

MODELOS DE ONDA NO SENSO COMUM: AS ANALOGIAS COMO FERRAMENTA DE PENSAMENTO

Jesuína L.A.Pacca¹

Instituto de Física da USP, Brasil

Graciela Utges²

Fac.Ciencias Exactas, Ingenneria y Agrimensura – UNR, Argentina

Resumo

Partindo do pressuposto que existem diferentes concepções de ondas presentes no senso comum, são apresentados fenômenos em diversas situações físicas que foram analisados e explicados por uma população variada em formação e idade. As analogias sugeridas pelas respostas são descritas e organizadas em quadros de idéias e argumentos. Discute-se a questão da transposição didática e a possibilidade de trabalhar com analogias no ensino médio, no caso da física ondulatória.

Introdução

O modelo ondulatório ocupa atualmente um lugar central na estrutura conceitual da Física, constituindo uma das suas sínteses mais ricas e frutíferas. Como modelo, permite encontrar uma unidade explicativa por trás de fenômenos bastante diversos: pulsos em cordas, todas as variedades imagináveis de movimentos na superfície da água, o som, muitos fenômenos luminosos, as emissões de uma antena de rádio ou de televisão, as ondas de matéria. Como recurso explicativo, o modelo ondulatório tem ultrapassado as fronteiras da Física e é utilizado para caraterizar aspectos do comportamento de sistemas em outras áreas de conhecimento; em nosso dia a dia, inumeráveis aparatos e dispositivos tecnológicos baseiam seu funcionamento em propriedades relacionadas com as ondas.

O caráter ondulatório dos fenômenos e sistemas não é evidente por si mesmo. A história da ciência mostra as dificuldades no complexo processo de caraterização da luz como fenômeno ondulatório: as disputas entre os partidários da visão corpuscular newtoniana e os defensores da visão ondulatória baseada na postura de Huyghens; a paulatina aceitação do seu caráter ondulatório com Young; o reinado desta postura e sua consolidação, a partir da teoria eletromagnética e o posterior questionamento com o advento da teoria fotônica, para chegar à visão atual que reconhece a dualidade onda partícula.

O modelo ondulatório tem seus fundamentos na física do contínuo, onde as grandezas consideradas caracterizam campos escalares ou vetoriais, cujas variações no espaço e no tempo, vinculadas através das leis físicas do sistema (leis de Newton para as ondas mecânicas ou leis de Maxwell para as eletromagnéticas), conduzem às equações de onda que caracterizam a propagação. Trata-se, em geral, de equações diferenciais cujas soluções, adaptadas a condições específicas de contorno, descrevem a evolução espaço-temporal das grandezas consideradas.

¹ e-mail: jesuina@if.usp.br

² e-mail: graciela@fceia.unr.edu.ar

Esses modelos matemáticos, devido ao seu nível de dificuldade, não podem certamente ser abordados de modo completo no ensino médio. De fato, é um tema pouco abordado nesse nível de ensino e oferece dificuldades de aprendizagem até mesmo no nível universitário. Mesmo em casos aparentemente simples, como o do pulso que se propaga em uma corda, uma interpretação adequada da propagação, exige diferenciar e coordenar o deslocamento transversal dos pulsos com a transmissão da perturbação na direção da propagação. Já Piaget e Garcia (1971), assinalam que existem dificuldades na compreensão cinemática do movimento ondulatório. Porém, não apenas a interpretação cinemática e a representação espaço-temporal oferecem problemas, mas também seu tratamento dinâmico.

Considerando que o modelo ondulatório ocupa um lugar central na explicação científica de muitos fenômenos e sendo seu conhecimento necessário para interpretar os fundamentos de diversas aplicações tecnológicas que formam parte de nosso cotidiano, os currículos atuais na área de Ciências mostram uma tendência a ampliar o tratamento desse conteúdo e inclusive a incorporá-lo, de modo qualitativo desde as primeiras séries. Assim, é comum a referência à luz ou ao som como ondas, e à utilização de algumas analogias nesse contexto para tratar esse conteúdo.

