

Modelos mentais e representações utilizadas por estudantes do ensino médio para explicar ondas

Nádia Cristina Guimarães Errobidart¹, Shirley Takeco Gobara¹, Maria Inês Affonseca Jardim², Hudson Azevedo Errobidart³ e Simone Machado Marques⁴

¹Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil, e-mails: nacriguer@gmail.com, stgobara@gmail.com. ²Universidade Anhanguera-Uniderp I, Brasil, e-mail: inesaffonseca@gmail.com. ³Secretaria de Educação de Mato Grosso do Sul, Brasil, e-mail: herobidart13@yahoo.com.br. ⁴Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil, e-mail: simone_m_marques@yahoo.com.br.

Resumo: O artigo apresenta os resultados de uma pesquisa qualitativa exploratória que teve por finalidade identificar e investigar a ocorrência de modelos mentais (Johnson-Laird, 1983) e representações, utilizadas por estudantes do segundo ano do ensino médio quando solicitados a explicar, de acordo com sua percepção, a produção e a propagação das ondas. Os resultados evidenciam o uso de representações analógicas construídas ou utilizadas com base em suas percepções do cotidiano. Guardam significados influenciados pelo meio e pelas relações que estabelecem com ele que podem ser evidenciadas nas respostas elaboradas pelos estudantes e nas imagens construídas para explicar as ondas que eles conheciam.

Palavras-chave: modelo mental, onda, aprendizagem, estudantes do ensino médio.

Title: Mental models and representation used for students of the high school to explain waves.

Abstract: In this article, we show the results of a qualitative exploratory researching whose objective was identify and investigate occurrence of representation and mental models (Johnson-Laird, 1983), used for students in the second grade of the high school when asked them to explain, according their perceptions, the production and propagation of waves. The results demonstrate use built analogical representation or their daily perceptions. Include meaning influenced to the ambient and relation with it observed in the answers and illustrations elaborate to the students to explain the waves known by them.

Keywords: mental model, wave, learning, high school students.

Introdução

O estudo sistemático do conhecimento científico associado a muitos dos fenômenos ondulatórios, evidenciados cotidianamente pela maior parte dos estudantes do ensino médio, pode apresentar, além das dificuldades de compreensão conceitual e de formalização dos modelos matemáticos, a influência das representações elaboradas a partir de suas experiências sensoriais.

As pesquisas sobre concepções, modelos mentais, perfis conceituais, etc. já mostraram a importância dos conceitos prévios dos estudantes na aquisição dos novos conhecimentos, portanto, mesmo quando os conceitos não são sistematicamente estudados na escola, eles constroem representações explicativas com base na observação e interação com os fenômenos da natureza. Esses modelos são geralmente criados por meio dos sentidos (visão, audição e tato) ou por influências das práticas sociais de referência (Pietrocola, 2001).

Partindo desse entendimento, apresentamos nesse artigo os resultados de uma pesquisa qualitativa que buscou identificar as representações de estudantes do ensino médio, que ainda não haviam estudado os saberes relacionados aos conceitos de ondas. Realizamos esse estudo, que faz parte de um projeto de pesquisa mais amplo, porque verificamos que os conteúdos associados ao saber sobre ondas não são ministrados nas escolas públicas de ensino básico de Campo Grande/MS. Esse artigo apresenta os resultados dos primeiros levantamentos que realizamos para verificar como estava ocorrendo o ensino desse conteúdo nessas escolas.

As idéias dos estudantes foram levantadas por meio de um questionário e os dados obtidos foram analisados a partir da metodologia de análise de dados qualitativos, denominada análise de conteúdo (Bardin, 2002) e do referencial teórico dos modelos mentais (Johnson-Laird, 1983).

O referencial teórico

As representações mentais podem ser analógicas ou proposicionais. É considerada analógica quando resulta de um processo não individual elaborado a partir de imagens visuais, auditivas, táteis ou olfativas, ou seja, pelos sentidos. A representação proposicional é individual, organizada por regras de combinação e abstração e pode admitir mais de um aspecto e estão atreladas a cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural. As diversas formas em que as representações aparecem, diferem não somente em sua estrutura como também no seu nível funcional.

Para Johnson-Laird (1983), modelos mentais são representações analógicas da realidade, entendidas como qualquer notação, signo ou conjunto de símbolos que representa algo que é tipicamente um aspecto do mundo exterior ou do interior em sua ausência, ou seja, de nossa imaginação. São essenciais para o entendimento da cognição humana, pois nossa percepção do mundo não se dá diretamente e sim por meio das representações que construímos em nossa mente.

Modelos mentais relatam o encadeamento do discurso, do evento ou da situação, incluindo os objetos envolvidos e o conhecimento implícito que o observador usa para compreendê-los. Já as representações proposicionais representam o sentido do discurso, apresentam regras explícitas de manipulação. Eles são estruturalmente semelhantes aos processos que acontecem no mundo exterior, ainda que sejam incompletos e não representem diretamente a realidade e são formados por elementos onde se guardam os significados do mundo externo e as relações que o sujeito faz entre eles. São modelos de trabalho que possibilitam que façamos previsões, deduções e que tomemos decisões para a execução de tarefas. As imagens são produtos tanto da percepção como da imaginação,

representam como algumas coisas são vistas a partir do ponto de vista particular do observador (Johnson-Laird, 1983; Borges, 1997; Greca e Moreira, 1998; Moreira, Greca e Palermo, 2002).

A fonte primária para a elaboração dos modelos mentais (representações analógicas) é a percepção, mas também podem se formar a partir do discurso ou ser fruto de nossa imaginação. Sua construção deriva da estrutura de mundo percebida pelo indivíduo, de seu conhecimento anterior, da necessidade de manter o sistema cognitivo livre de contradições para não saturar sua memória de trabalho (Johnson-Laird, 1983).

Os modelos mentais apresentam as seguintes características: (1) são incompletos; (2) a habilidade das pessoas para executá-los é limitada; (3) são estáveis; (4) não tem fronteira bem definidas; (5) não são científicos, refletindo as superstições e crenças do indivíduo sobre o sistema físico; e (6) são parcimoniosos (Moreira, 1996).

