

Ideias dos alunos sobre o conceito de som

M. H. CALDEIRA, M. E. COSTA, M. A. PATRÍCIO, A. PINTO, E. M. PRATA PINA,
M. C. RUIVO e MARÍLIA F. THOMAZ

Centro de Física Teórica (INIC)

Departamento de Física da Universidade de Coimbra, 3000 Coimbra

O conceito de som na Escola Secundária é o tema de uma investigação actualmente em curso no Centro de Física Teórica, levado a cabo por docentes dos Ensinos Secundário e Universitário.

No presente artigo damos conta de uma primeira fase do trabalho: o estudo da evolução histórica do conceito e os resultados de um levantamento (preliminar) de ideias dos alunos dos ensinos básico e secundário. Verificámos a existência de um paralelismo entre estes dois aspectos, à semelhança do que se tem vindo a provar em estudos sobre outros conceitos. As conclusões já obtidas serviram de pistas para o aprofundamento da presente investigação.

1. Introdução

Uma das contribuições da investigação em educação tem sido a ênfase posta no facto, bem conhecido de qualquer professor atento, de os alunos trazerem para a sala de aula uma variedade de ideias e interpretações sobre os fenómenos físicos. Esses conceitos alternativos (frequentemente uma mistura complexa de noções intuitivas e de aquisições do ensino formal) deverão ser um bom ponto de partida para promover o desenvolvimento do aluno na direcção dos conhecimentos científicos aceites.

É ideia partilhada por muitos educadores de ciência que não deve fazer-se tábua rasa das ideias do aluno nem evitar-se o conflito entre saberes. Pelo contrário, é fundamental para a auto-construção da aprendizagem em ciência que se criem oportunidades para que os alunos tomem consciência daquilo que pensam e se possam confrontar com situações que lhes são apresentadas, cuja interpretação entra em conflito com as suas ideias [1, 2].

Haverá múltiplas razões para algum desinteresse pela aprendizagem da Ciência, não sendo certamente a menor o facto de o ensino não ter como ponto de partida fenómenos do dia a dia facilmente acessíveis (tanto em termos teóricos como experimentais), mas orientar-se

desde muito cedo para uma via altamente abstracta. Assim, fenómenos como a luz e o som, sendo susceptíveis de uma abordagem simples, poderiam proporcionar um meio útil para a transição do raciocínio concreto para o raciocínio formal.

Particularmente, no que se refere ao som, ele tem ultimamente primado pela ausência nos «curricula» de física. No entanto, parecem-nos ser um tema particularmente adequado para iniciar o aluno, de uma forma muito concreta e vivida, em conceitos complexos como o de onda e suas propriedades. Um estudo recente [3] sobre o conceito de som, levado a cabo com alunos do ensino universitário, faz ressaltar a inadequada conceptualização que estes alunos fazem do som.

Os autores interrogam-se sobre como será possível aos alunos lidarem com conceitos avançados relacionados com ondas (como os que encontram, por exemplo, em Mecânica Quântica) quando a sua conceptualização dos fundamentos é tão pobre. Aparentemente o ensino formal não teria feito muito para modificar noções intuitivas, um tanto vagas, provavelmente ao nível de concepções históricas muito primitivas. Este aspecto é, aliás, apenas marginalmente focado no referido trabalho.

Propomo-nos estudar as ideias dos alunos dos ensinos básico e secundário sobre o conceito

de som. Este assunto vai ser incluído nos novos programas, e pensamos ser útil fazer o levantamento das concepções alternativas. Dado que o conceito não tem sido abordado nos planos curriculares recentes, talvez o ensino formal só indirectamente possa ter interferido nos saberes dos alunos. O paralelismo entre as ideias alternativas e concepções históricas primitivas, largamente conhecido de investigações sobre outros conceitos físicos, levou-nos a considerar este aspecto como uma das pistas de trabalho.

Os objectivos que nos propomos desenvolver neste projecto são os seguintes:

- Fazer um levantamento das ideias dos alunos no que diz respeito ao conceito de som.
- Investigar o possível paralelismo entre as ideias dos alunos e concepções historicamente datadas sobre este assunto.
- Investigar a influência do ensino formal nas ideias dos alunos (nomeadamente no conceito de onda).
- Propor estratégias de abordagem do tema em estudo, tendo em conta as concepções alternativas detectadas.

Este trabalho relata a primeira fase do desenvolvimento deste projecto. Iremos expor algumas ideias sobre a evolução histórica do conceito de som e o resultado de um estudo preliminar com o objectivo de diagnosticar as ideias dos alunos, baseado num pré-teste aplicado a alunos do 3.º ciclo do ensino básico e ensino secundário.

2. Evolução histórica do conceito

O conceito de som foi talvez um dos temas que mais cedo preocupou os estudiosos dos fenómenos da natureza.

Convém notar que, no que diz respeito às épocas antigas, algumas questões cronológicas aguardam esclarecimento. Tentaremos, no entanto, fazer o esboço possível das características essenciais do processo evolutivo sofrido por este conceito.

Poucos povos antigos se mostraram mais sensíveis ao timbre dos sons musicais do que os chineses [4]. Que pensavam eles sobre o som? Esta questão interessou igualmente os pensadores da antiga Grécia, mas enquanto os Pitagóricos afirmavam que o som era *a coisa numeral por excelência*, na antiga China, pelo contrário, o som foi olhado como uma *forma de actividade* tal como o eram também o sabor e a cor. Lembremos que na antiga China se pensava existirem *sopros vitais* com origem na Terra e que se dirigiam para o céu tal como o vapor de uma panela com água em ebulição.

