

MODELOS DE ONDA NO SENSO COMUM: A CONTRIBUIÇÃO DE UMA ANÁLISE ESTATÍSTICA

Graciela Utges

Fac. de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura. UNR. Argentina;

Jesuína Pacca

Instituto de Física. USP. Brasil

Resumo

Apresentamos neste trabalho uma discussão do processo desenvolvido numa pesquisa realizada, na procura de modelos do senso comum relacionados ao conceito de onda. Focalizamos, em particular, a metodologia empregada, considerando os instrumentos elaborados e as técnicas estatísticas utilizadas, analisando sua pertinência na determinação dos modelos.

1. Introdução

A caracterização dos modelos dos estudantes, em determinado campo do conhecimento, é, a nosso ver, especialmente relevante no ensino de ciências. Os esforços de muitos pesquisadores procuram dirigir-se nesse sentido (Borges e Gilbert, 1998; Greca e Moreira, 1997; Krapas e Alves, 1998) e nosso interesse está em contribuir com esse processo, abordando uma temática que ainda não tem sido suficientemente explorada e buscando uma metodologia que resulte adequada para tanto. Nosso trabalho centrou-se no ensino de ondas, apontando para a análise didática desse conteúdo. Com esse propósito, além de nos concentrarmos especificamente no *conceito de onda*, nos interessamos também por *modelos* e *analogias*. Procuramos a sistematização das representações implícitas, próprias do pensamento espontâneo (tomando como base o construto de modelo), através do desenvolvimento de uma metodologia específica para sua caracterização, que incorpora analogias como instrumento de diagnóstico.

Assumimos que as pessoas têm representações da noção de onda e foram essas representações que procuramos caracterizar. Utilizamos a denominação *de modelo espontâneo* para nos referirmos a elas. Uma hipótese orientadora foi considerar que podem existir diferentes modelos espontâneos para distintas pessoas, ou mesmo para uma única pessoa (que os ativaria conforme o contexto da tarefa), porém eles convergiriam para alguns poucos modelos, que nos propusemos a caracterizar. Também procuramos encontrar indícios sobre a natureza dos modelos selecionados.

Não são os resultados, o que pretendemos focalizar neste trabalho, mas o processo de análise. A intenção, nos próximos itens, é mostrar como a análise foi evoluindo; para proporcionar uma visão geral que possibilite a compreensão das interpretações que nos levaram à caracterização sistemática dos modelos e discutir a metodologia utilizada, para analisar sua potencialidade de aplicação noutras áreas de interesse.

2. Uma breve descrição do processo: as etapas no trabalho de campo

Em uma primeira etapa, de caráter exploratório, elaboramos um questionário que foi aplicado a número reduzido de pessoas de características diversas e realizamos entrevistas baseadas nas respostas ao questionário. Trabalhamos com 22 pessoas argentinas e brasileiras de diferentes níveis de escolaridade e de conhecimento em Física. Procuramos determinar as representações, considerando a maneira pela qual as pessoas classificam, ou não, como ondas, diferentes situações que lhe são apresentadas e as razões que dão para tanto. No questionário aberto utilizado as perguntas englobam uma grande variedade de situações (incluindo algumas que costumam ser utilizadas no ensino, como analogias para introduzir a aprendizagem das ondas e outras que correspondem ao modelo ondulatório científico).

Nossa intenção foi de nos afastar de situações e perguntas muito escolarizadas, que poderiam dar lugar a respostas esquematizadas. As situações, que foram mencionadas no questionário de maneira muito geral, sem muita precisão, a fim de permitir a livre representação das mesmas por parte das pessoas, incluíam uma fileira de dominós caindo em sucessão; uma bandeira tremulando; a superfície da areia no deserto; o som de um tambor com batidas regulares; o som de um violino ou de uma flauta; a configuração das patinhas de uma centopéia em movimento; o movimento de uma minhoca; o movimento de uma serpente; a configuração observada sobre um lençol que cobre um camundongo em movimento retilíneo; a configuração sobre um tapete rolante que passa por uma “corcova” no piso; muitas corcovas sucessivas...; a configuração da areia que cai de um pêndulo em movimento sobre uma esteira que se move; a configuração de uma luzinha presa à roda de uma bicicleta em movimento retilíneo; uma lâmina flexível fixa numa extremidade; a “ola” em um estádio de futebol; semáforos sincronizados; a configuração na superfície da água em um lago.