Diferentemente dos modelos mentais, os modelos conceituais são representações externas criadas por investigadores, professores e outros profissionais para facilitar a compreensão e o ensino dos sistemas e estado de coisas do mundo. São representações precisas, completas e consistentes com o conhecimento científico compartilhado por uma determinada comunidade. Podem materializar-se por meio de fórmulas matemáticas e analogias. São representações simplificadas de objetos, fenômenos e situações reais (Johnson-Laird, 1983).

Para compreendermos um fenômeno natural devemos saber suas causas, poder descrever suas consequências e prever seus efeitos, ou seja, temos que criar um modelo mental do fenômeno para podermos manipulá-lo.

Apesar de ensinarmos na escola modelos conceituais entendemos que, a aprendizagem significativa passa pela construção de um modelo mental que dará significado ao modelo conceitual que lhe foi ensinado.

Quando se ensina, supõe-se que os estudantes vão criar modelos mentais que são cópias dos modelos conceituais apresentados pelos professores. O que acontece é que, na maioria das vezes, os estudantes tomam aqueles elementos considerados importantes dos modelos conceituais apresentados relacionam-os, quando possível, com o que já conhecem e geram modelos mentais que não são necessariamente similares aos modelos conceituais apresentados (Moreira, 1996). Muitas vezes estes modelos são distantes dos modelos conceituais aceitos pelos cientistas.

Quando os modelos dos estudantes são suficientes para resolverem seus problemas, os mesmos podem não ter interesse em fazer uma revisão de seus esquemas, ou se o fazem, esta revisão pode ser parcial e acabam trabalhando com modelos híbridos ou sintéticos, resultantes da combinação de aspectos do modelo inicial, geralmente baseado em experiências do cotidiano, com o modelo científico, aceito pela academia (Hrepic, Zollman e Rebello, 2003; Greca e Moreira, 2002).

A evolução de um modelo mental pode ser entendida como resultado de um processo sócio-cognitivo do estudante que constitui um pressuposto indispensável para que ele possa se apossar-se do conhecimento científico apresentado na escola. Ao longo dessa evolução é possível perceber o

enriquecimento da habilidade de formular explicações para fenômenos novos ou aprimorar as representações usadas em interpretações anteriores (Borges e Barbosa, 2006).

Os modelos mentais são estruturas que refletem a compreensão que o usuário tem do sistema, de como e por que ele funciona dessa ou de outra maneira, permitindo-o experimentar mentalmente estas ações antes de executá-las. Podemos, portanto, supor que estes modelos procuram responder as seguintes questões em relação a uma proposição sobre um sistema a ser estudado: Como é o sistema? De que ele é feito? Como ele funciona? O que ele faz? Para que ele serve? No questionário aplicado aos estudantes/voluntários buscamos enfatizar as últimas questões, por entendermos que elas exigem uma reflexão maior do sujeito.

Utges (1999) realizou um estudo sobre o uso de modelos e analogias, utilizados por estudantes adolescentes, na compreensão de ondas, levando em consideração como são contempladas as relações entre o espaço, o tempo e a causalidade, o papel atribuído ao meio de propagação, os tipos de alterações e características de uma onda, do ponto de vista ontológico. Ela identificou e caracterizou sete modelos: (1) figuras conhecidas, (2) curvas que caminham, (3) fonte, (4) repetição, (5) formas em movimento, (6) transmissão-transferência e (7) modelo meio material. Os três primeiros modelos estão relacionados ao ponto de vista de onda como um ente e os quatro últimos ao ponto de vista de onda como evento, relacionadas ao subir e descer, oscilar e transmitir, transferir e propagar.

Hrepic, Zollman e Rebello (2003), apresentam um pequeno levantamento das pesquisas sobre modelos mentais em ondas sonoras e sugerem que quando nos referimos às ondas sonoras, podemos associar um modelo ingênuo à propagação do som, e que esse modelo é comum para inúmeras concepções alternativas relativas ao som. Neste modelo o som viaja como um objeto. Este modelo costuma ser chamado de "modelo partícula". Também são comuns os modelos que apresentam o som se propagando como um pulso de partículas.

Aspectos metodológicos

Para identificar e investigar a ocorrência de modelos mentais e representações elaboradas por estudantes, quando solicitados a explicar a produção e a propagação das ondas, de acordo com sua percepção, realizamos uma pesquisa qualitativa exploratória, pautada na análise de conteúdo (Bardin, 2002). Optamos por uma técnica de coleta de dados substanciada em um questionário, proposto com o objetivo de verificar como os estudantes percebiam as ondas por meio dos seus sentidos, e que representações ou modelos eles utilizavam para explicar os fenômenos ondulatórios, observados no seu cotidiano. O questionário foi composto de sete questões: (1) Você já viu uma onda? Se você viu, de alguns exemplos; (2) Você já sentiu uma onda? Se você sentiu, de alguns exemplos; (3) Você já ouviu uma onda? Se você ouviu, de alguns exemplos; (4) Desenhe e identifique as ondas que você conhece; (5) Como se forma, ou se produz uma onda? (6) Depois de produzida a onda, o que acontece com a onda?; e (7) O que é uma onda?

Selecionamos como campo de pesquisa três escolas públicas do

município a partir de um enquadramento estabelecido pelo governo estadual, segundo o qual a unidade escolar é classificada por uma tipologia a partir de cinco critérios: (1) níveis de ensino; (2) turnos de funcionamento; (3) o número de salas de aula utilizadas; (4) o número de outras dependências; e (5) número de alunos. A soma dos pontos obtidos na avaliação desses critérios determina a tipologia da unidade escolar: (até oito pontos, tipo H; de nove a 12, tipo G; de 13 a 16 pontos, tipo F; de 17 a 20 pontos, tipo E; de 21 até 23 pontos, tipo D; de 25 a 27 pontos, tipo C; de 28 a 30 pontos, tipo B e acima de 30, tipo A).