No entanto, o tratamento didático desse tema não tem sido suficientemente discutido no que diz respeito à sua implementação nos diversos níveis educativos e a complexidade e abstração do modelo ondulatório constitui um obstáculo importante para sua transposição didática. No ensino tradicional, como podemos observar nos textos normalmente utilizados no ensino médio, diversas analogias e situações prototípicas são apresentadas, porém muito pouco exploradas; passa-se rapidamente para uma linguagem formalizada altamente especializada. Termos como *propagação*, *perturbação*, *comprimento de onda* e *freqüência* aparecem nos textos sem serem, em geral, suficientemente conceituados. Além disso, a linguagem matemática utilizada inclui normalmente funções de duas variáveis (espaço e tempo) e diversas fórmulas (como as que expressam a velocidade de propagação em relação às características do meio e a relação entre velocidade, comprimento de onda e freqüência), onde comparecem grandezas que estão longe do familiar.

Procurando subsídios para propiciar uma compreensão qualitativa do conceito científico de ondas, estudamos a potencialidade das analogias como ferramentas didáticas. Procuramos considerar questões do tipo: Em que medidas as analogias contribuem para o conhecimento esperado? Que analogias poderiam ser frutíferas nesse caminho? Como poderiam ser utilizadas em sala de aula de uma maneira efetiva?

Para isso construímos um instrumento e uma metodologia de análise para o estudo sistemático das representações implícitas sobre as ondas visando o posterior desenvolvimento de alternativas didáticas baseadas em analogias múltiplas, bem como a aprendizagem significativa do modelo ondulatório científico. Acreditamos que a caracterização sistemática dos modelos espontâneos dos estudantes em relação à noção de onda, com a determinação dos obstáculos e ressonâncias que esses modelos apresentam em relação ao modelo científico, permitirão a análise da potencialidade de distintas situações para promover, através do raciocínio analógico, a construção do modelo científico de onda.

Os trabalhos publicados na literatura especializada mostram que as estratégias que procuram construir o ponto de vista científico apoiando-se nas idéias dos estudantes são variadas. Propostas como a de Clement (Clement et al., 1989; Clement, 1993; Brown, 1992, 1994), baseada em analogias ponte, ou a de Stavy (1991), que propõe trabalhar uma situação

significativa para os alunos, a partir da relação e compreensão de uma outra situação mais complexa, ou o trabalho de Jung (1986), que propõe reinterpretar a noção espontânea de força em termos da quantidade de movimento científica, constituem exemplos interessantes; o uso de analogias e metáforas como ferramenta didática é explorado nesses casos. Muitos autores fazem referência à sua utilidade para facilitar a compreensão de conceitos científicos, na medida que um domínio menos familiar é tornado compreensível através do apelo à sua semelhança com um domínio mais familiar, estabelecendo uma ponte entre o menos conhecido e o mais conhecido.

O ensino de ciências espera que o aluno construa um conhecimento especializado, próximo da cultura científica, mas ao mesmo tempo, útil no desempenho pessoal. Esses objetivos não podem ser alcançados tentando derrubar as idéias dos estudantes (coisa que, por outro lado, não parece tarefa fácil), mas colaborando na construção de modelos conceituais suficientemente interrelacionados e diferenciados das representações espontâneas. O estabelecimento de pontes entre o conhecimento velho e o novo, entre a cultura comum e a científica aparece como uma necessidade cognitiva (nada se aprende se não é a partir do que já se conhece) e, por sua vez, pedagógica (um conhecimento isolado dos contextos cotidianos não se recupera facilmente para seu uso neles).

A potencialidade das analogias e metáforas como pontes cognitivas faz delas uma ferramenta didática muito interessante. O apelo a um domínio familiar para tornar compreensível um outro menos familiar é uma alternativa essencial na construção do conhecimento. Metáforas e analogias podem ser vistas como uma ferramenta de comunicação (facilitando o intercâmbio de informação, a negociação de significados) e também uma ferramenta de pensamento (permitindo a descoberta de relações entre dois domínios diferentes e o reconhecimento de semelhanças e diferenças). Entretanto, a seleção de analogias adequadas para ensinar não é tarefa simples; se a visão que os alunos possuem do análogo não se orientar na direção pretendida pelo professor, as comparações entre um domínio e outro não conduzirão à aprendizagem esperada.