A análise preliminar dos resultados permitiu ajustar o instrumento utilizado e sistematizar uma metodologia de análise orientada para a caracterização dos modelos espontâneos, além de proporcionar indícios sobre quais situações são consideradas análogas segundo esses modelos. O estudo sistemático de casos constituiu a base para a identificação de alguns modelos e seus traços principais. A estrutura final almejada constitui um esquema que identifica tipos de respostas com modelos e os especifica através de um conjunto de enunciados correspondentes.

Em uma segunda etapa, aprofundamos o estudo, na tentativa de determinar em que medida os modelos inferidos na etapa exploratória poderiam ser encontrados em sujeitos de uma amostra mais ampla e homogênea. Neste caso, nos focalizamos em sujeitos de nível secundário, de uma faixa etária correspondente a alunos que irão participar de cursos de Física, nos quais se desenvolvem assuntos relacionados com ondas. Trabalhamos com 60 estudantes pertencentes a dois cursos de segundo grau de uma escola na Argentina. Procuramos analisar, com mais detalhes, os tipos de respostas comuns de estudantes de nível secundário, para estabelecer se os modelos caracterizados poderiam ser considerados verdadeiramente representativos ou não, para finalmente concluir quais modelos predominam nessa classe de estudantes.

A segunda etapa proporcionou três resultados fundamentais: a conformação definitiva de uma tipologia de modelos espontâneos sobre ondas, a determinação dos diferentes modos segundo os quais estudantes e professores visualizam como ondas cada uma das situações utilizadas e a delimitação de uma metodologia visando a análise sistemática de dados qualitativos e quantitativos, através de processos computacionais, aplicável a um grande

número de indivíduos. Foram utilizadas técnicas de análise de textos, com determinação de categorias e subcategorias, e técnicas estatísticas de base multifatorial (clusters e análise de componentes principais). Além disso, procuramos estabelecer, em cada uma das situações consideradas, como elas eram consideradas em cada modelo, comparando e confrontando nesse aspecto a visão espontânea e a visão científica, a fim de determinar os obstáculos ou as ressonâncias que poderíamos encontrar ao se tentar utilizá-las no ensino como analogias ou como exemplos.

3. Os modelos obtidos empiricamente: a análise de respostas e a procura de padrões

Na etapa exploratória, 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), para 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 uma onda ou não, 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).

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 similares (**FIGURA 1**). O esquema desenvolvido mostra as situações que foram consideradas como ondas e as que não o foram, vinculando cada uma com os critérios utilizados e indicando aquelas espontaneamente comparadas entre si para dar as respostas. Utilizamos os esquemas como base para inferir hipóteses sobre os modelos espontâneos. Se o panorama inicial aparecia muito heterogêneo, mostrando aqueles aspectos idiossincráticos do pensamento em torno do conceito que analisamos, uma análise mais detalhada dos casos considerados, permitiu reconhecer regularidades interessantes.

Encontramos em alguns sujeitos uma ênfase em aspectos descritivos, relacionados com características geométricas e espaciais. Neles, a “forma” é um elemento importante e não aparecem alusões a mecanismos causais. Noutros sujeitos predominavam **aspectos temporais**, vinculados a **ritmos, seqüências, oscilações**, com tendência a associar ondas com coisas que não se vêem, “**emanadas**” de uma fonte e atribuir um papel especial ao ar. A **fonte** é algo que se move ritmicamente, com **seqüência, repetição**. Outras pessoas nos aproximaram de um panorama diferente: um modelo baseado na consideração de **partes do meio**, com a **transferência** de “algo”, **de uma parte à seguinte**, que incorpora aspectos causais (**causalidade interna**) e procura mecanismos subjacentes. Nesse modelo

reconhecem-se partes, considera-se a necessidade de existir uma sucessão de eventos, refere-se à **transmissão ou transferência**, sem precisar muito bem o que e como se transmite ou se transfere e mostrando alguns conflitos referentes à **conciliação entre forma e transferência**.