Participaram da pesquisa três grupos de 15 estudantes/voluntários de cada uma das escolas, classificadas como tipologia A (ensino fundamental e médio; aulas no matutino, vespertino e noturno; mais de 20 salas de aula e acima de 2460 alunos), C (ensino médio e educação de jovens e adultos; aulas no matutino, vespertino e noturno; menos de 15 salas de aula e quase 1000 alunos) e E (ensino médio e educação de jovens e adultos; aulas no matutino e noturno; menos de 10 salas de aula e quase 500 alunos).

Vale ressaltar que, além da tipologia, as três escolas se diferenciavam quanto à clientela atendida. A escola tipologia A é uma unidade localizada na região central da cidade, onde são matriculados alunos de diferentes bairros, enquanto que, as classificadas como C e E geralmente atendem respectivamente a estudantes que moram nos bairros da região sul e oeste do município.

Em cada escola selecionamos para responder o questionário 15 estudantes/voluntários que estavam iniciando o 2º ano do ensino médio, série que tradicionalmente se ensina os saberes relacionados a ondas e, portanto, as respostas, segundo nosso entendimento, seriam elaboradas a partir do conhecimento adquirido no dia a dia.

Num primeiro contato com os grupos de alunos informamos que o objetivo da pesquisa não era avaliar os conhecimentos relacionados ao conteúdo de ondas ensinado na escola, visto que o mesmo não havia sido formalmente explorado pelo professor. Buscamos levantar o que eles entendiam por ondas, como percebiam e explicavam a manifestação de fenômenos ondulatórios a partir dos conhecimentos adquiridos em sua vivência diária.

Entendemos que esse levantamento é necessário e fundamental para qualquer que seja o planejamento de uma sequência didática numa perspectiva construtivista e ou sociointeracionista. Salientamos que as informações obtidas e aqui apresentadas, representam uma das etapas de um projeto de pesquisa cujo objetivo geral foi pesquisar porque o conteúdo de ondas não é abordado pelos professores no ensino médio e propor estratégias para modificar tal situação. Buscamos levantar na literatura estudos sobre as ideias dos estudantes sobre esse conteúdo e verificar a ocorrência ou não de aspectos similares e/ou idiossincráticos relacionados aos modelos explicativos dos estudantes.

Ao fazer uma leitura flutuante nos questionários respondidos, percebemos que as respostas apresentadas pelos estudantes das três escolas indicavam representações bem semelhantes, o que nos possibilitou

realizar a construção de categorias para mapear e analisar as respostas e, os exemplos fornecidos para cada uma das questões.

As categorias escolhidas, em geral, estão relacionadas à quantidade (frequência) de respostas semelhantes identificadas nos questionários. Em algumas questões tivemos respostas que não se enquadravam nas categorias já identificadas e que não apresentavam relação com a questão ou o conhecimento de ondas. Criamos para essas respostas uma categoria denominada "outros". Alguns estudantes elaboraram várias respostas e exemplos para uma mesma questão, razão pela qual as respostas de um estudante foram enquadradas em diferentes categorias.

Identificamos os estudantes pela letra que caracteriza a tipologia da escola (A, C e E) e por um número, que representa a quantidade de sujeitos investigados em cada escola (15 estudantes), totalizando 45 sujeitos voluntários.

Discussão dos resultados

As quatro primeiras questões apresentadas aos estudantes tinham por objetivo verificar como eles percebiam as ondas por meio dos seus sentidos (representações analógicas) e das representações gráficas (imagens, desenhos), ou seja, como explicariam os fenômenos ondulatórios observados no seu cotidiano. Entendemos que essas representações são importantes para que possamos conhecer aquilo que os estudantes sabem ou conhecem visto que esses conhecimentos podem influenciar de forma significativa a aprendizagem, pois vão servir como ponte e/ou ancoragem para os novos conhecimentos apresentados pelo professor (Ausubel, Novak e Hanesian, 1978). Acreditamos ainda, que esses conhecimentos prévios podem se constituir em obstáculos epistemológicos para a construção de um novo conhecimento (Bachelard, 1978).

Apresentamos na tabela 1 o mapeamento das respostas dos estudantes para a questão: Você já viu uma onda? Se você viu, dê alguns exemplos.

Tipos de respostas	Tipologia da escola				Exemplos
	A	C	E	Total	
Não sei	0	0	1	1	
Não	4	10	2	16	
Sim	2	0	0	2	Ondas sonoras
	0	0	1	1	Ondas de calor
	0	0	2	2	Ondas em corda
	1	1	2	4	Ondas eletromagnéticas
	7	4	9	20	Ondas na água (mar e rio)
	2	0	1	3	Outras

Tabela 1 - Mapeamento das respostas da questão 1.

Essa questão teve como objetivo identificar, dentre as respostas que afirmaram terem visto uma onda, os possíveis modelos mentais e representações elaboradas pelos estudantes ao explicar a visualização dessas ondas.

Ao analisarmos os questionários dos estudantes que responderam afirmativamente essa questão, 20 respostas deram como exemplo uma

onda se propagando na água. Eles afirmaram que tinham visualizado a manifestação do fenômeno relacionado com a água do mar ou de um rio. As representações associadas com ondas se propagando na superfície da água serão denominadas de modelos transporte de matéria. Trata-se de um modelo explicativo incompleto e às vezes incorreto, mas que apresenta um análogo ao fenômeno observado, neste caso, quando um barco provoca uma perturbação no rio ou no mar.

Duas respostas relatam a visualização de uma onda se propagando em uma corda, exemplo que é tipicamente citado em textos didáticos e que está de acordo com o modelo conceitual ou científico de onda, mas raramente é visto no dia a dia. Tal modelo, portanto, aparece com frequência muito baixa e foi classificado como modelo figuras conhecidas (Utges, 1999).

Também verificamos respostas com exemplos de ondas que estão relacionadas às expressões do cotidiano tais como: ondas de calor e ou ondas de frio. Essas expressões aparecem com frequência nas previsões do tempo veiculadas nos noticiários de TV ou rádio e sugerem influências das práticas sociais de referência (Martinand, 2003). Esses modelos serão denominados modelo expressões cotidiano.

