corrigir e revisar, tornando mais elaboradas e sofisticadas as idéias que os sujeitos expressam sobre o evento ou fenômeno com que ele lida. Assim, estabelece-se um processo de realimentação. Formas particulares de representação tendem a enfatizar qualidades particulares e a privilegiar certas modalidades sensoriais. Como resultado, a variedade de significados que podem ser expressos através de uma forma de representação é limitada. Por exemplo, é muito difícil expressar com a riqueza desejável uma experiência visual ou sonora através de proposições verbais.

Acreditamos que o ensino de ciências deve ter o compromisso de buscar tornar mais científicos o conhecimento e o pensamento dos estudantes. Com isso queremos enfatizar que precisamos engendrar esforços para que os nossos alunos desenvolvam uma melhor compreensão conceitual das principais idéias e modelos dos cientistas sobre o mundo e os usem de forma adequada dentro de seus limites e possibilidades de desenvolvimento (BORGES; BORGES e VAZ; 2001).

Isso não significa, entretanto, que a ciência deva ensinada e aprendida como fato, como produto acabado. Ao contrário, uma das maneiras de iniciar a aprendizagem de ciência é imitando o fazer da ciência. Isso não pode ser conseguido sem o desenvolvimento concomitante de um repertório mais rico de formas discursivas, explicativas e causais, e sem o desenvolvimento de uma atitude de busca permanente de respostas para os desafios que encontramos a todo o momento. Espera-se que com o tempo os alunos desenvolvam gradativamente um arsenal de práticas e estratégias de enfrentar, interpretar e resolver problemas e tornem suas experiências de aprendizagem de ciências na escola mais autênticas e mais próximas do “fazer ciência”.

O trabalho que realizamos visava abordar a física do som e foi planejado para possibilitar aos alunos diversas oportunidades de encontrarem questões que merecessem serem investigadas. Nesta perspectiva, o professor deve adotar uma postura de colaborador participante que confere prioridade à experimentação e incentiva o aluno a desenvolver seu plano para solucionar os problemas encontrados. Ao mesmo tempo, incentiva-o a produzir suas próprias explicações de forma a tornar seu entendimento corrente da situação problema mais elaborado e científico.

Projetamos o ambiente de aprendizagem com a partir dessas reflexões. Organizamos um curso curto sobre a física do som, utilizando principalmente atividades investigativas de nível 2 (Borges, 2002). Numa atividade desse nível, só é fornecido o problema ao aluno, mas a responsabilidade de fazer o planejamento da investigação, investigar e fazer a conclusão é toda do aluno, ou melhor, de cada dos 3 grupos, cada um formado por três estudantes. Assim, as questões estavam presentes no texto ou foram colocadas pelo professor, mas não foi dito como investigar, que materiais usar e que resultados seriam obtidos.

Ao longo da unidade de estudo adotamos também atividades de investigação muito simples, que não necessitam do computador ou de qualquer outro recurso tecnológico para serem feitas. Por exemplo, se falamos “aaaaaaa!” enquanto estamos com a mão na frente da boca ou sobre a garganta é possível sentir as vibrações do som enquanto o produzimos, o que não se percebe soprando. Também, utilizando nossos sentidos, é possível discutir o que é a caixa de ressonância de alguns instrumentos pedindo aos alunos que falem sem articular a boca e depois observando separadamente as vogais e consoantes. Investigações que demandaram apenas o uso do tato na primeira e da audição na segunda.

O objetivo dessas atividades era possibilitar aos estudantes uma experiência de primeira mão sobre os fenômenos e conceitos que o texto utilizado apresentava. Os alunos podem repetir e memorizar com facilidade o que o livro ou professor ensina, sem saber reconhecer o conceito ou o fenômeno na realidade. Acreditamos também ser eficiente ler o texto com a turma e propor pausas para realizar as investigações, colocando os alunos para identificar e resolver problemas e quando já estiverem mais acostumados a investigar, propor que eles criem experimentos para obter evidências ou para refutar as hipóteses formuladas ou propostas pelo texto.