Os pitagóricos acreditavam que os corpos que se moviam no espaço produziam sons inaudíveis para os vulgares mortais e que corpos que se moviam rapidamente produziam sons de altura mais elevada que a dos sons produzidos por corpos que se moviam mais lentamente. São bem conhecidas as relações por eles estabelecidas entre o comprimento das cordas vibrantes e a altura do som emitido. Theon de Esmirna (150 DC) atribui a Hippiasus e Lasus (séc. V AC) o estabelecimento de uma relação entre som e velocidade, sendo o som *algo que é lançado tão rapidamente que, tal como um discurso rápido, não pode ser ouvido em voo, mas só no instante de aterragem*. Archytas (370 AC) vai mais longe e define som como *a própria velocidade* [5, 6, 7].

O atomismo floresceu na Grécia num período de aproximadamente 150 anos, de 430 AC a 280 AC [8]. Embora filósofos indianos tenham chegado a explicar o Universo à luz do atomismo, os primeiros estudos relevantes que chegaram ao nosso conhecimento datam da filosofia pré-aristotélica, dos quais destacamos os filósofos atomistas Leucipus, Demócrito e Epicurus. Baseavam-se no pressuposto de que havia um limite para a divisão da matéria. Esta vai muito além da possibilidade de percepção pelos sentidos, havendo contudo um limite para além do qual ela não é mais possível; chega-se assim à primeira noção de átomo. Para estes filósofos a realidade era composta por dois «elementos» fundamentais, átomos e vazio. Embora partindo deste mesmo princípio, os três filósofos referidos nem sempre conver-

giam na interpretação do conceito de som. Para Leucipus a cor, o cheiro, o sabor e o som são qualidades associadas a cada corpo. Cada uma destas qualidades é constituída por átomos do corpo e pode variar conforme o número e a ordem desses átomos. Esta ideia está de acordo com o sentimento geral da escola atomista para a qual *o som é um corpo*, isto é, ao produzir um som, estamos a emitir da nossa boca um certo número de átomos combinados de uma certa maneira (que particulariza o som). Este «corpo» atravessa o ar e entra na orelha do ouvinte, colocando em movimento *os átomos da alma*, da qual resulta a sensação de audição. Por seu lado, Demócrito afirma que o som, como a cor e o cheiro, não são propriedades absolutas dos corpos, mas *experiências das sensações*, avançando com a seguinte explicação da propagação do som:

O ar é constituído por corpos de igual forma e é arrastado juntamente com *os fragmentos da voz*: as partículas de som deixam marcas no ar, que se propagam em todas as direcções e então o ar entra no espaço vazio e causa movimentos (1).

Para Epicurus esta interpretação não é aceitável; explica que nós percebemos as qualidades das coisas que *são qualidades delas e não apenas resultado de mudanças subjectivas das nossas sensações*. Cor, sabor, etc. são *acompanhantes permanentes* das coisas, fazendo parte essencial do seu carácter físico.

Aristóteles, considera o som uma propriedade da fonte que o produz [5]. Substâncias como a lã não possuem som, mas coisas feitas de bronze têm som (potencial) porque, dando-lhes uma pancada, ela o podem emitir (som operante). Afirma que para haver som é necessária a colisão de dois corpos sólidos entre si e com o ar, mas que só haverá som se o ar resistir ao impacto e não for disperso. Terá pois que ser batido rápido e fortemente. Sem movimento não há som, ao completo repouso corresponderá o silêncio total. Para Aristóteles, o som propaga-se de forma «ondulatória», sendo o ar o meio usual de transmissão: uma vez colocado em movimento assim continua, por sucessivas contrações, expansões ou compressões, de *modo semelhante à onda circular que se forma quando uma pedra cai em água*

calma. Indispensável no mecanismo da audição, *o ar determina o ouvir, tal como o fogo a visão*; se os sons que se ouvem resultam dos movimentos do ar, o órgão que os percebe tem de ser, por sua vez formado de ar. Este ar contido no ouvido entra em ressonância por acção da perturbação do ar exterior e assim se ouve.

Aristóteles reconhece que o som também pode ser ouvido na água, mas muito mais fracamente. Explica o eco como sendo o ar que é reenviado tal como acontece com uma bola. Pensa que o eco, mesmo que não audível, existe sempre, uma vez que se deve comportar como a luz e esta é sempre reflectida. Tal como os seus antepassados, tem dificuldade em perceber que o aumento de frequência de vibração não influencia a velocidade de propagação do som: afirma que as notas altas eram transmitidas através do ar mais rapidamente que as baixas.

Cerca de 20 D.C., Vitruvius faz uso do bem conhecido exemplo do efeito das ondas circulares na superfície da água para explicar a propagação do som; dizia que o verdadeiro som viaja não em círculos mas na forma espacial correspondente, como numa onda esférica. Mas as ideias de Vitruvius não foram aceites no seu tempo [7].