Outros modelos, mais **próximos do científico**, incorporam **critérios dinâmicos e causais**, mas assimilam ainda especialmente ao caso de **onda harmônica, sem considerar o princípio de superposição**, com dificuldades para reconhecer pulsos, ondas estacionárias ou movimentos ondulatórios irregulares. Também encontramos pessoas que analisam as ondas com uma visão especializada do ponto de vista científico, que enfatizam a presença necessária de um **meio contínuo**, ou que possa **modelizar-se** como tal, reconhecem **causalidade externa** (excitação) e **interna** (vínculos entre as partes do meio), e utilizam o **princípio de superposição** para dar conta de **pulsos, ondas estacionárias e ondas irregulares, não reduzindo a análise às ondas clássicas e contemplando ondas amortizadas e meios dispersivos**.

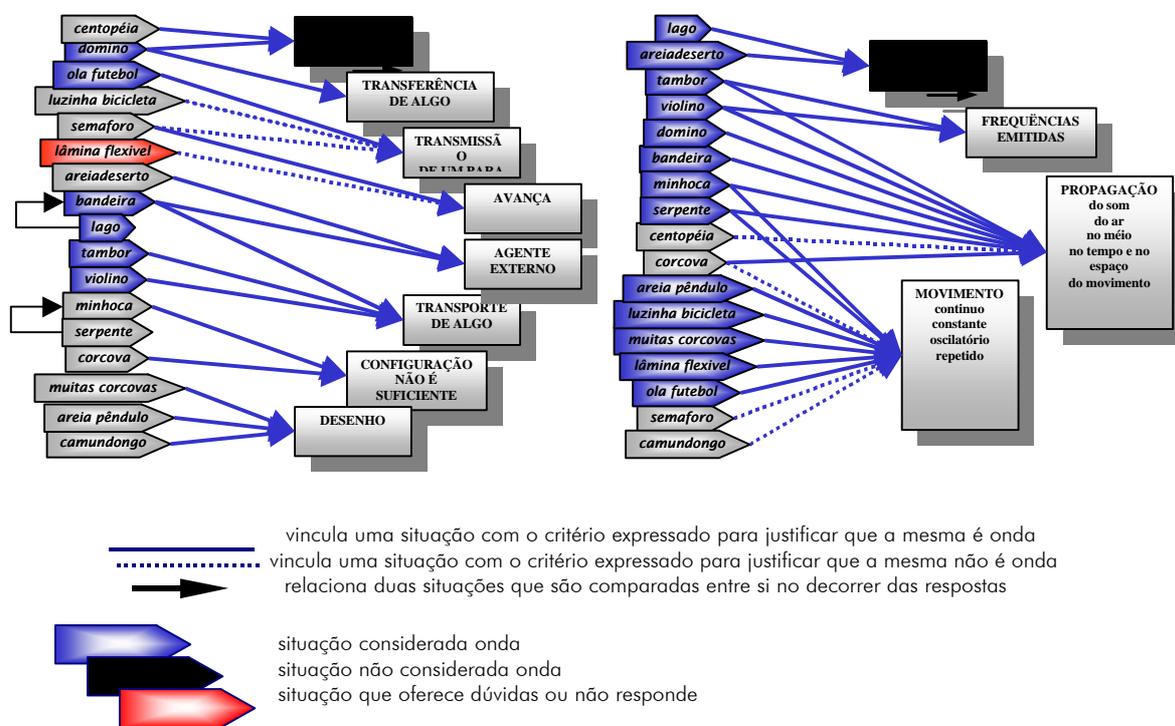


FIGURA 1: Exemplos do esquemas desenhados

4. A construção de um quadro de enunciados

Acompanhando minuciosamente os casos analisados na etapa exploratória, pudemos notar que cada instância não somente era vista ou não como onda de acordo com a pessoa que está analisando a situação, mas que, além disso, as razões pelas quais determinada instância é caracterizada como onda, difere de uma pessoa para outra.

Organizamos os vários argumentos apresentados, em cada caso, numa tabela. Num primeiro exame dessa tabela, observamos que em todas as situações aparecem argumentos para considerar as instâncias como ondas ou não. Entretanto, as razões colocadas são, em

geral, significativamente diferentes entre si. Embora todas situações sejam vistas como ondas e como não ondas por diferentes pessoas, os argumentos dirigem-se mais em um sentido do que em outro, conforme a situação.

A lista de argumentos condensada na tabela (quadro de enunciados) foi um resultado importante da etapa exploratória, ao mostrar um conjunto de interpretações diferentes perante as situações, que nos permitiu elaborar o questionário utilizado na segunda etapa da pesquisa, que descrevemos no seguinte item. O estudo das respostas ao questionário e às entrevistas, mostrou a maneira como se conjugam, nos argumentos, duas questões que consideramos relevantes: o modelo espontâneo de onda e a representação da situação. A partir dessa perspectiva, aprofundamos na segunda etapa na análise dos modelos e na consideração de cada situação, mas nesse caso, nos concentrando nos estudantes.