A pesquisa: instrumento e análise dos dados

Um questionário aberto, que vem a seguir, foi elaborado procurando considerar uma grande variedade de situações (incluindo algumas que costumam ser utilizadas no ensino como analogias para introduzir o conteúdo das ondas, junto com outras que respondem ao modelo ondulatório não científico). As situações são mencionadas de maneira muito geral, sem muita precisão ou detalhe, a fim de permitir a livre representação das mesmas por parte das pessoas. Nossa intenção foi afastarmo-nos de situações e perguntas muito escolarizadas, que poderiam dar lugar a respostas esquematizadas.

22 pessoas de diferentes níveis de escolaridade e de conhecimento em Física (professores de física de nível secundário e universitário, estudantes de pós-graduação em ensino de física, biólogos, estudantes secundários e universitários de outras áreas, adultos com escolaridade secundária, adultos com escolaridade primária) foram submetidos ao questionário escrito, no qual deviam caracterizar diferentes situações, indicando se elas constituíam ondas ou não, e porquê. Todas as pessoas participaram de um encontro após completar o questionário por escrito, respondendo perguntas pontuais que colaboraram na compreensão das respostas e na validação de hipóteses. Posteriormente, realizamos com oito delas uma entrevista individual extensa (por volta de uma hora), na qual se procurava

aprofundar as idéias subjacentes que motivaram as respostas ao questionário, assim como a maneira pela qual cada situação era visualizada.

As respostas escritas dos questionários foram transcritas num formato comum, a fim de facilitar sua leitura e cada resposta foi logo sintetizada em uma frase ou palavra-chave que caracteriza os critérios adotados, em cada caso, para a categorização. Em seguida, procedeu-se à análise, considerando as respostas de cada pessoa diante das diferentes situações para tentar caracterizar sua representação de onda. A atenção se concentrou nos critérios expressos para caracterizar cada situação como sendo ou não sendo uma onda, procurando, a partir disso, obter indícios para determinar modelos de onda. Procurou-se também compreender como as pessoas interpretavam cada situação (quais aspectos eram considerados relevantes, quais das situações eram vistas como semelhantes) e determinar se algumas das situações apresentadas eram consideradas como protótipos de ondas (quando se apelava a elas como fonte de explicação para outras situações).

QUESTIONÁRIO

Estes fenômenos constituem ondas? Responda SIM ou NÃO e explique porque, com os detalhes que forem necessários para justificar sua resposta.

1. Uma fileira de dominós caindo em sucessão.
2. Uma bandeira tremulando presa ao mastro.
3. A configuração na superfície da areia no deserto.
4. O som de um tambor com batidas regulares.
5. O som contínuo de um violino ou de uma flauta.
6. A configuração das patinhas de uma centopéia em movimento.
7. O movimento de uma minhoca.
8. O movimento de uma serpente que se arrasta no chão.
9. A configuração observada sobre um lençol que cobre um camundongo em movimento retilíneo.
10. A configuração sobre um tapete rolante que passa por uma “corcova” no piso.
11. Idem, no caso de muitas “corcovas” sucessivas no piso.
12. A figura de franjas de interferência da luz numa tela.
13. A configuração da areia que cai de um pêndulo em movimento, sobre uma esteira que se move.
14. A configuração de uma luzinha presa à roda de uma bicicleta em movimento retilíneo, numa noite escura.
15. A extremidade livre de uma lâmina flexível, fixa pela outra extremidade.
16. A “ola” em um estádio de futebol.
17. Um conjunto de semáforos sincronizados.
18. A configuração na superfície da água de um lago.

A fim de facilitar a análise, imaginou-se uma forma de representação esquemática dos aspectos considerados significativos nas respostas de cada pessoa, que permitiu visualizar de modo global quais eram os critérios adotados para a representação, assim como quais situações eram consideradas semelhantes. O esquema apresentado a seguir mostra as situações que foram consideradas como ondas e as que não o foram, vinculando cada uma

com os critérios (justificativas) utilizados; são também indicadas as situações espontaneamente comparadas entre si.