Os exemplos de ondas explicitados nessa primeira questão sugerem que as representações construídas pelos alunos estão relacionadas às experiências vivenciadas no cotidiano ao presenciarem o fenômeno da propagação da onda na superfície do mar ou do rio. Portanto, são representações analógicas, pois são baseadas em suas percepções, principalmente, visuais, como podemos verificar nos exemplos apresentados abaixo.

E₁₄ - Já vi sim uma onda, creio que todo mundo já viu ou presenciou uma onda no mar. O surfista surfa na onda.

A₉ - Sim. Já vi uma onda no rio Aquidauana. Não é igual a do mar, mas é bem legal. Ela se formava a partir da correnteza e do giro do motor do barco.

A₇ - Sim, ondas do mar, ondas magnéticas, ondas de calor, ondas sonoras.

C₃ - Sim, ondas energéticas.

Na resposta do aluno A₇, quando menciona ter visualizado ondas que não são visíveis, como as magnéticas e as de calor, sugere que o mesmo estabelece uma relação com a percepção de fenômenos óticos, térmicos e sonoros. Tais relações podem ser fruto de representações figurativas das ondas na forma de figuras com ondulações, veiculadas pelos meios de comunicação ou outras práticas sociais de referência e também por livros didáticos, que assim representam uma onda sendo emitida por uma fonte.

Em algumas respostas, como a do estudante C₃, não foi possível identificar uma referência para o exemplo apresentado. Do ponto de vista da teoria dos modelos mentais, esse exemplo poderia ser considerado, numa primeira aproximação, um modelo híbrido (Greca e Moreira, 2002) indicando a noção de que onda transporta energia.

Na questão2, tínhamos por objetivo verificar, por meio dos exemplos

citados, a representação que eles fazem de uma onda, e, portanto, a ocorrência ou não de modelos mentais construídos pelos estudantes para exemplificar essa sensação.

Na tabela 2, apresentamos o mapeamento das respostas dos estudantes para a questão: Você já sentiu uma onda? Se você sentiu dê exemplos.

Tipos de respostas	Tipologia da escola				Exemplos
	A	C	E	Total	
Sem resposta	0	1	1	2	
Não	5	9	4	18	
Sim	1	0	0	1	Choque elétrico
	2	4	1	7	Som
	5	0	6	11	Mar
	2	1	0	3	Calor (quente ou frio)
	0	0	5	5	Outros

Tabela 2 - Mapeamento das respostas da questão 2.

Dentre os participantes da pesquisa, 20 estudantes responderam que não tinham sentido uma onda. Dentre os exemplos apresentados para as respostas afirmativas, 11 declaravam ter sentido uma onda quando estavam dentro da água do rio ou do mar, utilizando para exemplificar a sensação, um modelo já identificado na questão anterior. Sete estudantes responderam que já tinham sentido uma onda por meio do som produzido pela vibração nos alto-falantes. Consideramos que essa representação de objeto vibrante está associada ao modelo repetição, proposto por Utges (1999).

Algumas respostas não apresentavam informações que nos permitissem identificar a representação elaborada pelo estudante para explicar como tinha sentido uma onda, nesse caso, foram classificadas na categoria outros. As respostas formuladas pelos alunos E₈ e E₉ exemplificam os cinco estudantes classificados na categoria outros.

E₈ - Nunca reparei.

E₉ - Sim. O vento.

A associação feita entre a propagação de uma onda e o transporte de matéria fica evidente na resposta abaixo:

A₉ - Sim. Você se sente levado pela onda. Se não se segurar em algo ela te leva.

A resposta elaborada por esse estudante sugere a utilização de um modelo em que a onda transporta a matéria, identificado na literatura como modelo transporte de matéria (Hrepic, Zollman e Rebello, 2003).

Algumas respostas indicam a utilização de um modelo um pouco mais elaborado, pois associa a onda sonora à ideia de vibração. Outras apresentam combinações entre modelos elaborados a partir de suas percepções do cotidiano e modelo científico. A resposta de A₁₄ é um exemplo dessa combinação se considerarmos que o tremor mencionado por esse estudante está associado à necessidade de vibração de algo (A₁₄ - onda sonora, quando se ouve música em um volume elevado sente-se um

certo tremor). Respostas semelhantes a essa foram classificadas como modelo híbrido (Greca e Moreira, 2002).

A noção de onda influenciada por expressões do cotidiano e práticas sociais de referência, comumente usada em previsões do tempo e já identificada na questão anterior como modelo expressões do cotidiano, volta a ser evidenciada nas representações elaboradas para responder a segunda questão, como podemos perceber em C₅ - Já senti ondas de frio e calor. Em alguns casos as representações dos estudantes sinalizam uma forte influência das sensações vivenciadas no cotidiano como podemos perceber nas respostas abaixo.

E₁₄ - Sim. Enquanto tomo banho em um rio e passa um barco, as ondas chegam a mim. Do barco, no meio do rio, chega a mim na beira, quer dizer, se propagam rapidamente.

A₇ - Sim, já senti uma onda do mar e a onda sonora e a magnética através do choque.

Apresentamos na tabela 3 o mapeamento das respostas apresentadas pelos estudantes à questão: Você já ouviu uma onda? Se você já ouviu, dê exemplos.

Tipos de respostas	Tipologia da escola				Exemplos
	A	C	E	Total	
Não	0	3	2	5	
Sim	11	5	11	27	Ondas sonoras
	1	2	1	4	TV/Rádio
	2	2	0	4	Mar
	1	3	1	5	Indeterminados

Tabela 3 - Mapeamento das respostas da terceira questão.

Nosso objetivo com a terceira questão era identificar possíveis modelos mentais utilizados pelos estudantes para exemplificar a audição de uma onda.