5. A estatística aplicada

Se na etapa exploratória, a ênfase foi colocada na interpretação, procurando nos aprofundar nas expressões das pessoas; entender como algumas palavras eram utilizadas, considerando o sentido atribuído a elas em cada contexto; diferenciando diversos modos de compreender o caráter ondulatório de algumas situações apresentadas no questionário; analisando o universo de respostas numa amostra ampla (quanto à idade e ao nível de estudos), na segunda etapa do trabalho de campo, a abordagem foi mais sistemática e delimitada. Nesse caso, trabalhamos com estudantes de nível médio, na idade em que normalmente participam de cursos de Física que tratam temas de ondas, procurando estabelecer que modelos predominam nessa faixa etária e sistematizar sua caracterização.

Focalizamos nossa atenção na utilização de técnicas estatísticas, procurando alternativas para obter mais precisão nos modelos. Em particular, decidimos utilizar uma análise fatorial de componentes principais (ACP) como recurso estatístico para sistematizar a caracterização procurada. O ACP é uma técnica estatística utilizada para reduzir um conjunto de variáveis (relacionadas) a um número menor de componentes (fatores) independentes entre si. Com sua aplicação, é possível agrupar as variáveis originais em subconjuntos de variáveis que estão relacionadas entre si e que não estão correlacionadas com as variáveis dos outros subconjuntos. Considerando cada variável como um vetor no espaço dos casos, o conjunto poderia ser interpretado como uma nuvem de pontos. O ACP analisa a nuvem, reduzindo as variáveis originais a um número menor de variáveis (fatores), independentes entre si. Os fatores resultam numa combinação linear das variáveis. Os pesos fatoriais indicam a participação de cada variável na construção do fator:

$$\mathbf{f} = a_1 \mathbf{x}_1 + a_2 \mathbf{x}_2 + \dots + a_n \mathbf{x}_n$$

\mathbf{f} : fator $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n$: variáveis (enunciados) a_1, a_2, \dots, a_n : pesos fatoriais

Tomando como referência o quadro de enunciados construído a partir dos resultados da etapa exploratória, elaboramos um questionário de ponderação de enunciados. A metade dos alunos que participaram do estudo (30 alunos) responderam a esse questionário, expressando sua concordância ou não com cada enunciado, numa escala de 1 a 5. Os dados quantitativos (resultados do questionário de ponderação dos enunciados) foram colocados em uma tabela e analisados com o auxílio do Programa SPSS. Cada enunciado foi considerado como uma variável (com valores discretos variando de 1 a 5) e cada estudante como um caso. Em primeiro lugar, obteve-se o valor médio para cada uma das variáveis, seu desvio padrão e o

histograma de frequências. Determinaram-se, em seguida, as matrizes de correlações e de proximidades das variáveis e, utilizando os comandos FATOR e PROXIMITY do SPSS, agruparam-se as variáveis e os casos em *clusters* e em fatores. Para o caso dos *clusters* foram utilizados diferentes métodos e para a determinação dos fatores foi utilizada a Análise dos Componentes Principais (ACP), buscando otimizar a solução através da rotação VARIMAX.

Utilizamos o ACP para efetuar duas análises diferentes:

a) Trabalhando com a totalidade dos enunciados, procuramos encontrar a estrutura ótima de fatores para vencer a totalidade das variáveis (no sentido de associar cada fator a um modelo) e determinar os índices de tipicidade e polaridade de cada estudante em relação a cada um dos fatores (a fim de estabelecer qual ou quais modelos, está mais próximo de sua visão de onda).

b) Trabalhando separadamente com os enunciados correspondentes a cada situação, determinamos os quatro fatores principais (com o objetivo de determinar as principais maneiras de visualizar cada situação por parte do conjunto dos alunos).

Nosso propósito consistiu em associar cada fator com um modelo. Para tanto, tomando como referência a metodologia desenvolvida por Rodrigo, Rodriguez e Marrero (1993), atribuiu-se significado aos fatores em função do significado dos enunciados de maior peso fatorial. Em sucessivas aplicações do ACP fomos ajustando a análise até encontrar uma estrutura satisfatória. No processo, eliminaram-se enunciados atendendo aos valores baixos de comunalidade e peso fatorial.