O esquema de cada pessoa foi utilizado como base para inferir hipóteses sobre as características de seu modelo de onda implícito. A ênfase foi colocada na interpretação das expressões dos sujeitos: entender como algumas palavras são utilizadas, considerando o sentido que é atribuído a elas em cada contexto; diferenciar diversos modos de compreender o caráter ondulatório de algumas situações apresentadas no questionário; analisar o universo de respostas numa amostra ampla, etc..

Cada uma das questões foi analisada obtendo-se os diversos argumentos que lhe atribuíam ou não o caráter de onda. Os quadros a seguir sintetizam os resultados.

Argumentos e explicações para cada fenômeno

1. UMA FILEIRA DE DOMINÓS CAINDO SUCESSIVAMENTE	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
não há restauração	o movimento de uma peça se propaga para a outra
são peças soltas, não há continuidade da matéria	as peças produzem som ao se chocarem
não se vê a forma de onda, não tem o desenho ondulatório	há continuidade de movimento
o movimento não é periódico	é a transferência de algo de uma peça para a outra
ondas são fenômenos que não se vêem	há um fenômeno propagando-se sem haver propagação da matéria
	caem todas com a mesma inclinação
	quando uma peça toca a outra, esta cai e assim se forma a onda
2. UMA BANDEIRA HASTEADA NUM MASTRO	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
é o vento que a faz mover	há continuidade da matéria
a bandeira é curta	há transporte de algo
o vento não é constante	há curvas que caminham pelo tecido
	o movimento se parece com o de uma onda
	parece as ondas do mar
	ocorre interferência
	observa-se repetição do fenômeno ao longo do tempo
	perturba o ar que a rodeia, o qual se propaga
	a ação do vento se propaga na bandeira através dos vínculos entre as partes; há propagação do pulso pelo pano
3. A CONFIGURAÇÃO DA AREIA NUM DESERTO	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
parece algo estático	a areia do deserto move-se, embora não tão rapidamente; se estivermos vendo fotos tiradas quando a areia está em movimento, veremos ondas
a ação do vento pode não ser constante	são ondas fortes de calor que modelam a areia
não há ordem de propagação nem direção bem definida	têm forma de onda; os montículos de areia se distribuem como onda
é somente ação do vento; a areia não se move, a não ser que haja vento	considero ondas como sinônimo de curvas
não há propagação	

4. O SOM DE UM TAMBOR COM BATIDAS REGULARES	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
não há continuidade	o som se move através das partículas que compõem o ar
não me parece	o som é onda
são golpes secos, não há vibração	o som se propaga como onda
	há transporte de algo
	a deformação do tambor provoca zonas de maior pressão do ar, que se propaga
	distinguem-se máximos e mínimos
	as frequências emitidas se propagam pelo ar
5. O SOM CONTÍNUO DE UM VIOLINO OU DE UMA FLAUTA	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
é música linear, sem mudança de notas	ao contrário do tambor, estaria satisfeita a idéia de continuidade
por ser contínuo, o caráter de onda é menos evidente	o som move-se através das partículas que compõem o ar
	são ondas sonoras
	“aprendemos” que o som é uma onda
	porque utiliza o ar (matéria)
	o som se propaga no ar, devido às frequências emitidas pelo instrumento
6. A CONFIGURAÇÃO DAS PATAS DE UMA CENTOPÉIA EM MOVIMENTO	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
não há continuidade de matéria	a primeira pata sobe e, em seqüência, a seguinte; quando levanta uma pata em sincronia, a outra abaixa; é oscilante
não há vínculo entre uma pata e outra	é algo que se repete sempre da mesma forma
não há propagação	há um fenômeno que se propaga ao longo das patas
a trajetória da pata não forma a figura conhecida de onda	é um movimento em forma de curvas côncavas e convexas que formam onda
todas as patas se movem ao mesmo tempo	
não sei como se move a centopéia, mas não me parece	
não são vibrações	
é uma característica própria do animal, a maneira do animal movimentar-se	
7. O MOVIMENTO DE UMA MINHOCO	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
não seria um movimento ondulatório puro	o movimento da lombriga se dá através de contrações e relaxamentos que percorrem seu corpo
é somente forma de onda	se move em forma de onda
não tem a forma conhecida de onda	o movimento do corpo da lombriga se propaga de um ponto a outro
a trajetória é retilínea	é um movimento ritmado
não há propagação	tem características de propagação em um meio com uma certa velocidade
é apenas matéria em movimento	podem-se ver pontos de máximo e de mínimo
	há propagação da perturbação
8. O MOVIMENTO DE UMA SERPENTE QUE SE ARRASTA NO CHÃO	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
não é movimento ondulatório puro	o movimento se propaga continuamente de um ponto a outro
não sei como explicar, porém não me parece	tem forma de onda; imagino uma onda como uma pequena víbora em forma de S
os movimentos da serpente não têm como se repetir na areia	é como a bandeira
é somente forma de onda	há simultaneidade de movimentos (altos e baixos)
a trajetória é retilínea	há um movimento repetido e propagação no meio
não há propagação	há perturbação e propagação
trata-se de matéria que se move	a forma de se transladar pelo solo em forma de “ss” pode ser comparada com uma onda de curvas