O principal transmissor medieval das ideias antigas sobre proporção musical foi Boethius o filósofo e matemático do século VI. As seguintes passagens ilustram o modo de pensar nesta altura [7]:

Se todas as coisas estivessem num estado de repouso, nenhum som tocaria o nosso ouvido porque os objectos não podem excitar percussões se não existir movimento. A voz está assim ligada à existência de percussão. Esta percussão tem necessariamente de ser precedida de movimento. Se a voz existe tem também de haver movimento. Cada movimento tem em si ora o momento da rapidez ora o momento da lentidão; se o movimento é lento, é gerado um som grave porque como a lentidão está próxima do repouso, também o carácter grave do som é vizinho do silêncio. Um movimento rápido resulta num som agudo. Além disso se uma voz grave consegue,

(1) Anos mais tarde, o filósofo Theophrastus, aluno de Aristóteles, perguntará como é que *um pouco de fôlego pode encher de som* um anfiteatro onde estão 10 000 pessoas a ouvi-lo.

ascendendo, atingir o meio, uma voz aguda também o atingirá descendo. Daqui resulta que cada som parece ser composto de certas partes cuja ligação total é governada por proporções.

No século XV destaca-se Leonardo da Vinci, homem de ciência eminentemente moderno na sua época [6, 7, 9]. Lamentavelmente, o mundo não estava preparado para ele. No entanto, acerca do som, só se adianta em relação à sua época quando coloca questões que só o século seguinte saberia solucionar: *se o eco a 30 varas de distância responde em duas partes do tempo, em quantas partes de tempo responderá uma voz que esteja a 100 varas de distância?*

Parece, no entanto, que Leonardo da Vinci já possuía uma ideia do carácter ondulatório da propagação do som porque, *por analogia com as ondas na água passou às ondas no ar e às leis do som reconhecendo que a luz mostra muitas analogias que sugerem que aqui também uma teoria ondulatória é aplicável...*

Escreve Leonardo [9]:

Tal como uma pedra que cai na água se torna o centro e a causa de muitos círculos, e tal como o som se difunde ele próprio em círculos no ar, assim colocado qualquer objecto na atmosfera luminosa, se difunde ela mesma em círculos, e enche o ar que a rodeia com infinitas imagens dela própria. Digo que o som do eco é reflectido para o ouvido depois de chocar, tal como as imagens dos objectos batendo nos espelhos são reflectidas para os olhos.

É por todos reconhecida a influência que o pensamento de Aristóteles teve em toda a Idade Média. A primeira grande mudança surgiu em meados do séc. XVI com a publicação da teoria heliocêntrica de Copérnico (1543). O avanço científico não foi, contudo simultâneo. A física só deu passos em frente no séc. XVII. É pois só neste século que começam a notar-se alguns progressos relativamente ao conceito de som, devido em grande parte ao interesse devotado à música. Contudo o estudo da física neste campo, mesmo a partir de Galileu, revela-se confuso e fragmentado [7, 10].

Se quisermos apontar a descoberta mais importante neste domínio, no início do séc. XVII

teremos que referir o reconhecimento de que é a frequência que determina a altura do som, conforme revelaram as experiências de Gassendi. O ponto de vista de Aristóteles estava errado: a velocidade do som era independente da altura. Outros, como Mersenne, Borelli, Viviani, Boyle, Huygens e Romer repetiram-nas melhorando os resultados [10].

Nas determinações teóricas da velocidade do som feitas no séc. XVII não se tomou nunca em conta efeitos de variação de temperatura ou de direcção do vento, ou, se alguns poucos o fizeram, não tiveram qualquer sucesso. Gassendi fez observações sobre a influência da direcção do vento na velocidade do som, mas concluiu erradamente que era nula. Foi Derham já no séc. XVIII que verificou a existência desta influência. Ele também tentou estudar o efeito da variação de temperatura e da composição da atmosfera mas os seus resultados são muito vagos: em geral acha que os sons são mais fracos no verão que no inverno.

Desde Aristóteles, ou até antes, acreditava-se que o ar era o meio através do qual o som se podia propagar, embora não houvesse total concordância no processo. Assim Gassendi atribuía esta função a átomos especiais, enquanto Derham considerava uma questão em aberto se era o próprio ar ou algum fluido etéreo ou mesmo partículas materiais existentes no ar que transportavam os sons.

Newton compreendia a natureza do som como ondas que se propagam, num gás ou num líquido; analisa o problema teoricamente sob o ponto de vista da Mecânica, relacionando a velocidade do som com a elasticidade e a densidade do ar, mas chega a um resultado incorrecto [10]. Só em 1816, a respectiva expressão matemática virá a ser corrigida por Laplace [6, 7].

Não nos parece possível estabelecer qualquer linha de evolução do conceito de som através do século XVIII [11-22]. De facto, o estudo dos autores deste período revela diferentes ideias e opiniões, mais ou menos distantes do que é hoje cientificamente aceite, tanto no início como no final do século. Assim, encontramos Lamarck [11], em 1799, a defen-

der a existência de *uma matéria própria do som*, contestando categoricamente afirmações bem mais avançadas dos seus contemporâneos, publicadas muitos anos antes.

Mas vejamos o que pensavam sobre o som os estudiosos do século XVIII.

Da análise dos textos deste período, ressalta que o conceito de som necessita ser definido no corpo que o gera, no meio que o transmite, no órgão que o recebe e na alma que *dele tem o sentimento*, com a ressalva feita por alguns autores de que apenas compete aos físicos o estudo das três primeiras características referidas, pois *seguir o som até à alma é uma tarefa metafísica*. São, no entanto, unânimes em classificar o som nos corpos, como consistindo no frémio das suas partes insensíveis, vibração essa originada pelo choque com outro corpo ou com o ar. Afirmam que o som não pode ser produzido pelo ar ou por um corpo sozinho. Assinalam todos também que as referidas vibrações não são totais, isto é, do corpo como um todo, mas parciais, *cada uma das partes insensíveis treme por si*.