Dos 45 sujeitos investigados, apenas cinco disseram nunca ter ouvido uma onda, e como era por nós esperado, 27 dos estudantes que afirmaram ter ouvido uma onda associavam seus exemplos às ondas sonoras.

Dos 40 estudantes que afirmaram ter ouvido uma onda, cinco deram exemplos que aparentemente não apresentavam relação com o contexto investigado. Essas foram classificadas como indeterminadas como, por exemplo:

C₃ - Sim, um curto-circuito.

Em outros casos foi necessária uma análise de todo o questionário para classificar o modelo utilizado pelo estudante para representar a audição de uma onda como mostrado nos exemplos abaixo:

A₄ - Sim quando paramos na praia à noite. Com o silêncio podemos ouvir um som das ondas. Subindo nas beiras dos morros, até parece um vendaval.

A₇ - Já ouvi o barulho de uma onda do mar.

Apesar das representações elaboradas por A₄ e A₇ sugerirem que as ondas do mar produzem um som, consideramos que essas informações não possibilitam afirmar que os estudantes entendem o som como uma onda. Isso sugere a utilização de um modelo híbrido para explicar a percepção de ondas pelo sentido da audição (Greca e Moreira, 2002).

Na quarta questão foi solicitado aos estudantes para desenhar e identificar as ondas que eles afirmaram ter visto, sentido e ouvido. Os dados obtidos são apresentados na tabela 4.

Tipos de respostas	Classificação	Tipologia da escola				Exemplos
		A	C	E	total	
Sem desenho	-	1	0	2	3	
Com desenho	Quanto aos meios	7	1	11	19	Água
		5	3	2	10	Ar
		0	0	1	1	Cordas
		6	3	3	12	Outras
	Quanto à forma da onda	3	1	4	8	Senoide
		3	3	6	12	Quebra de onda
		4	2	1	7	Frente de onda
		0	3	1	4	Circular

Tabela 4 - Mapeamento das respostas da quarta questão.

Como grande parte dos estudantes elaborou mais de uma imagem ao responder a questão, resolvemos, para facilitar a interpretação dos resultados, classificar cada uma delas em duas grandes categorias: quanto aos meios de propagação utilizados e quanto à forma usada na representação da onda desenhada.

Vale salientar que buscamos, em cada uma das imagens, informações sobre o conhecimento implícito que o estudante aparentemente utilizou para representar sua compreensão de ondas e dos fenômenos ondulatórios.

Identificamos, a partir das imagens analisadas, que a maioria foi construída com base em sua vivência cotidiana, produto de sua percepção ou simples imaginação, como podemos observar nas figuras selecionadas para subsidiar nossa discussão.

Assim como nas questões anteriores, a representação de uma onda se propagando na superfície da água representa a maioria dos exemplos, aparecendo em 19 das imagens desenhadas pelos estudantes.

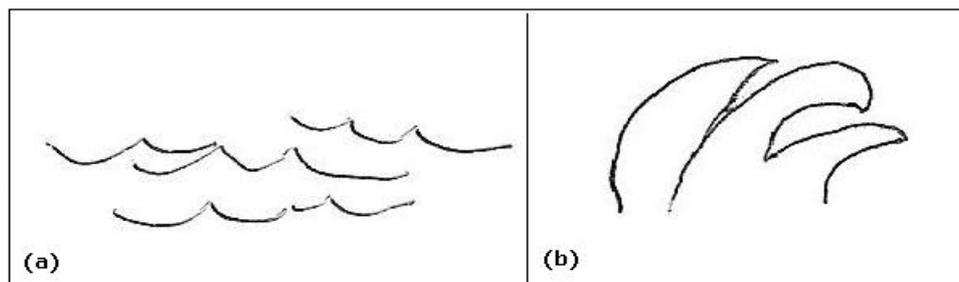


Figura 1 - (a) representação de onda na superfície da água e (b) representação de quebra de onda.

As figuras 1(a) e 1(b) indicam a representação que os estudantes A_{10} e C_5 fizeram de ondas associadas às experiências com a água do mar ou ondas quebrando na praia. Imagens semelhantes a essas foram associadas ao modelo mental que denominaremos de modelo quebra-mar.

Em outras sete imagens como as apresentadas na figura 2, evidenciamos a representação da formação de frente de ondas. Do ponto de vista da representação simbólica, os desenhos sugerem que os estudantes possuem uma imagem analógica de uma onda se propagando numa superfície, elaborada a partir de sua interação com o cotidiano ou resquícios de um contato com o modelo científico ou conceitual, ensinado na disciplina de física.

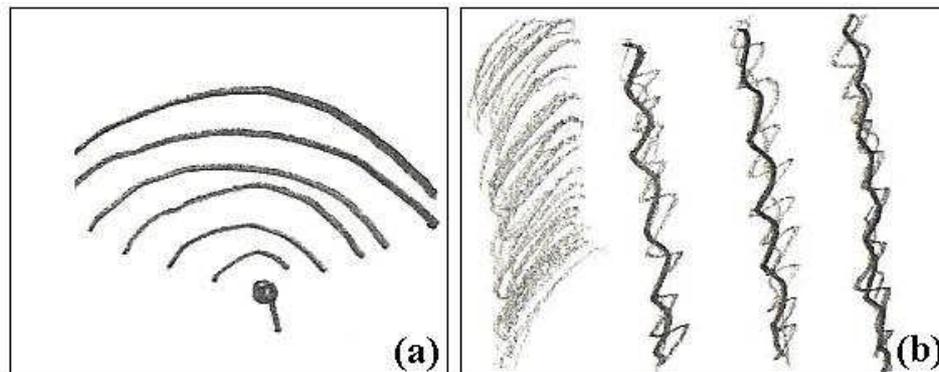


Figura 2 - Representação de frente de ondas: (a) produzidas por uma fonte; (b) forma senoidal.

Imagens como as apresentadas na figura 2 sugerem essa possível interação com os saberes apresentados no ensino formal e por esse motivo foram classificadas como modelo híbrido de frente de onda (Greca e Moreira, 2002).