Metodologia

Participantes

Os 9 estudantes que se apresentaram voluntariamente para fazer o curso foram divididos em três grupos de três alunos. Eles eram alunos do primeiro ou segundo anos do ensino médio de uma escola federal que também oferta cursos técnico. Nenhum deles tinha ainda estudado som, já que é um tópico ensinado apenas no terceiro ano. Cinco dos participantes eram alunos do 1º. Ano (A1, B1, C1, D2 e F2) e os outros estudantes do 2º ano (E2, G3, H3 e I3), sendo que apenas o participante E2 é do sexo feminino. Identificamos cada aluno por uma letra, seguida de um número que indica o grupo a que pertencia. A faixa etária variou de 16 a 17 anos de idade. O curso durou seis horas, distribuídas em dois dias de atividades de três horas cada. As atividades desenvolvidas por todos os grupos foram registradas em vídeo para análise posterior.

O conhecimento dos alunos sobre som foi avaliado através de um teste, aplicado antes do início e ao fim da unidade. O teste apresentava questões envolvendo a compreensão do que é som, como é produzido, como se propaga, sobre o significado de frequência, timbre, intensidade, altura de um som, entre outras. Um questionário adicional perguntava ainda sobre se tinham tido aprendizagem específica de música. Seis dos nove participantes tinha estudado ou ainda estudavam música (A1, B1, F2, G3, H3 e I3). Completando o questionário, questões acerca da motivação e interesse dos sujeitos em se apresentarem como voluntários para o estudo, fora de seus horários normais de aula e sobre suas expectativas.

O teste consistiu de um conjunto de questões abertas, sem limite de tempo para respondê-las. Entretanto, como adotamos questões abertas, também foi possível fazer uma análise da qualidade das respostas. A partir do exame dos conceitos e idéias usualmente apresentados por livros-texto de física e de ciências, formulamos um conjunto de critérios de correção para cada uma das perguntas, anteriormente à aplicação do teste. Tais critérios visavam diferenciar respostas corretas e completas daquelas incorretas ou incompletas. Os testes foram corrigidos independentemente por dois dos autores e as diferenças resolvidas.

Procedimentos

A atividade do tipo investigativa é muito rica porque exige que o aluno ao planejar a sua realização tenha que formular hipóteses, escolha que grandezas deve medir e como deve fazer para medi-las, buscando testar a veracidade das hipóteses que formulou. Tudo isso contribui para uma melhor conceitualização do objeto investigado, que é a essência do desenvolvimento cognitivo. Entretanto, não é certo ignorarmos os méritos que um bom texto didático possui e as vantagens imediatas que exercícios de fixação apresentam, justamente na memorização de conceitos, o que eleva o nível de uma discussão em grupo. Neste estudo fez-se a opção por usar de um texto paradidático e interdisciplinar, relacionando o som à fisiologia do corpo humano capaz de percebê-lo, enfatizando as definições de conceitos e as relações matemáticas entre eles através uma abordagem qualitativa e conceitual. É um texto destinado a crianças, mas ainda assim dá uma noção bastante completa dos processos da fala e da audição, ressaltando aspectos físicos essenciais à sua compreensão.

Antes que as equipes começassem o trabalho de planejamento e investigação, elas foram estimuladas a discutir com o professor o que chamamos de regras para o trabalho em grupo. Algumas normas simples como: procurar definir as variáveis a serem investigadas e ouvir o colega, que logo foram postas em prática, quando em seguida, verificando como funcionava o programa de coleta automática de dados usando um sensor de sons, para análise.

Resultados e discussões

Uma experiência do grupo 1

Após o Grupo 1 (A1, B1 e C1) ter lido o texto, “Som”, que descrevia a Física do som e a fisiologia do corpo humano capaz de produzi-lo e captá-lo, os três membros começaram a ler e responder às questões sobre o texto. Este é o grupo intermediário, tanto em termos de desempenho no teste inicial, quanto em termos de aprendizagem, medida pela comparação entre o pré- e o pós-teste. Selecionamos um episódio envolvendo o grupo, cujo início ocorreu quando o estudante B1 chegou à questão 2 transcrita abaixo ele perguntou ao professor (P):

Questão 2- *Sabe-se que todo som é proveniente de vibrações da fonte sonora que colocam o ar a vibrar. Sabe-se também que a voz feminina é em geral mais aguda do que a masculina que é grave. Então escreva com suas palavras as possíveis razões para este fato, ou o que você acha que seria um argumento científico que justifica esta diferença entre as vozes feminina e masculina.*

B1: Aqui, para saber a diferença de uma... Por exemplo, eu estou com uma corda e quanto mais esticada ela estiver mais agudo vai ser o som não é?

P: Esta resposta não tem no texto?

B1: É, eu não estou achando, mas só para confirmar.