9. A CONFIGURAÇÃO OBSERVADA EM UM LENÇOL QUE COBRE UM RATINHO EM MOVIMENTO RETILÍNEO	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
uma onda característica necessita de uma parte de crescimento e logo depois de decrescimento; aqui há amplitude constante	o tapete sobe e desce em pontos diferentes, as partes do tapete sobem e abaixam
algo precisa repetir-se no movimento	tem forma de onda; a configuração sugere uma onda
não há movimento oscilatório, no qual exista um período de repetição do movimento	é parecido com a bandeira
é uma linha contínua	é como algo que está se propagando
a ondulação é pouco visível	quando o camundongo se move, pode-se ver uma curva que se translada de um lado para o outro
não há propagação	
não há vibração	
10. A CONFIGURAÇÃO SOBRE UM TAPETE ROLANTE QUE PASSA POR UMA “CORCOVA” NO PISO	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
não é movimento ondulatório puro	o montículo provoca no tapete movimentos em pontos sucessivos
não é algo que vem e passa	o tapete sobe e desce em pontos diferentes
não há seqüência, repetição	tem forma de onda como a bandeira
não há repetição	varia em amplitude
é somente uma configuração	o tapete desliza e apresenta uma curvatura que vai transladando-se e pode ser comparada com uma onda
um único montículo não é suficiente	
seria desenho ondulatório, não uma onda	
toma forma de onda, mas não é, apenas o tapete se levanta	
não há propagação	
é algo mecânico	
13. A AREIA QUE CAI DE UM PÊNDULO SOBRE UMA ESTEIRA EM MOVIMENTO	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
o movimento da lâmina é independente do da areia, trata-se da composição de dois movimentos	a configuração é de ondas; há distribuição da areia como uma onda
parece-me que não é	há movimento oscilatório
não tem a figura conhecida de onda	a areia que cai do pêndulo fica distribuída na superfície formando ondas e curvas
há um movimento harmônico, porém não caracterizado como onda	onda é como uma vibração e uma vibração é produzida no pêndulo
não há a propagação de um fenômeno	o pêndulo produz ondas em movimento
a areia que cai não produz ondas, cai dessa maneira devido ao movimento do pêndulo	
14. UMA LUZINHA PRESA A UMA RODA DE BICICLETA EM MOVIMENTO	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
não é onda no sentido de algo que vem e vai	a luz é onda
faltaria a idéia de aumento e diminuição do movimento	parece-me
é composição de movimentos	é oscilatório, contínuo e repetitivo, determina um movimento harmônico
não se transmite algo de um para outro	a luz, na roda da bicicleta andando, produz ondas porque desprende algo que não sei nomear
não é propagação de algo, embora seja algo que se repete no tempo	
não tem o desenho de ondas	
não dá a idéia de onda	