Em alguns casos, como na imagem da figura 2(a), foi possível identificar a utilização de mais de um modelo mental, visto que o desenho sugere que o estudante tem consciência da necessidade de uma fonte para produzir a frente de onda que se propaga. Representações semelhantes a essas foram classificadas como modelo fonte (Utges, 1999).

Outras imagens sugerem influências de representações presentes em livros didáticos ou animações frequentemente veiculadas em revistas, TV e sites. Isso pode ser percebido no desenho do estudante A_{12} , figura 3.

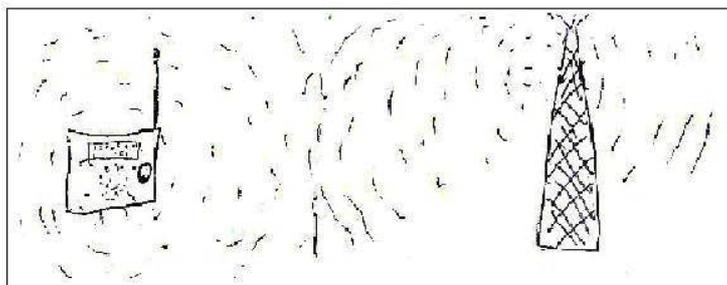


Figura 3 - Representação de ondas produzidas por antenas de transmissão e dispositivos sonoros (rádio).

Assim como na figura 2(a), consideramos que a imagem elaborada por A_{12} sugere a necessidade de uma fonte para a produção da frente de onda, que se propaga no meio a partir da antena e do rádio. Essa representação foi também classificada como modelo fonte (Utges, 1999).

Apenas o estudante E_{14} utilizou a representação de uma onda se propagando numa corda, como exemplo de onda percebida pelo sentido da visão. Imagens semelhantes a figura 4 foram identificadas e classificadas por Utges (1999) como modelo curvas que caminham.

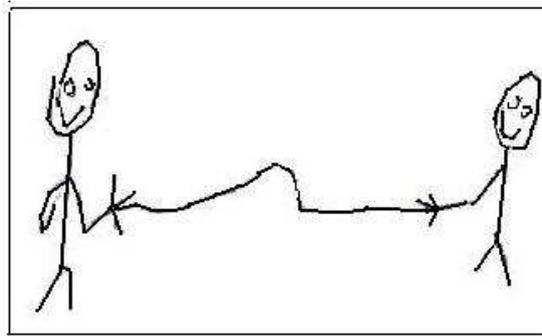


Figura 4 - Representação de ondas numa corda elaborada por E_{14} .

Em outros desenhos como os elaborados por A_{11} e C_{12} , figuras 5(a) e 5(b), foi possível evidenciar a influência de modelos utilizados em livros didáticos de física para representar a propagação de uma onda.

Esse tipo de representação, assim como o de uma onda sonora se propagando no ar, figura 6, foi classificada por Utges (1999) como modelo figuras conhecidas.

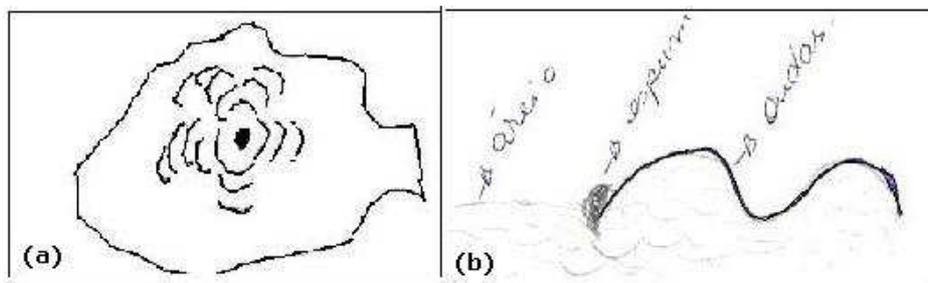


Figura 5 - (a) representação de ondas se propagando na superfície de um lago, (b) representação de ondas no mar com forma senoidal.

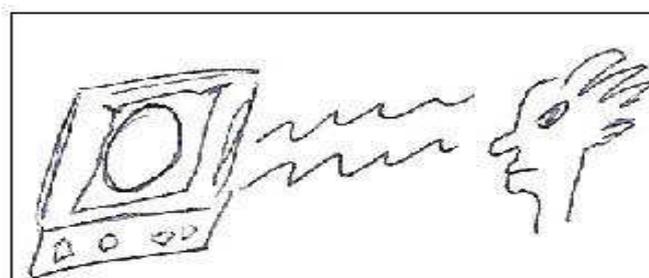


Figura 6 - Representação de ondas no ar.

Apenas 12 imagens foram classificadas na categoria outros por não apresentarem relação aparente com o conceito de ondas. São exemplos dessas representações os desenhos como os elaborados pelos estudantes A₅ e A₃, mostrados nas figuras 7(a) e 7(b) respectivamente.

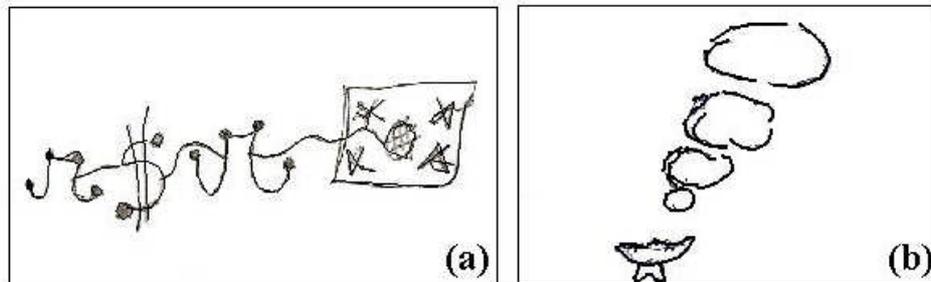


Figura 7 - Representação de uma onda sonora classificada na categoria outros.

Nosso objetivo com a quinta questão foi obter informações sobre os modelos utilizados ou construídos pelos estudantes, para explicar o processo de produção de uma onda. Isto é, verificar se eles tinham noção de que é necessário que alguma coisa vibre ou oscile para se produzir uma onda que se propaga em um meio.