A1: Aqui na página 7, “Se uma coisa vibra dezenas de vezes por segundo, nós ouvimos um tom baixo. Se ela vibra muitas centenas ou milhares de vezes por segundo, um tom alto vai soar”.

B1: Tá, mas aí está escrito alto e baixo?

A1: Alto é agudo e baixo é grave.

B1: Tá! [Ele gesticula a cabeça demonstrando insatisfação], mas o negócio é que não está especificando.

A1: Você pode ver aqui, assim, óh [pegando o fio do sensor de som, o aluno A segura-o com uma mão em cada ponta esticando-o e com um dedão percute o fio].

B1: Tem uma parte do texto que está especificando, mas eu não lembro onde está.

O aluno B1 dirige-se ao professor desejando apenas confirmar a informação que tinha lido no texto, mas pode-se perceber que ele não compreende de forma clara o conceito de som agudo e som grave ou alto e baixo. Este aluno até o momento tinha recebido informações apenas através do texto e isto pode ser inferido de acordo com sua **resposta à pergunta 1 do teste sobre o que é um som alto**: “As partículas do ar batendo uma nas outras com muita energia ou pouca”. Ele confunde altura do som com intensidade. Seu companheiro A procurou representar o conceito de outra forma, usando o fato de que uma corda mais tensionada emite sons mais agudos quando percutida. Entretanto, o fio não é apropriado para reproduzir o fenômeno e o aluno B ficou insatisfeito.

Os alunos sem ter ainda uma compreensão clara acerca da questão encerraram a discussão. Embora B1 parecesse estar visivelmente insatisfeito, eles decidiram ir em frente, para a questão 3.

Questão 3- *Imagine duas cordas de violão iguais presas a um violão, mas uma está mais esticada do que a outra. Explique qual será a diferença entre o som produzido pelas duas cordas se postas a vibrar de forma semelhante.*

Neste ponto da atividade, o professor aproveita a oportunidade para trazê-los de volta à discussão daquilo que era motivo de dúvida:

P: A gente podia tentar confirmar a dúvida de B, vamos?

C1 e B1: Vamos.

P: Então tá, este aqui é o monocórdio e este nome é porque ele só tem uma corda. Mas como vamos fazer? Qual o procedimento que vamos adotar para poder ver a diferença?

C1: Batucar a corda com esta tensão e depois com outra.

Após a introdução de um dispositivo apropriado para a produção do fenômeno, eles decidem como seria feita a investigação. Optaram por coletar o som natural do monocórdio e depois, tendo tencionado-o mais, coletar de novo o som, sobrepondo os gráficos em cores distintas. Discutem, após a intervenção do professor para explicitar o plano deles, que o comprimento da corda deveria ser mantido constante. O que se segue é uma seqüência de etapas de preparação do sistema de coleta de dados, coleta e leitura indireta da freqüência da tela. Na verdade, eles fazem leituras das vibrações sonoras num certo intervalo de tempo. Para isso, são necessários vários passos de ajustar as escalas nas duas janelas de exibição que selecionaram: uma em cor azul e a outra vermelha. Eles se encontram absorvidos e engajados em resolver o problema, discutindo freqüentemente os detalhes e refazendo várias vezes as coletas de dados. Há uma clara mudança de orientação: o problema passou a ser o de produzir evidências sobre a relação entre a tensão na corda e a freqüência do som produzido, usando ferramentas específicas. A questão inicial apresentada pelo texto, que envolvia a conceitualização de som agudo e som grave, e tons alto e baixo, tornou-se secundária para eles. Todo o desenrolar da atividade, é um exemplo claro de tinham um novo problema, formulado a partir de suas discussões e que a percepção, a conceitualização e a ação um sujeito são processos simultâneos e que se desenvolvem de maneira coordenada, conforme aponta Moreira (2003).

Cl: Acho melhor agente fazer assim. [Enquanto ajustavam a peça que regularia a tensão na corda]

B1: Ou assim, deixa eu [sic] pegar aqui.

P: Vamos ver como fica a coleta?

Cl: Acho que não deu em nada.

P: Pode fazer de novo.

B1: Qual que vai pegar primeiro? [O som de maior ou menor tensão na corda?]

Cl: A azul né?

A1: Toca [Dizendo que estava pronto para coletar]

P: Deu certo?

Cl: Começa de novo. Dá um new [Abrir uma nova janela] *Coloca em 1000 a taxa de amostragem.*

A1: Menos pontos.

Cl: Não, mais pontos. 10 é pouco. Pronto? Pode ir?

A1: Aí.