Embora partilhando a opinião atrás exposta, Phanjas [12] e Theodoro d'Almeida [13] afirmam que o som não é mais do que *ar movido*. Os corpos sonoros são apenas a origem do som, provocando, através das suas vibrações, modificações nas *partículas do ar*, e isso é som. Também, como atrás referimos, Lamarck defende a existência da *matéria própria do som*, definindo-a como um fluido *extremamente subtil, muito penetrante e extremamente elástico*, afinal *o fogo etéreo já preconizado por Newton*.

Quanto aos meios de transmissão, podemos distinguir dois pontos de vista essencialmente diferentes. Phanjas e Theodoro d'Almeida, coerentemente com a sua ideia de som, afirmam que o ar é o único meio de propagação. Phanjas chega mesmo a explicar porque razão o som de uma campainha colocada dentro de uma campânula de vidro é audível no exterior, assim como o facto bem conhecido de mergulhadores dentro de água poderem ouvir sons produzidos fora dela, afirmando que isto se deve *às idas e vindas das moléculas incom-*

pressíveis do vidro ou da água como um todo, que assim tomam e imitam as vibrações dos corpos elásticos que as empurram.

A maioria dos estudiosos desta época afirma contudo que o som se pode propagar, também na água e em alguns sólidos, concordando ao afirmar que o ar é o meio privilegiado para a propagação do som.

Regnault [14], embora condescendendo em que o som se pode propagar na água, considera a presença de ar indispensável na referida transmissão:

O som propaga-se mesmo na água: o ar fechado nos interstícios da água leva-o até às orelhas do mergulhador.

Tentando refutar esta ideia, cerca de vinte anos mais tarde o Abade Nollet [15] efectua experiências tentando *purgar toda a água do ar nela contida* para provar que mesmo assim o som era transmitido.

A este respeito, não devemos deixar de citar Sauri [16], que é talvez dos primeiros a referir outros fluidos em que o som se propaga como na água:

Não é só a água o único fluido que permite ao som sair do seu seio para se transmitir para o ar: o leite, o álcool do vinho, o óleo de rábano, têm a mesma propriedade, e as emanações produzidas pela flor da cerveja são elásticas e sonoras.

Guericke, o inventor da bomba de ar, foi naturalmente o primeiro a efectuar experiências sobre a possibilidade de propagação do som no vazio. Seguiram-se-lhe Boyle e Papin, mas dado que a obtenção de vazio ainda tinha resultados muito precários, as conclusões não foram as melhores [10]. No entanto, os textos desta época revelam consenso geral sobre a impossibilidade de propagação do som no vazio.

Guericke consegue provar experimentalmente a propagação do som através do ar e descobre também que alguns sons se transmitem através da água e de alguns sólidos.

Quanto à velocidade de propagação do som no ar, a maioria dos autores afirma que é constante e de 173 toesas por segundo, *quer percorra um grande ou pequeno espaço, de*

noite ou de dia, com tempo chuvoso ou céu limpo, quer se trate de um som agudo ou grave, forte ou fraco. Musschenbroek [17] discorda frontalmente desta posição, criticando nomeadamente as conclusões de experiências realizadas por um seu contemporâneo:

...Mr. Derham parece ter duvidado da verdade deste sentimento dado que avança que a velocidade do som é sempre a mesma, quer faça um tempo seco e sereno, ou que esteja triste e nebuloso... Não duvido que Mr. Derham tenha tido ocasiões favoráveis para fazer diversas observações da velocidade do som; mas tudo isso só foi feito em Inglaterra e não nos diferentes reinos em que a constituição do ar é certamente muito diferente seja por causa do quente, do frio, do peso e sobretudo por causa das emanações que saem do seio da Terra e cuja natureza é diferente consoante os países.

Sauri discorda igualmente dos seus colegas, justificando que a velocidade do som não é sempre a mesma devido ao facto de a *elasticidade do ar variar com o calor, a densidade, a pureza, a electricidade e o vento*.

Por sua vez, Pierre de Massuet [18] afirma:

O som transmite-se com a mesma velocidade quando percorre um espaço grande ou pequeno, de noite ou de dia, com tempo de chuva ou limpo... o som não é acelerado nem retardado pelo vento, mas, segundo algumas experiências é retardado por ventos contrários.

A propagação do som no ar é mais ou menos detalhadamente explicada por sucessivas dilatações e compressões das suas partes, em consequência da aproximação e afastamento sucessivo das partículas que *foram capazes de tomar e imitar o frémito que lhes foi comunicado pelo corpo sonoro*. Acrescentam que a *força do som* depende da grandeza deste movimento e da quantidade das partes abaladas.

Sobre esta questão, transcrevemos a opinião de Musschenbroek:

O som no ar depende de certas ondas que se formam. Não são ondas como as que se vêem na superfície da água e que partem como de um centro em que começaram a formar-se; antes elas formam-se no ar como sobre a superfície de uma esfera, porque o ar condensado dilata-se igualmente de todos os lados.

O Padre Teodoro de Almeida na sua bem conhecida obra «Recreação Filozofica» [13], afirma também:

Não cuideis que he preciso vir até nós o mesmo ar que estava junto da peça e se moveo no princípio; basta que esse mova o que tem junto a si, e esse o outro, &c. até se mover o que está junto dos nossos ouvidos como sucede nos círculos do tanque.