15. O MOVIMENTO DE UMA LÂMINA FLEXÍVEL FIXA EM UMA EXTREMIDADE	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
a lâmina permanece no mesmo lugar, apenas sobe e desce, não avança	há um material através do qual o movimento se propaga
a lâmina não está sujeita a nenhum pulso; somente se houver um pulso inicial haverá onda	há um período de oscilação, vibra com frequência determinada
não me sugere uma onda	a perturbação se propaga, mesmo tratando-se de um espaço limitado
	há repetição de um fenômeno
	o movimento produz vibrações que não se vêem
	emite som
16. A “OLA” NUM ESTÁDIO DE FUTEBOL	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
não há continuidade de matéria	sugere uma configuração de ondas, parece uma onda, tem forma de onda
não há uma propagação de perturbação	as partes do meio sobem e descem
seria uma onda “programada”	produz som que se propaga
é uma manifestação do corpo das pessoas	é como o dominó
ondas são coisas que não se vêem	há continuidade do movimento, uma pessoa se move quando a anterior já se moveu
	somente enquanto o movimento seja contínuo, repetitivo com período definido
	um transmite para o outro
	possui movimento e se move onduladamente
	é sucessão de estágios diferentes
	é parecido com o caso da serpente
17. UM CONJUNTO DE SEMÁFOROS SINCRONIZADOS	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
não sugere uma configuração de ondas	os semáforos estão sincronizados, talvez por ondas eletromagnéticas
não há continuidade de matéria	pela sincronização de cada um deles
não se poderia caracterizar um período	é como a “ola” do futebol
avança, porém não é transmitido de um para o outro	é como a centopéia
quando um fecha, o outro abre; apresenta estágios sucessivos, porém não são contínuos	há pontos de máximo e de mínimo
não há vibração	porque um se acende quando o outro, imediatamente anterior, já abriu
	há propagação de um evento de maneira ordenada no tempo
	ao produzirem luz, produzem ondas
	pode ser como o dominó
18. A CONFIGURAÇÃO NA SUPERFÍCIE DA ÁGUA EM UM LAGO	
NÃO É ONDA PORQUE...	É ONDA PORQUE...
a ondulação é muito pouco visível	mesmo quando o lago está calmo, poderíamos dizer que se trata de ondas de baixa frequência
os altos e baixos não aparecem muito caracterizados	quando uma pedra é jogada no lago, ela provoca ondas
pode estar quieto	há propagação de movimento através da superfície
não me parece	as deformações se propagam
existe muito movimento, porém em forma irregular	há um transporte de algo
	possui a forma conhecida de onda
	é como a bandeira
	o lago reconstitui-se quando passa a deformação
	são ondas devido ao vento
	é uma onda mecânica
	as ondas se propagam na água

Transposição didática

A compreensão dos fenômenos muito diversos à vista do senso comum e a explicação do especialista que os integra numa teoria única, expressa por equações matemáticas muitas vezes complexas estão bastante distantes; os isomorfismos de natureza matemática que o físico realiza ao trabalhar no campo da física ondulatória, através de equações diferenciais, não pode certamente ser objeto de estudo no ensino médio. Por isso, a transposição didática – termo cunhado por Chevallard (1991) – constitui um grande problema a ser enfrentado no ensino dos conteúdos científicos, particularmente a “física das ondas”.

Ao pretender utilizar analogias para propiciar a aprendizagem de algum conceito científico, é fundamental conhecer as representações espontâneas dos estudantes a respeito dele, mas também o modo como eles representam o elemento análogo que pode estar envolvido; esses dois aspectos definirão de que maneira a analogia realmente poderá ser interpretada.