P: Tem que salvar esta antes de coletar de novo.

A1: Tá.

A investigação que utiliza sensores automáticos de coleta de dados e produz gráficos em tempo real permite otimizar o tempo e corrigir falhas no planejamento inicial. Tal gráfico é um outro tipo de representação que destaca características particulares do fenômeno, contribuindo para a conceitualização dos alunos do que são ciclos, período, freqüência e até amplitude e forma da onda sonora. Percebe-se que todos da equipe possuem pleno conhecimento do objetivo da investigação que estão realizando e de como realizá-la. Não foi solicitado que explicitassem as suas hipóteses sobre o fenômeno. Mas eles as tinham, como indicam os seus julgamentos sobre a adequação ou não, dos seus resultados experimentais e pelas decisões que tomam ao longo da atividade, como estimar que taxa de amostragem seria melhor. Apesar de essa ser a primeira vez que usavam o sistema de coleta de dados sozinhos, eles se sentem à vontade.

P: Como agente pode ver então? [A diferença entre os gráficos azul e vermelho]

A1: É, não deu como você falou não.

P: *É, mas um outro jeito de fazer a análise comparativa seria como?*

A1: *Fazendo zoom.*

P: *Nesse zoom que você deu ai dá?*

C1: *Se você visualizar lá.*

P: *Como?*

C1: *Uma frequência maior, uma menor...*

P: *Mas como é que você vê?*

C1: *Vendo se tá maior ou menor [abrindo os dedos para sinalizar uma distância verticalmente, referindo à amplitude]*

B1: *Não, é vendo se tem menos espaço entre... [com o dedo faz um sobe e desce imitando a forma do gráfico senoidal, referindo-se ao número de ciclos exibidos na janela gráfica]*

C1: *É, também. A frequência e o comprimento de onda.*

P: *Você está falando que mais frequente vai ter... [e gesticula igual a B com o dedo]*

B1: *É vai dar mais... [repete o mesmo gesto, indicando que se a frequência for maior, a janela exibirá um número maior de ciclos]*

C1: *É e em menos tempo.*

B1: *É.*

P: *Contando os picos no gráfico? [veja o gráfico abaixo]*

B1 e C1: *É. [respondem ao mesmo tempo].*

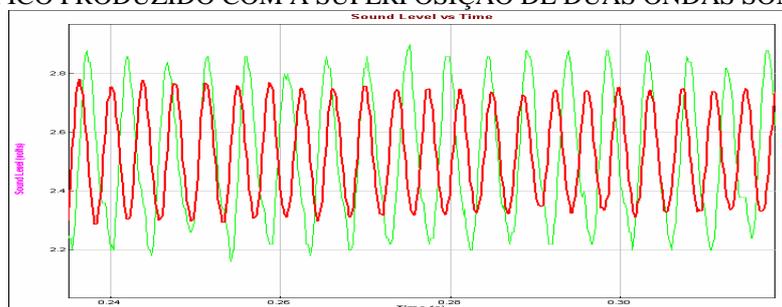
P: *Tem que mostrar as duas, a azul e a vermelha e ai é só contar os picos.*

C1: *Hum hum!*

P: *E de ouvido? Vocês percebem a diferença?*

A1: *Sim, fica mais agudo*

GRÁFICO PRODUZIDO COM A SUPERPOSIÇÃO DE DUAS ONDAS SONORAS



Percebe-se, no último trecho do diálogo que faltam os termos técnicos, mas que todos eles desenvolveram um entendimento final correto do que deveriam encontrar e, muitas vezes, utilizam-se de gestos para expressar seu entendimento. O estudante C1 referia-se inicialmente à amplitude das oscilações, como indicador de som alto ou som baixo. B1 não concorda, e gesticula com o dedo reproduzindo no ar a forma de onda, indicando que no som alto os picos estão mais próximos. Sua compreensão é correta, apontando que nos sons altos o período é menor e a frequência maior. O estudante C1 concorda e chama de “comprimento de onda” a distância horizontal entre dois máximos consecutivos. Essa é uma confusão frequente, entre duas formas de representação muito comuns: o gráfico da amplitude instantânea em função do tempo, e a representação esquemática da onda no espaço. Por fim, ele se convence do ponto de vista de B1. Finalmente, em resposta à provocação do professor, A1 demonstra um claro entendimento da associação da sua percepção de sons graves e agudos e frequência.