Também a este respeito se pronuncia Sauri, descrevendo a propagação do som numa vara de madeira como resultado da força elástica das partes que compõem as fibras longitudinais da madeira.

Preocupa-se igualmente em explicar a passagem do som do ar para a água, e vice-versa, apercebendo-se do seu amortecimento. Afirma nomeadamente que:

... este facto parece provar que a água é um meio elástico, embora as moléculas façam oscilações muito pequenas e os académicos de Florença não tenham conseguido comprimir sensivelmente este fluido.

A maioria dos autores consultados refere-se à distinção entre som e barulho, dizendo que só os corpos elásticos são verdadeiramente sonoros [15]. Alguns acrescentam que o barulho resulta do choque entre corpos não elásticos [11]. Esta distinção não é contudo passiva, havendo autores que preferem considerar que ruído não é som.

É interessante notar que nesta época apenas se faz referência a sons audíveis, não se encontrando qualquer referência à possibilidade de existência de sons não perceptíveis ao ouvido humano. Sauri, por exemplo refere os corpos que, embora vibrando não produzem som, *por não terem força suficiente para comunicar ao ar o movimento que o som precisa*. Afirma ainda que um som forte absorve um som mais fraco e tenta explicar a possibilidade de distinção de diferentes sons simultâneos.

É notória a diferença de tratamento dada a este conceito a partir do século XIX [23-28]: o som é definido como uma **sensação produzida no ouvido** por vibrações dos corpos sonoros e transmitida até à orelha por inter-

médio de um meio elástico, que é habitualmente o ar.

Contrariamente ao que verificamos no séc. XVIII, existe grande concordância de opiniões, afirmando-se, em geral, o seguinte:

- O som não se propaga no vazio. Transmite-se através dos gases e vapores.
- O ar não é o único veículo do som: todos os corpos ponderáveis podem também transmiti-lo.
- A transmissão dos movimentos vibratórios através da água é consequência da sua compressibilidade e elasticidade.
- A velocidade é a mesma para todos os sons, fortes, fracos, graves ou agudos, no mesmo meio. A velocidade do som é independente da sua intensidade.
- Barulhos são sons bruscos, instantâneos, uma mistura de sons discordantes.

Jamin e Bouty [24] publicam em 1881 uma obra em que afirmam:

A origem primeira de todos os sons é uma série de movimentos alternativos mas quaisquer, reproduzidos a intervalos iguais e muito próximos pelo conjunto das moléculas de um corpo sólido, líquido ou gasoso. Aristóteles referia já a origem do som às vibrações do corpo sonoro; mas a maior parte dos antigos atribuíam estas vibrações, não ao conjunto do corpo vibrante, mas às suas moléculas tomadas individualmente, isto é, explicavam o som como se explica hoje o calor. Entre ideias sãs em relação à produção e propagação do som.

Ainda neste século se fazem determinações da velocidade do som em diferentes meios.

P. A. Daguin [25] define velocidade do som como o espaço percorrido em um segundo e diz que, no mesmo meio, é a mesma quer os sons sejam graves ou agudos, fortes ou fracos, qualquer que seja o seu timbre.

Não podemos deixar de referir a obra de J. W. Strutt, Lord Rayleigh, *The Theory of Sound* [26], ainda hoje considerada a «Bíblia» dos estudiosos deste assunto. Citemos a sua primeira definição de som:

A sensação do som é uma coisa sui generis, não comparável com qualquer das outras sensações. Ninguém pode expressar a relação entre um som e uma cor ou um cheiro.

No início do século XX, encontra-se novamente alteração na definição do conceito [29, 30]. Citemos Chwolson [29], em 1906:

É necessário distinguir duas noções de som: uma subjectiva ou fisiológica, é uma sensação de natureza particular, percebida pelo órgão do ouvido e produzida por vibrações materiais que atingem este órgão. Enquanto fenómeno físico, o som consiste nas próprias vibrações. Estas duas noções estão longe de ser idênticas, porque existem vibrações que o órgão do ouvido não se apercebe e que, todavia não diferem em nenhuma propriedade essencial das vibrações que actuam sobre este órgão; diz-se então que os sons são imperceptíveis (...por causa da extrema fraqueza do som ou por ser muito pequeno o número de vibrações).

Chegamos, pois aos nossos dias com uma noção mais distinta e alargada do conceito de som. Apesar das dificuldades enfrentadas por aqueles que se interessaram por este assunto, ao longo dos tempos, foi possível evoluir no sentido de um melhor conhecimento e aproximação à verdade que a natureza por vezes parece comprazer-se em esconder.

3. Reflexões a partir de um estudo preliminar

A investigação sobre as ideias dos alunos acerca do som processa-se em duas fases. Na primeira procurámos fazer um levantamento prévio, destinado a detectar modelos conceptuais. Estes modelos serão submetidos a uma pesquisa sistematizada numa segunda fase. Iniciou-se este trabalho com a elaboração de um questionário (pré-teste). Este foi organizado por forma que os alunos exprimissem as suas ideias o mais livremente possível (perguntas abertas, explicação através de esquemas). Este primeiro levantamento serviu de base à elaboração de um novo questionário visando já aspectos concretos detectados no pré-teste.

Este estudo foi dirigido a um conjunto de 180 alunos de escolas C+S e Secundárias de Coimbra, do 7.º ao 12.º ano de escolaridade.