Os resultados obtidos para a questão foram sintetizados na tabela 5.

Tipos de respostas	Tipologia da escola			
	A	C	E	Total
Sem resposta	2	4	3	9
Não sei	9	7	3	19
Noção de fonte	0	0	2	2
Meios físicos	0	0	6	6
Confusa	3	2	4	9

Tabela 5 - Mapeamento das respostas da quinta questão: Como se forma, ou se produz uma onda?

A exigência de um conhecimento além do senso comum, para auxiliar a construção de um modelo mental um pouco mais elaborado sobre a produção de uma onda, justifica o fato de 62,2% dos estudantes não respondeu ou simplesmente afirmou que não sabia como uma onda se formava ou era produzida.

Das respostas obtidas, nove foram classificadas como confusa, dada a dificuldade para identificar a utilização ou construção de um modelo explicativo que estivesse relacionado ao conhecimento de ondas, como podemos perceber nos exemplos abaixo:

A₆ - A onda se forma através do atrito. Uma área atrita outra área formando a onda;

C₄ - Através da força da natureza e as ondas sonoras através da tecnologia avançada.

Em alguns casos, percebemos que apesar da tentativa de elaborar uma representação sobre o processo de formação de uma onda, a ausência de conhecimentos prévios, sejam eles obtidos pela observação cotidiana ou

resquícios de um processo de escolarização, dificulta a formulação das respostas. A resposta de E_2 é um bom exemplo.

E_2 - As ondas do mar se formam através dos corais que existem no fundo do mar. As ondas sonoras se formam através do movimento das cordas vocais que se transformam em som e conseqüentemente em onda.

Esse estudante elabora um modelo mental para explicar uma onda do mar completamente diferente do que foi utilizado para a onda sonora. A explicação formulada para ondas sonoras pode ser considerada um pouco mais elaborada, pois associa o movimento das cordas vocais com a produção do som e pode ser classificado como modelo de onda (Greca e Moreira, 2002).

Na questão 4, as imagens apresentadas nas figuras 2(a) e 5(a) sugerem que os estudantes A_{11} e E_{14} tinham a noção de que uma onda é gerada por uma fonte que vibra, pois em seus desenhos há um ponto a partir do qual a onda representada inicia sua propagação. Essa noção nos levou a considerar que os estudantes fizeram uso de um modelo híbrido para responder ao questionamento. Esse mesmo modelo é novamente evidenciado nas respostas por eles formuladas para a quinta questão, mostradas abaixo, nas quais apontam a necessidade de uma fonte que perturba o meio para produzir ondas.

A_{11} - Com a agitação do mar as ondas se formam.

E_{14} - Por vários eventos, ventos, força, peso, um ponto que se espalha de forma circular.

A sexta questão (Depois de produzida a onda, o que acontece com a onda?) foi elaborada para verificar que modelos os estudantes usam para explicar a propagação das ondas. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 6.

Tipos de respostas	Tipologia da escola			
	A	C	E	Total
Sem resposta	3	2	1	6
Não sei	3	3	1	7
Sugere propagação	4	2	2	8
Sugere expansão	1	2	1	4
Sugere transmissão	2	0	2	4
Sugere dissipação	0	5	3	8
Outros	2	1	5	8

Tabela 6 - Mapeamento das respostas da sexta questão.

A análise dos dados indicou que 13 dos estudantes investigados não responderam ou não sabiam o que acontecia depois que uma onda era produzida.

Dos estudantes que elaboraram explicações para a propagação da onda, 17,7% apresentaram respostas com conceitos confusos, tais como:

A_8 - Ela se manifesta com algum tipo de atrito.

E_{14} - Segue ondulada até onde consegue e para por perder força ou barreira que impede de prosseguir.

C₆ - a onda fica restrita a uma área.

Os modelos elaborados por esses estudantes não apresentam relação com o fenômeno ondulatório e sugerem, segundo nosso entendimento, desconhecimento do assunto.

Modelos associados a conceitos físicos como propagação, dissipação e transmissão, aparecem em algumas respostas, mas sem muita clareza conceitual como podemos verificar nos exemplos abaixo:

A₄ - Ela vem fazendo dobras cada vez mais altas e violentas tornando perigosa, e acaba quando se bate nas margens do mar.

A₃ - no mar ela se desmancha e depois forma outra. A sonora transmite o som.

C₁ - Ela desaparece, e fica só a água, que vem com muito volume.

E₁₀ - Ela se expande ou propaga pelo espaço.

Respostas como essas indicam a utilização de modelos híbridos e modelo transporte de matéria (Hrepic, Zollman e Rebello, 2003; Greca e Moreira, 2002).

A sétima questão (O que é uma onda?) foi solicitada apenas para verificar a ocorrência ou não de representações analógicas nas respostas fornecidas pelos estudantes ao explicarem o conceito de onda. Com ela buscamos confirmar a dificuldade que os estudantes têm em conceituar onda, porque a sua compreensão foge da noção intuitiva relacionada ao conceito cotidiano de onda. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 7.

Tipos de respostas	Tipologia da escola			
	A	C	E	Total
Sem resposta	2	1	1	4
Não sei	4	2	3	9
Onda como energia	1	1	0	2
Onda como força	1	1	1	3
Onda como matéria	0	0	4	4
Outros	7	10	6	23

Tabela 7 - Mapeamento das respostas da sétima questão.

Os resultados obtidos confirmaram nossa hipótese sobre a dificuldade dos estudantes: 13 dos estudantes não responderam ou disseram que não sabiam conceituar o que é uma onda.

Dos estudantes que elaboraram uma resposta, dois estabeleceram uma relação entre onda e energia, mas sem clareza conceitual como exemplificado por A₅. Outros 23 apresentaram explicações confusas que dificultaram ou até mesmo impossibilitaram a identificação do modelo mental utilizado como exemplificado nas respostas de abaixo.