No início, o estudante A1 fala para o professor que a análise de Fourier que ele tinha feito do som não deu certo. Porém este era um recurso alternativo que o professor havia ensinado e que não era adequado para a situação. Seu procedimento de contar o número de ciclos, contando os picos presentes num certo intervalo de tempo era melhor e esta análise dos

gráficos a partir do zoom ajudou C1 a esclarecer a confusão que fazia entre os conceitos de comprimento de onda e amplitude. Por fim o professor chama a atenção para o fato de que qualitativamente não é preciso contar o número de ciclos para chegar a uma conclusão, basta utilizar o sensor auditivo natural que possuímos.

Pré e pós-teste

O resultado inicial e final dos nove participantes está ilustrado nos gráficos abaixo com o valor médio igual a 5.67 e 7.22 questões respondidas corretamente em um máximo de 8.

As questões 1 e 6 apresentaram os maiores índices de erro e, também, os piores resultados em termos da qualidade das respostas com 0.36 e 0.31 pontos, respectivamente, em média, em um máximo de 1.0 (resposta perfeitamente correta). Tal resultado indica que menos da metade dos participantes sabia explicar de forma satisfatória os conceitos de altura e de volume do som. Com exceção dos alunos G3 e H3, que tiveram muito bom desempenho no teste inicial, todos os outros melhoram seu desempenho no teste final.

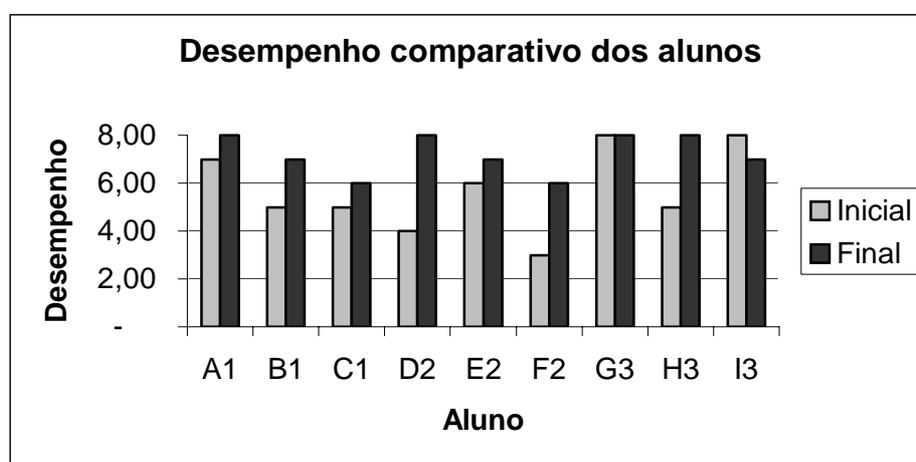


FIGURA 1. DESEMPENHO DOS ALUNOS NO PRÉ- E PÓS-TESTE

Por outro lado, a maioria dos alunos demonstrou ter conhecimentos sobre o timbre do som, ao obterem uma boa média igual a 0.70 e 0.86 pontos nas questões 4 e 5 respectivamente. A Tabela Q1 ilustra a qualidade das respostas do teste em geral e por grupo. A tabela 2 exhibe as mesmas informações, referentes ao pós-teste.

TABELA Q1. DESEMPENHO INICIAL

Média	Média por Grupo	Porcentagem/Grupo	
4,43	Grupo 1	4,17	52,12%
Porcentagem	Grupo 2	3,07	38,37%
55,37%	Grupo 3	6,07	75,87%

TABELA Q2. DESEMPENHO FINAL

Média	Média por Grupo	Porcentagem/Grupo	
5,74	Grupo 1	5,17	64,62%
Porcentagem	Grupo 2	5,97	74,62%
71,75%	Grupo 3	6,10	76,25%

A qualidade das respostas aumentou como a Tabela Q2 abaixo mostra em comparação com a Tabela Q1. Também é possível observar que o Grupo 2, no início o mais fraco, superou o grupo 1 em termos da qualidade das respostas. Nas outras questões, há pouco crescimento na qualidade das respostas em geral.

Nas questões 1, 6, 7 e 8 os participantes do curso tiveram um salto qualitativo de 20, 36, 33 e 21%, respectivamente. Abaixo temos alguns exemplos de respostas a estas questões em ambos os testes.