A outra metade das turmas (30 alunos) respondeu por escrito ao mesmo questionário aberto utilizado na etapa exploratória. Fizemos isso com dois objetivos: por um lado, queríamos verificar a validade do questionário de ponderação de enunciados, verificando se as respostas dos estudantes apresentavam correspondência com os enunciados colocados no questionário. Por outro lado, pretendíamos utilizar técnicas qualitativas de análise, considerando a codificação das respostas abertas, e contrastar logo os resultados com aqueles obtidos a partir das técnicas multifatoriais.

Com as respostas abertas dos estudantes constituiu-se um banco de dados (trabalhou-se com o programa Access). Cada resposta foi analisada e codificada em função dos critérios utilizados na caracterização das situações. As categorias não foram fixadas a priori, mas surgiram como consequência do próprio processo. Os esquemas elaborados na etapa exploratória serviram de base para a seleção do conjunto inicial de códigos, que foi logo aplicado aos casos analisados na segunda etapa, sendo alterado à medida que a análise ia-se desenvolvendo. O banco de dados foi elaborado de maneira a ser possível a recuperação de todo tipo de informação cruzada, de modo extremamente simples. Assim, pode-se responder facilmente perguntas do tipo: Quem utilizou tal critério? Quais são os enunciados que correspondem a determinado critério? Que critérios predominam nas respostas à determinada situação? Que critérios utilizou tal indivíduo? Quantas vezes foi utilizado determinado critério por um indivíduo ou, no total, por todos? Quantas vezes certo critério foi utilizado em relação à determinada situação?

Uma vez atingido o ajuste definitivo dos códigos, foi confeccionada uma tabela que indicava o número de vezes que cada código foi utilizado por cada um dos indivíduos. Essa tabela também foi submetida a uma análise de componentes principais (ACP), procurando determinar como os diferentes critérios, adotados pelas pessoas, possuíam correlações entre

si. Após sucessivas aplicações e ajustes, obteve-se uma estrutura de fatores a partir dos quais inferimos modelos em termos de critérios.

6. A reelaboração dos modelos: focalização e ajustes

Durante o processo de análise, foram contrapondo-se constantemente, os resultados obtidos a partir das diferentes fontes de dados e das variadas técnicas usadas. Isso permitiu ampliar e aprofundar paulatinamente a compreensão dos traços dominantes de cada um dos modelos caracterizados, assim como a maneira pela qual cada uma das situações utilizadas é vista a partir desses modelos. Basicamente, obtivemos uma estrutura de modelos em termos de critérios e outra em termos de enunciados, que comparamos e contrapusemos. Os modelos inferidos durante a etapa exploratória, também influenciaram na interpretação.

Um contraste interessante e que acarretou resultados positivos foi a comparação entre as principais “maneiras de ver” cada situação (obtidas com o ACP a partir da ponderação de enunciados pré-fixados), com as expressões dos estudantes. Dado que, o questionário de ponderação de enunciados foi elaborado a partir das expressões obtidas de um número pequeno e heterogêneo de pessoas, cabe considerar se ele contempla o universo das possíveis respostas dos estudantes. Uma primeira tarefa que empreendemos foi, então, analisar em que medida, para cada situação, existia uma correspondência razoável entre as respostas abertas dos estudantes e aquelas do questionário de ponderação de enunciados. Apesar de alguns matizes, as correspondências encontradas foram muito grandes. Em termos gerais, a maioria das respostas abertas, da segunda etapa, correspondiam a alguma das “maneiras de ver” determinadas.

Considerando que, num caso, os estudantes manifestaram sua opinião sobre enunciados determinados enquanto, no outro, expressaram suas próprias idéias; não podemos pensar que irá existir uma convergência plena entre ambos os grupos de fatores. A tarefa solicitada aos alunos é muito diferente. No primeiro caso, os estudantes devem julgar opiniões diversas que colocam posturas, talvez não consideradas por eles inicialmente, mas que podem suscitar reflexões e contrastes com seus modelos ou salientar aspectos que não haviam sido percebidos espontaneamente. Apesar das considerações levantadas e, justamente, tomando-as em conta, é surpreendente a convergência encontrada. Entendemos que um dos principais frutos de nosso trabalho está nessa confluência que nos permitiu caracterizar um conjunto limitado de modelos a partir da utilização de técnicas de natureza diferente. A tipologia final atingida define os modelos que representam, em nosso entender, os modos diferenciados de interpretar as ondas que encontramos nos estudantes. Esses modelos constituem uma síntese da interpretação dos fatores determinados a partir de códigos e enunciados.