Considerando os distintos argumentos expressados pelos estudantes ao se referirem a cada um dos fenômenos que compuseram o questionário e as correspondências estabelecidas entre esses argumentos e os modelos de onda caracterizados, algumas coisas parecem interessantes. A cada fenômeno, pode ou não ser atribuída a condição de onda segundo o modelo sustentado na concepção do sujeito; mas além disso, as justificativas apresentadas podem ser específicas do fenômeno. Numa pesquisa realizada (Utges, 1999) construímos alguns modelos de ondas tais como aparecem nas concepções do senso comum: **curvas que caminham** – Ondas são formas curvas que se movem e avançam. Curvas que se vêm e que caminham. As curvas podem responder a diversas formas (zigzague, irregulares, lombada). O importante é que a curva precisa avançar; **forma em movimento** – Centrada na percepção do movimento como um todo contínuo e ondulado, com partes que sobem e descem, ou se aproximam e se afastam; **sucessão** – Consideração de pontos diferentes, com movimentos sucessivos, ordenados no tempo. É suficiente que ocorra um evento, um fenômeno ou uma perturbação que se repita em pontos diferentes; o acontecer de um evento num ponto, depois no seguinte e continuando de modo sucessivo; **figura conhecida de onda** – Se relaciona ondas com uma figura específica, de tipo senoidal. A forma é essencial. Precisa ser regular, extensa, contínua, com máximos e mínimos que se repetem no espaço. Há referências ao movimento, mas sem precisão; **repetição** – Movimento com repetição no tempo, que pode ser produzido por um agente externo. Tem que haver um período, uma frequência, um ir e voltar com regularidade, sincronismo, seqüência, oscilação, ritmo, algum ciclo. A onda está na repetição, não na consideração de nenhum material ou de nenhuma forma em especial; **transmissão-transferência** – Focaliza a transmissão ou transferência de algo, de um para o outro. Aquilo que se transmite/transfere/propaga poderiam ser vibrações, força, energia, movimento, embora muitas vezes não fique claro do que se trata. As ondas são mais que forma. Tem que haver algo que é transmitido através de um meio. Os estudantes podem, por exemplo, admitir que os dominós caindo em seqüência são uma onda, ou negar isso, mas em ambos os casos as razões apresentadas podem ser muito diferentes. Suponhamos que seja apresentado esse fenômeno como exemplo de onda. Para alguns, o dominó é um excelente exemplo de onda, já que algo acontece numa peça e depois na outra, em sucessão ou porque “algo” se transmite/transfere de uma peça para a outra, seja movimento, ação ou energia. Alguns outros acharão muito estranho que se fale do dominó como onda: *onde fica a “forma” de onda necessária?* - perguntarão os que sustentam um modelo em que predomina a forma. *Mas são peças soltas* - pensarão os que consideram a necessidade de um meio contínuo. *Não há repetição no tempo* - afirmarão os que se colocam dentro do modelo repetição.

Será que os estudantes conseguem compreender o significado de "propagação de uma perturbação sem deslocamento de matéria" quando enfrentam essas analogias? Os próprios textos didáticos não fazem nenhum esforço para dar sentido aos termos perturbação ou propagação; os estudantes em geral outorgam sentidos próprios a essas palavras segundo os modelos que eles denominam; na análise de entrevistas e questionários Utges (1999) identificou diversos significados associados à palavra propagação: caminhar, andar, transmitir, viajar, agitar; "perturbação" era às vezes pensada como algo invisível que atravessa o meio.

Nos exemplos típicos de ondas para a Física, como é o caso das ondas superficiais em água, o som ou a luz, os estudantes parecem saber que se trata de ondas, mas muito frequentemente desconhecem as razões que justificam a sua inclusão nessa categoria, do ponto de vista científico. Procuram então as razões em seus modelos, obtendo algumas vezes resultados satisfatórios e outras não. O modelo que sustentam atua como uma espécie de caixa de ressonância, que amplifica alguns aspectos dos exemplos apresentados nos textos e reduz outros. Do conjunto de situações que o professor apresenta, o estudante provavelmente negará ou não considerará aquelas que são muito contraditórias com seu modelo e reforçará as que coincidem com ele.

Se, por um lado, a existência de diferentes modos de ver cada situação nos alerta sobre as dificuldades de utilizar uma determinada analogia ou, inclusive, algum exemplo isolado, com o propósito de ressaltar certa característica das ondas, por outro, esse aspecto da diversidade de visões perante cada situação pode constituir um potencial interessante para o trabalho em sala de aula. O fato das ressonâncias do pensamento dos estudantes com certas situações e o desconforto com outras não serem uniformes, dá oportunidade para estabelecer entre eles debates, os quais contribuiriam para a diferenciação e o enriquecimento conceitual. Os resultados deste trabalho podem proporcionar aos professores informações úteis para pensar como orientar esses debates e quais características das ondas poderiam ser analisadas e discutidas a partir de cada situação.

O conhecimento dos diferentes modos pelos quais uma mesma situação é interpretada e a relação que isso guarda com os modelos dos estudantes é um elemento central para a interação didática na sala de aula. A apresentação de diversas situações poderá estabelecer um verdadeiro processo de negociação de significados, brindando com a oportunidade de tornar explícitas as idéias dos estudantes e estabelecer relações adequadas entre elas e as idéias científicas, que se pretende que eles construam. Fundamentalmente, é necessário abandonar a tendência a acreditar que os alunos "vêm" nas diversas situações aquilo que nós pretendemos mostrar.