A₅ - É a energia que se espalha no espaço após um impacto.

C₅ - Onda é quando o mar impulsiona a água e ele tende a ir para frente.

E₁₄ - Algo que tende a se espalhar como um corpo que cai e se espalha.

Força aplicada num corpo mole que tende a se mover.

Verificamos também a utilização do modelo transporte de matéria nas respostas de E₁₃ e o de propagação na superfície da água em A₁₅, A₄ e E₁₃, ambos recorrentes.

A₁₅ - É um fenômeno causado pela agitação do mar.

A₄ - A onda é uma crista de água alta que vem com curvas largas toda retorcida.

E₁₃ - Onda é uma massa que se move e se leva.

Vale salientar que a utilização desses modelos é recorrente nas respostas desses estudantes.

Conclusões

Verificamos pela análise dos resultados acima apresentados, que a diferença de tipologia e localidade das escolas, na qual os sujeitos estudavam, não refletiu nas representações e modelos construídos pelos estudantes para responderem e interpretar as questões sobre onda.

Nas três primeiras questões a maioria dos estudantes que respondeu sobre o que sentiu, viu e ouviu sobre ondas elaborou suas representações e modelos mentais sobre o conceito físico de onda associados as suas experiências sensoriais e interações com um meio tal como ondas no mar ou na margem de um rio. Aspecto também evidenciado na maioria das imagens reproduzidas nos desenhos solicitados na quarta: percepções de uma onda se propagando na superfície da água (mar ou rio).

Nas três últimas evidenciamos que os estudantes apresentaram dificuldades na elaboração de um modelo mental explicativo, visto que apenas as experiências sensoriais não eram suficientes para a construção dos mesmos. Os estudantes que esboçaram construções mais elaboradas, indicando possíveis relações com o modelo científico, o fizeram de forma confusa.

A maior parte desses modelos apresenta uma distância bem significativa dos modelos conceituais elaborados por cientistas ou professores sobre o conhecimento de ondas. Tal resultado confirmou a hipótese de que os estudantes apresentariam dificuldades para responder a questionamentos que exigiam noções científicas sobre ondas, comumente apresentadas no ensino formal. Na questão 5, por exemplo, que exigia um conhecimento superior ao do senso comum para auxiliar a construção de um modelo mental sobre a produção de uma onda, 62,2% dos estudantes não conseguiu elaborar um modelo para explicar como uma onda se formava ou era produzida.

Em todas as questões evidenciamos influências do cotidiano e das práticas sociais de referência na elaboração dos modelos mentais: experiências ao banhar-se nas águas do mar ou do rio e expressões como ondas de calor ou frio, veiculadas na mídia.

Quanto a identificação e caracterização dos modelos mentais construídos pelos estudantes, para responder as sete questões, confirmamos a utilização dos modelos explicativos: transporte de matéria (Hrepic, Zollman

e Rebello, 2003); modelo híbrido, modelo onda e frente de onda (Greca e Moreira, 2002); modelo figuras conhecidas, modelo fonte, curvas que caminham e repetição (Utges, 1999). Além desses, identificamos e caracterizamos dois novos modelos: expressões do cotidiano e quebra-mar. O primeiro está relacionado com expressões comumente utilizadas em noticiários de previsão do tempo e sugerem relações com práticas sociais de referências e o segundo relacionado às experiência sensoriais com a água do mar ou ondas quebrando na praia.

Nos desenhos elaborados na quarta questão, evidenciamos a maior quantidade de modelos: modelo quebra mar, transporte de matéria, híbrido, fonte, curvas que caminham, figuras conhecidas e modelo onda.

O modelo híbrido e o modelo transporte de matéria são os mais recorrentes nas construções elaboradas pelos estudantes.

Os modelos mentais identificados nesta pesquisa são representações analógicas construídas ou utilizadas com base nas percepções do cotidiano, guardam significados influenciados pelo meio e pelas relações que os estudantes fazem através deste. Também evidenciamos essas relações nas imagens construídas para explicar as ondas que eles conheciam.

Vale salientar que a identificação das representações analógicas apresentadas pelos estudantes, ao elaborarem explicações relacionadas com o conceito de onda, é fundamental para entender as dificuldades manifestadas nas respostas dos estudantes e estão sendo utilizadas para modelar propostas de intervenções para o ensino e a aprendizagem desse conceito, principalmente nas situações de interações em salas de aula.

Referências bibliográficas

- Ausubel, D.P.; Novak, J.D. e H. Hanesian (1978). *Psicologia Educacional*. New York: Holt.
- Bachelard, G. (1978). O novo espírito científico. Em Os Pensadores. São Paulo: Abril Cultural.
- Bardin, L (2002). Análise de conteúdo. Tradução Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70.
- Borges, A.T. (1997). Um estudo de modelos mentais. *Investigação em Ensino de Ciências*, 2, 3, 207-226.
- Borges, A.T e J.P.V. Barbosa (2006). O entendimento dos estudantes sobre energia no início do ensino médio. *Caderno Brasileiro de Física*, 23, 2, 182-217.
- Greca, I.M. e M.A. Moreira (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. Florianópolis, 15, 2, 107-120.
- Greca, I.M. e M.A. Moreira (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7, 1, 31-53.
- Hrepic, Z.; Zollman, D. e S. Rebello (2003). Student's mental models of sound propagation: Implications for a theory of conceptual change. Em: <http://web.phys.ksu.edu/papers/2003/SoundMental.pdf>.

Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.

Martinand, J. L. (2003). La question de La reference em didactique du curriculum. *Investigações em Ensino de Ciências*. Belo Horizonte,8,2,125-130.

Moreira, M.A. (1996). Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, 1, 3, 193-232.

Moreira, M.A.; Greca, I.M. e M.L.R. Palmero (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. Porto Alegre, 2, 3, 36-56.

Pietrocola, M. (Org.) (2001). *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC/INEP.

Utges, G.R. (1999). *Modelos e Analogias na Compreensão do Conceito de Onda*. São Paulo. Universidade de São Paulo. Tese (Doutorado em Educação).