7. Os modelos caracterizados. Uma análise das suas características

Apresentamos, na **TABELA 1** os traços dominantes dos modelos encontrados. Procuramos compreender cada modelo do ponto de vista ontológico, como as relações espaço - temporais e causais são contempladas neles, que papel é atribuído ao meio e que tipo de alterações são consideradas relevantes para caracterizar as ondas. Cada um desses traços é importante na compreensão do modelo ondulatório científico; torna-se, então, vital reconhecer

que tipo de obstáculos devem ser superados pelos alunos que sustentam os diversos modelos para se aproximar do modelo científico.

Do ponto de vista ontológico, podemos distinguir nos modelos encontrados duas visões das ondas: uma que as identifica mais com um ente (*curva que caminha, figura conhecida, fonte.*) e outra que as reconhece como um evento. O evento pode relacionar-se com subir e descer (*forma em movimento*), oscilar (*repetição*), transmitir, transferir, propagar (*transmissão-transferência, material-meio*).

A maioria dos modelos não consegue integrar as características espaciais e temporais da onda para dar conta de seu movimento. Alguns modelos apresentam predomínio espacial (*curvas que caminham, figura conhecida, transmissão-transferência*). Ao contrário, em outros (*repetição, fonte*), o predomínio é temporal. O modelo *sucessão* considera espaço e tempo, mas com uma visão somente progressiva do tempo (eventos em pontos sucessivos, sem levar em conta variações temporais em cada ponto). Em *forma em movimento* e *material-meio* o espaço e o tempo encontram-se menos dissociados.

Encontramos modelos causais e não causais. *Forma em movimento, figura conhecida de onda, repetição e sucessão* são modelos descritivos. Nos modelos *curvas que caminham e fonte*, reconhecemos traços de causalidade que poderíamos denominar "externa" (referência a agentes causais que produzem as ondas). O modelo *transmissão-transferência* considera causalidade "interna", ao levar em conta transmissões (de: vibrações, estímulos, forças, energia, movimento) entre as partes do meio. Trata-se de uma causalidade linear, em que se reconhecem cadeias de acontecimentos e processos. O modelo *material-meio* incorpora a consideração de agentes externos (vento, corda que vibra, etc.) e internos (vínculos entre as partes, interações).

A postura ontológica adotada está relacionada com o tipo de mudança focalizada no fenômeno. Com a maioria dos modelos, reconhece-se que as ondas envolvem mudanças, isto é, variações no tempo, mas cada modelo focaliza isso de modo diferente: como deslocamentos (*curvas que caminham*), como mudanças cíclicas/periódicas (*repetição, fonte*), como mudanças progressivas (*sucessão, transmissão-transferência*), como transformações ou mudanças internas (*material-meio*). O modelo "forma em movimento" tenta conciliar as características cíclicas e progressivas. O modelo "figura conhecida" não presta especial atenção às mudanças.

O caráter ontológico atribuído às ondas, a presença ou não de relações causais e a passagem de relações causais simples para as interações determina diferenças na concepção de meio, segundo os modelos. Enquanto para alguns deles o meio parece ser somente um elemento decorativo, para outros a presença do meio obstrui ou facilita, segundo o caso, o andar das ondas. Prestando atenção aos aspectos ontológicos e causais próprios de cada modelo, assim como a caracterização geral lograda para cada um deles, pudemos reconhecer várias maneiras diferentes de interpretar o papel do meio: como cenário, como obstáculo-resistência, como canal, como conjunto (soma aditiva), como sistema.