Para refletir sobre essa questão, tomaremos como referência um modelo de competências do professor já desenvolvido por Villani e Pacca (1996, 1997). As competências que o professor deve desenvolver podem ser consideradas em três tipos diferentes, mas complementares: competência disciplinar, competência didática e competência dialógica.

A competência didática pode ser pensada como aquela mais diretamente relacionada com o desempenho profissional dos professores, na medida em que sua atividade central consiste em organizar e conduzir os processos de ensino e aprendizagem, definindo as metas específicas a serem atingidas, planejando o desenvolvimento das aulas a partir de atividades específicas, conduzindo e monitorando o processo, avaliando os resultados. A condução desse processo exige do professor capacidade para poder interpretar as expressões dos estudantes,

identificando nelas aqueles aspectos que se constituem em obstáculos sérios na compreensão conceitual procurada e aqueles que poderiam constituir uma ancora na construção de conhecimento. A competência dialógica está relacionada à consideração do processo de ensino–aprendizagem como um ato de comunicação, de negociação de significados, onde o conhecimento é construído na sala de aula a partir das interações dialógicas entre o professor e os alunos e dos alunos entre si; a interação dialógica e o modo como ela é estabelecida em sala de aula, é fundamental no ensino e na aprendizagem.

No que se refere ao tema em questão, consideramos que o trabalho proporciona aos professores oportunidade para aprofundar aspectos relacionados com o uso de exemplos e analogias no ensino, oferecendo oportunidades para refletir sobre as vantagens e desvantagens no uso de analogias, e sobre aquilo que deve ser contemplado tanto na seleção como na utilização de analogias na sala de aula. O trabalho proporciona uma análise de diversas situações concretas, que se podem utilizar como exemplos ou analogias no ensino de ondas e sugere os elementos para considerar quais aspectos do conteúdo físico poderiam ser trabalhados a partir delas. Ao mesmo tempo, a análise empreendida proporciona aos professores subsídios para interpretar as expressões dos alunos e compreender o conteúdo implícito nelas, em relação a seus modelos alternativos, trazendo desse modo subsídios para conduzir a interlocução com os alunos em sala de aula, de modo a confrontar esses modelos com o modelo científico e estabelecer pontes efetivas entre eles.

Referências

- BROWN, D.E. *Using examples and analogies to remediate misconceptions in Physics: Factors influencing conceptual change*. Journal of Research in Science Teaching, 29(1), 17-34, 1992.
- BROWN, D.E. *Facilitating conceptual change using analogies and explanatory models*. International Journal Science Education, 16(2), 201-214, 1994.
- CHEVALLARD, Y. *La Transposition Didactique*. La Pensée Sauvage, Paris, 1991.
- CLEMENT, J. *Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in Physics*. Journal of Research in Science Teaching, 30(10), 1241-1257, 1993.
- CLEMENT, J.; BROWN, D.; ZIETSMAN, A. *Not all preconceptions are misconceptions: finding "anchoring conceptions" for grounding instruction on students' intuitions*. International Journal Science Education, 11(special issue), 554-565, 1989.
- PIAGET, J.; GARCÍA, R. *Las Explicaciones Causales*. Barral Editores S.A., Barcelona, 1973 (Edição original: "Les explications causales", Presses Universitaires de France, Paris, 1971).
- STAVY, R. *Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter*. Journal of Research in Science Teaching, 28, 305-313, 1991.
- UTGES, G. *Modelos e Analogias na Compreensão do Conceito de Onda*. Tese de Doutorado. USP, 1999.
- VILLANI, A.; PACCA, J.L.A. *Construtivismo, conhecimento científico e habilidade didática no ensino de ciências*. Rev.Faculdade de Educação, V.23, n°.1/2, pp.196-214, São Paulo, dez.1997.

VILLANI, A.; PACCA, J.L.A. *O aperfeiçoamento da competência profissional do professor de ciências*. Atas do V Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, Águas de Lindóia, SP, pp.59-71, 1996.