Dado tratar-se dum levantamento preliminar, não tivemos a preocupação de atingir

ambientes sócio-culturais diferentes, o que foi tido em conta no prosseguimento do trabalho.

Tentámos investigar as ideias dos alunos relativamente:

- ao modo como se produz, se propaga e se percebe o som;
- aos meios em que o som se propaga e ao seu comportamento na mudança de meio;
- às propriedades do som (velocidade, reflexão, refacção, difracção).

Apresentamos algumas reflexões sugeridas pelos resultados do pré-teste. Fazemos notar que a análise das respostas nem sempre é conclusiva. Aliás, como já referimos, nesta fase do trabalho fizemos apenas o levantamento de algumas hipóteses de interpretação que tentámos testar na fase seguinte.

A informação obtida acerca da forma como se *produz e percebe* o som é fragmentada e não permite conclusões, sugerindo no entanto pistas para reformulação de questões relativamente a este tópico.

Relativamente ao mecanismo de *propagação do som* e à *influência do meio*, emergem conclusões e pistas de trabalho interessantes. Os resultados permitem-nos concluir que um bom número de alunos pensa que **o ar é o meio privilegiado para a produção e propagação do som, ou que é mesmo indispensável para o efeito**. Reparemos, por exemplo, nas seguintes afirmações:

- *A água não tem fendas, por isso não deixa passar o som* (8.º ano).
- *O ar entra pela abertura principal na flauta e sai sob a forma de som* (9.º ano).
- *As vibrações sonoras só se difundem no ar* (12.º e 10.º anos).
- *O som não se propaga na água porque na água não há ar para transmitir o som* (11.º ano).

É muito nítida a semelhança entre estas afirmações e as ideias atrás transcritas de alguns

autores do século XVIII. Lembremos, a propósito, a controvérsia sobre a propagação do som noutros meios que não o ar e, por exemplo, a menção de P. Regnault [14] ao *ar fechado nos interstícios da água* responsável pela propagação do som neste meio, bem como a tentativa do Abade de Nollet [15] de «purgar» a água do ar nela contido, para provar o contrário.

Outras conclusões interessantes emergem já deste estudo preliminar. Algumas ideias sobre *propriedades do som* manifestam-se com bastante evidência e são detectáveis, quer através de uma análise resposta a resposta em todos os inquéritos, quer através de uma análise global de cada inquérito individualmente.

Estão neste caso afirmações bastante explícitas que manifestam, com muitas «nuances», a concepção do som como **substância**. Tanto pode tratar-se de uma entidade vagamente definida, como ter contornos precisos (isto é, tratar-se de um *corpo*). Há mesmo quem fale em *partículas de som*, à maneira de Lamarck [11] ou Phanjas [12] e faça apelo a um «mecanismo corpuscular» para explicar a propagação e reflexão do som. O paralelismo com ideias ultrapassadas, de origem nos atomistas, é por demais evidente.

Transcrevemos, como exemplo, algumas das respostas reveladoras deste aspecto:

- *A corda provoca vibrações de som* (8.º ano).
- *O som ao penetrar na cavidade da flauta produz vibrações* (9.º ano).
- *O ar é um meio elástico que permite a propagação das partículas que constituem o som* (11.º ano).

Um outro aspecto relevante diz respeito à **conceptualização de onda** e também à **influência do ensino formal nas ideias dos alunos**. Para explicar propriedades do som tais como propagação, reflexão, etc., alunos de níveis etários mais baixos utilizam um modelo que poderíamos chamar «corpuscular». Alunos de anos mais avançados fazem uso, com fre-

quência, de um «modelo ondulatório», embora geralmente de uma forma inadequada. Comentaremos este aspecto oportunamente.

Todos sabemos que o conceito de onda não é de fácil apreensão. A ideia de uma perturbação periódica no espaço e no tempo, que transporta energia de um local para outro sem a mediação de um objecto, não é de forma alguma intuitiva. Não é, pois, de estranhar que, no caso concreto do som, alunos de níveis etários mais baixos expliquem a propagação do som como sendo uma propagação de partículas e não de uma perturbação.

— *O som é devido à propagação ordenada de partículas* (9.º ano).

— *O som é um conjunto de partículas (ou moléculas) que andam no ar* (8.º ano).

O que já será preocupante é que a mesma ideia possa surgir em alunos universitários, tal como é referido no trabalho [3] de J. Cedric e L. Gaalen, de 1989.

Quanto ao «modelo ondulatório», que surge de forma embrionária nas respostas de alunos de níveis mais avançados, é patente a analogia com os «círculos de água no tanque». Esta ideia, já formulada por Aristóteles, é frequentemente retomada, por vezes de uma forma modificada, por outros autores. Encontrámos, por exemplo, uma sua variante em Leonardo da Vinci [9]. A ideia da propagação do som como uma onda esférica, como vimos, levou séculos a ser consolidada. É natural que a base para a conceptualização abstracta de onda surja do contacto mais comum com ondas na nossa experiência diária, nomeadamente as ondas na água. No entanto parece-nos que deve ser objecto de reflexão a utilização que os alunos fazem deste modelo. A permanência no mesmo tem efeitos fortemente negativos como analisaremos de seguida.

Debrucemo-nos então sobre os resultados de uma questão em que é produzido um som num certo ponto, havendo observadores localizados sensivelmente à mesma distância, mas a diferentes altitudes e posições relativas à fonte.

A quase totalidade dos alunos dos níveis etários mais baixos afirma que todos os observadores estavam em condições de ouvir o som:

— *...ouve em todos os pontos porque o som espalha-se através do ar* (7.º ano).