Questão 1

Aluno H3, antes: *Um som alto é uma onda sonora de grande amplitude e o som baixo é uma onda sonora de pequena amplitude.*

Aluno H3, depois: *Um som alto é aquele que tem uma alta frequência e um som baixo é aquele que tem uma baixa frequência.*

Questão 6

Aluno F2, antes: *É a "altura" que ele atinge.*

Aluno F2, depois: *O volume do som é a amplitude do som, que é a altura da onda sonora que na verdade é a sua intensidade.*

Questão 7

Aluno E2, antes: *Não sei.*

Aluno E2, depois: *É colocar as ondas sonoras de cada nota na mesma frequência que outro instrumento ou da voz da pessoa. Os dois devem ter a mesma frequência.*

Questão 8

Aluno A1, antes: *Por causa da forma da onda, quando não se tem um meio como o ar, ou o carbono, ele não se propaga, se o George Lucas fosse respeitar a física o Star Wars não teria som porque o som não se propaga no vácuo.*

Aluno A1, depois: *Sim, porque ele vai passando sua vibração pra frente, os meios mais fáceis de se conduzir o som é pelos gases.*

Opinião dos alunos

Os alunos tiveram como motivo básico para participarem deste curso como voluntários o interesse por saber mais sobre a física do som (cinco das oito respostas). Todos relataram terem suas expectativas atendidas neste sentido e três deles espontaneamente disseram que retornaram para o segundo dia de trabalho porque o primeiro tinha sido interessante. Todos eles definiram o material como interessante e acessível e relataram que a parte escrita da apostila (as atividades abertas de nível 2) foi bastante esclarecedora, mostrando que não só atividades de demonstração, mas também de investigação são eficientes para o entendimento de conceitos científicos. Por fim, a resposta mais comum sobre o que de mais interessante eles teriam aprendido, dizia respeito à fisiologia do corpo humano capaz de detectar o som.

Conclusões

O ensino da física do som adotando um texto introdutório com atividades de resolução de problemas, tanto conceituais quanto práticos, mostrou-se produtivo, permitindo aos estudantes experiências de aprendizagem ricas que contribuíram para a re-elaboração dos conceitos básicos tratados e para a compreensão das formas como eles são exibidos e representados. O episódio analisado apresenta indícios da riqueza das discussões no grupo e da construção coletiva de significados. Apesar de ser uma atividade muito curta, com apenas dois encontros, e de ser a primeira oportunidade que os participantes tiveram de usar sensores

e o sistema de coleta automático de dados. Acreditamos que numa atividade planejada para permitir mais tempo de exploração aos alunos teria o potencial de produzir experiências mais significativas de aprendizagem. A análise do pré-testes possibilitou inferir quais os conceitos espontâneos que os alunos apresentavam. Permitiu identificar também que alunos já tinham conhecimentos mais desenvolvidos sobre conteúdo a ser abordado.

Referências

- BORGES, A. T. (2002). Novos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Vol. 19, no. 3.
- BORGES, A. T. (1997). O papel do laboratório no ensino de Ciências. **Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Águas de Lindóia, SP, 27 a 29 de setembro de 1997, p. 2-11.
- BORGES, A. T., BORGES, O. N., E VAZ, A. (2001). Planejamento da Solução de um Problema In: **Atas do III Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Atibaia, SP, de 07 a 10 de dezembro de 2001.
- DRIVER R., SQUIRES A., RUSHWORTH P., ROBINSON V. W. (1994). **Making Sense of Secondary Science: Research into children's ideas**. Editora Routledge, London e New York.
- GARDNER, H. (1985). **The mind's new science: A history of cognitive revolution**. New York: Basic Books.
- GREENO, J. (1989). Perspectives on thinking. **American Psychologist**, 44(2), 134-141.
- MOREIRA, A. F. (2003). **Práticas de interpretação em ambientes de aprendizagem de Física**. Tese de Doutorado. Faculdade de Educação da UFMG. Belo Horizonte, MG, 168 p.
- NEISSER, U (1976). **Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology**. San Francisco: Freeman.
- OLIVEIRA, M. K. (1993). **O pensamento de Vygotsky como fonte de reflexão sobre a educação**. Caderno de Cedes.
- VALADARES E. C. (2000). **Física mais que divertida: inventos eletrizantes baseados em materiais reciclados e de baixo custo**. Editora UFMG, Belo Horizonte, p.33
- VOSNIADOU S., IOANNIDES C., DIMITRAKOPOULOU A. e PAPADEMETRIOU E. (2001). **Designing learning environments to promote conceptual change in science**. Editora Elsevier Science Ltd, Learning and Instruction, v. 11, p. 381-419.