— *ouve-se porque o som se espalhavam por todos os lados* (7.º ano).

Pelo contrário, alunos de maior nível etário afirmam que **só se pode ouvir o som ao mesmo nível em que é produzido**, usando justificações supostamente «mais elaboradas», com base no «modelo ondulatório»:

— *As ondas são difundidas por meio de circunferências com raio cada vez maior e no plano em que é produzido* (12.º ano).

— *ouvem os que estão ao mesmo nível* (11.º ano).

— *...o som propaga-se em círculos cada vez maiores* (11.º ano).

— *...não ouvem os que estão ao nível mais baixo* (10.º ano).

Talvez seja pertinente, neste momento reflectir um pouco sobre a seguinte questão:

Quais os motivos que levarão os alunos a negar as suas próprias evidências, bem fundamentadas pela experiência diária?

Recordemos que, a este respeito já em 1738 Cotes [21] afirmava, contestando o uso pouco cuidado da analogia com as ondas de água num tanque, frequentemente utilizada pelos seus contemporâneos:

...Mas esta comparação não deve ser levada demasiado longe ... e alguns filósofos de grande nomeada, excederam-se ao procurar estabelecer uma correspondência mais exacta do que era necessário... Mas alguns filósofos são muitas vezes levados por ideias pré-concebidas, a argumentar mesmo contra o que sabem ser verdade.

Os exemplos que atrás citámos são elucidativos. Toda a gente sabe que o som não se ouve apenas ao nível em que é produzido mas, enquanto os alunos mais novos o afirmam com

toda a naturalidade, independentemente de fornecerem uma explicação correcta para o facto, o modelo ondulatório simplista (círculos de água no tanque) parece ter induzido alunos de níveis mais avançados (supostamente com *mais conhecimentos científicos*) a negar essa evidência. Este fenómeno é, aliás, conhecido e tem-se revelado através de inquéritos feitos sobre outros conceitos. Qual a explicação? Falta de capacidade de observação ou falta de confiança nas capacidades de observação próprias? Ou antes negação das suas próprias evidências em favor de uma interpretação inadequada dos conteúdos do livro ou daquilo que ouviram ao professor? A questão fica em aberto.

Um comportamento semelhante manifesta-se face à seguinte questão: agita-se uma campainha dentro de água. Será que o som se ouve cá fora? A maior parte dos alunos dá uma resposta negativa embora, provavelmente, todos eles se lembrem de ouvir sons emitidos por mergulhadores dentro de uma piscina. Aqui parece ser a crença, um tanto generalizada, de que o som só se propaga no ar que leva os alunos a fazer esta afirmação. Comentámos já anteriormente este aspecto.

Uma outra questão que nos motiva alguns comentários (talvez até um pouco marginais em relação ao objecto do nosso estudo) diz respeito ao som na Lua. Dois astronautas que tirassem os capacetes não conseguiriam ouvir-se na Lua. Porquê? Surgem as respostas mais diversificadas, sendo difícil identificar um padrão típico. Uma boa parte das justificações tem a ver com a **gravidade** ser grande ou ser pequena, existir ou não:

—Na Lua não há gravidade e os sons fogem (9.º ano).

—Na Lua a gravidade é altíssima, por isso não se ouve (12.º ano).

—Devido à gravidade... (7.º ano).

Esta confusão de interpretação daquilo que se passa na Lua pode ter que ver com uma incorrecta compreensão dos conceitos de peso, de gravidade e de imponderabilidade, a respeito dos quais os manuais escolares se mostram,

frequentemente, confusos. Perguntamo-nos também até que ponto os filmes de ficção científica, que frequentemente aparecem na televisão, não terão uma influência negativa na construção das imagens sobre aquilo que se passa num mundo fora do alcance da nossa experiência diária. Não se nega de forma alguma o interesse de boas obras de ficção científica, até como agentes de motivação dos jovens para a ciência, mas talvez seja útil que o professor esteja atento a esses programas para desmontar os possíveis conteúdos científicos incorrectos. Quem, por exemplo, não «ouviu» já, na Terra, o estrondo da explosão de uma nave espacial ocorrida algures no espaço, fora da atmosfera terrestre?

4. Conclusões

Finalmente gostaríamos de destacar algumas das conclusões, que se nos apresentam para já, nesta fase do trabalho. O paralelismo entre as ideias dos alunos acerca do som e ideias históricas primitivas revela-se já de forma bastante evidente, apesar da natureza exploratória do próprio inquérito. Destacamos alguns aspectos relacionados com essas ideias dos alunos:

- *o som como substância;*
- *a dificuldade em compreender que o som se propaga noutros meios que não o ar;*
- *a existência de diferentes modelos para explicar a propagação do som, que variam consoante os níveis etários;*
- *a influência do ensino formal manifestada através de uma inadequada utilização de um modelo ondulatório simplista;*
- *a dificuldade de compreensão do que é uma onda e suas propriedades.*

As presentes conclusões serviram de base a um novo inquérito, mais elaborado e abrangendo diferentes níveis sócio-culturais. A análise dos seus resultados está em curso, remetendo para uma publicação futura as conclusões obtidas, bem como sugestões didácticas. Para já parece-nos útil que a Acústica tenha voltado aos programas do Ensino Básico. Como já

tivemos oportunidade de referir o conceito de onda é de difícil apreensão. Passar do estudo das ondas de água para o estudo de ondas electromagnéticas parece ser uma transição demasiado brusca e de resultados pedagógicos pouco conseguidos. O estudo do som pode, numa perspectiva correcta, lançar uma ponte entre o concreto e visualizável e o mistério de uma perturbação que se propaga no vazio.

REFERÊNCIAS

- [1] DRIVER, R. e EASLEY, J. — *Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students*. Studies in Science Education, **5**, 61-84 (1978).
- [2] DUIT, R. — *Research on students' alternative frameworks in science-topics, theoretical frameworks, consequences for science teaching*. In Novak, J. (ed.) Proceedings of the Sec. Int. Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, vol. I, Ithaca, N. Y.: Cornell University, 151-162 (1987).
- [3] LINDER, C. J. and ERICKSON, G. L. — *A study of tertiary physics students' conceptualizations of sound*. Int. J. Sci. Educ., **11**, 491 (1989).
- [4] NEEDHAM, J. — *Science & Civilisation in China*, Volume IV. Cambridge University Press, 1962.
- [5] COHEN, M. R. and DRABKIN, I. E. — *A Source Book In Greek Science*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1958.
- [6] DAMPIER, W. C. — *A History of Science*. Cambridge, University Press, 1966.
- [7] SCHIMANK, H. — *The Early History of Acoustics*. Zeitschr. f. Techn. Physik, **12**, 500 (1936).
- [8] BAYLEY, M. H. C. — *The Greek Atomists and Epicurus*. New York, Russel & Russel Inc., 1964.
- [9] RICHTER, I. A. — *Selections from The Notebooks of Leonardo da Vinci*. London, Oxford University Press, 1953.
- [10] WOLF, A. — *A History of Science, Technology and Philosophy in the XVIth and XVIIth Centuries*. London, George Allen & Unwin Ltd. 1950.
- [11] LAMARCK — *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle et des Arts*, Tome XLIX. A Paris, Chez J.-J. Fuchs, rue des Mathurins, 1799.
- [12] PHANJAS, P. — *Théorie des êtres sensibles ou Cours Complet de Physique*, Tome II. A Paris, rue Daupline, Chez Charles-Antoine Jombert, MDCCLXXII.
- [13] ALMEIDA, P. T. — *Recreação Filozófica*, Tomo II. Lisboa, na Officina de Miguel Rodrigues, MDCCLVII.
- [14] REGNAULT, P. N. — *Les Entretiens Physiques d'Aristide et Eudoxe, ou Physique Nouvelle en Dialogues*. Tome III (Septieme edition). A Paris, rue S. Jacques, MDCCLXV.
- [15] NOLLET — *Leçons de Physique Expérimentale*, Tome III (Sixieme Edition). A Paris, Chez Hippolyte-Louis Guerin et Louis-François Delatour, rue S. Jacques, à S. Thomas d'Aquin, MDCCLXIV.
- [16] SAURI — *Cours de Physique Expérimentale et Théorique*, Tome II. A Paris, Chez Froulé, Pont Notre Dame, vis-à-vis le Quai de Gêvres, MDCCLXXXVII.
- [17] MUSSCHENBROEK, P. — *Essai de Physique*, Tome II (Traduit du Hollandais, par P. de Massuet), A Leyden, Chez Samuel Luchtmans, 1739.
- [18] MASSUET, P. — *Éléments de la Philosophie Moderne*, Tome II. A Amsterdam, Chez Z. Chatelain et Fils, MDCCLII.
- [19] BÉGUIN, M. — *Principes de Philosophie Générale, de Physique, de Chymie, et de Géometrie transcendante*, Tome III. À Paris, Chez Nyon l'ainé, Libraire, rue du Jardinnet, quartier Saint André des Arcs., MDCCLXXXII.
- [20] BRISSON — *Traité Élémentaire ou Principes de Physique*, Tome II. A Paris, de l'Imprimerie de Moutard, rue des Mathurins, 1789.
- [21] COTES, R. — *Hidrostatical and Pneumatical Lectures*. London: Printed for the Editor, and fold by S. Austen, at the Angel and Bible in St. Paul's Church-yard; and the Booksellers at Cambridge, MDCCXXXVIII.
- [22] LA FOND, M. S. — *Éléments de Physique Théorique et Expérimentale*, Tome III. A Paris, Chez P. Fr. Gueffier, rue de la Harpe, à la Liberté, MDCCLXXII.
- [24] JAMIN, M. and BOUTY, M. — *Cours de Physique de L'École Polytechnique*. Paris, Gauthier-Villars, 1881.
- [25] DAGUIN, P. A. — *Traité Élémentaire de Physique Théorique et Expérimentale*, Tome Premier. Paris, Tandou et C^e, Libraires-Éditeurs, rue des écoles, 78, 1867.
- [26] STRUTT, J. W. (Baron Rayleigh) — *The Theory of sound*, Volume I. London, Macmillan and Co., 1894.
- [28] CHAPPUIS, J. and BERGET, A. — *Leçons de Physique Générale*, Tome III. Paris, Gauthier-Villars et fils, Imprimeurs Libraires, 1802.
- [29] CHWOLSON, O. D. — *Traité de Physique*, Tome Premier. Paris, Librairie Scientifique A. Hermann, rue de la Sorbonne, 6, 1906.
- [30] BECQUEREL, J. — *Cours de Physique*, Tome II. Paris, Librairie Scientifique J. Hermann, rue de la Sorbonne, 6, 1926.