Não avançaremos mais em relação aos modelos. Uma discussão detalhada dos mesmos foi realizada num trabalho anterior (Utges e Pacca, 1998). No entanto, nos interessa destacar que uma característica desses modelos é que cada um deles focaliza algum aspecto particular, que de algum modo está presente em certas ondas. Porém, esse aspecto aparece amplificado, outorgando-se a ele um papel que se afasta daquele que possui nas ondas em geral. Veja-se,

por exemplo, a questão das "formas". Os estudantes que consideram que as ondas correspondem a certas "formas" visíveis, têm grandes dificuldades para admitir fenômenos ondulatórios em que elas não estão presentes. É freqüente entre esses estudantes a crença de que as "formas", apesar de não visíveis, estão na luz ou no som. Nosso estudo permitiu considerar que podemos encontrar alguns modelos diferentes, entre os que dão importância à forma. Para alguns - *figura conhecida* - a forma deve assemelhar-se a uma senóide (uma cobrinha), estendida no espaço, para outros - *curvas que caminham* - trata-se de qualquer tipo de curva, que se translada. Finalmente, outros estudantes refinam mais a sua percepção das ondas e distinguem nelas um subir e descer em pontos diferentes do espaço - *forma em movimento*.

<p>Curvas que caminham Ondas são formas curvas que se movem e avançam. Curvas que se vêem e que caminham. As curvas podem responder a diversas formas, (zigzag, irregulares, lombada). O importante é que a curva precisa avançar.</p>	<p>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.</p>
<p>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.</p>	<p>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.</p>
<p>Repetição Movimento com repetição no tempo, que pode ser produzido por um agente externo. Tem que haver um período, uma freqüência, 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.</p>	<p>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.</p>
<p>Fonte As ondas são fundamentalmente uma sensação, algo que não se vê, produzidas por uma fonte que, com seu movimento, produz as ondas, que viajam logo pelo ar. As ondas propagam-se no ar; o ar é o meio por excelência, para propagá-las.</p>	<p>Material Meio É necessário que exista um material contínuo através do qual o movimento se propague. Para tanto, devem existir vínculos entre as partes, alguma relação que permita a propagação das ondas.</p>

TABELA 1: Os modelos caracterizados (traços gerais)

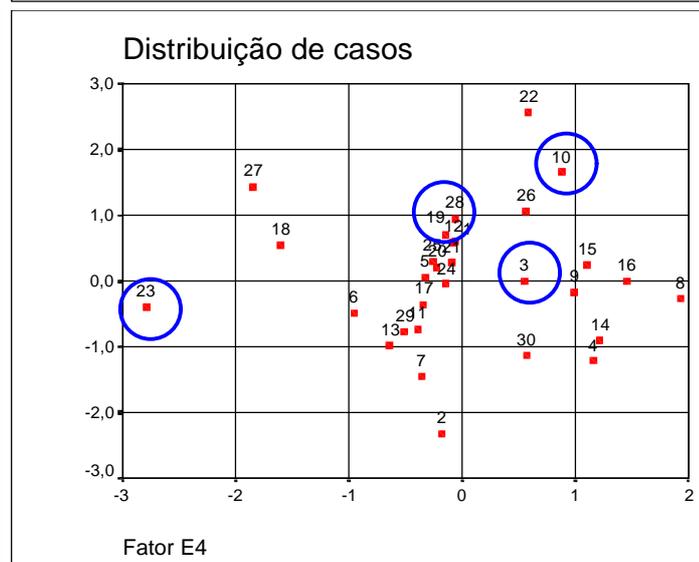
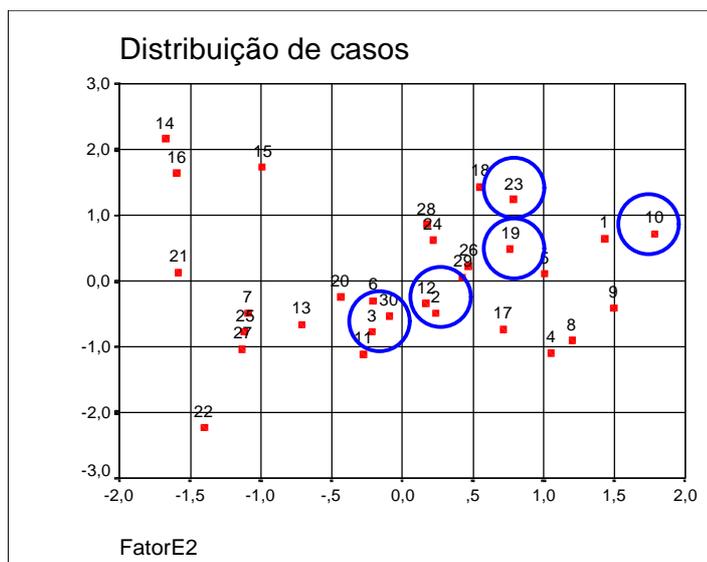
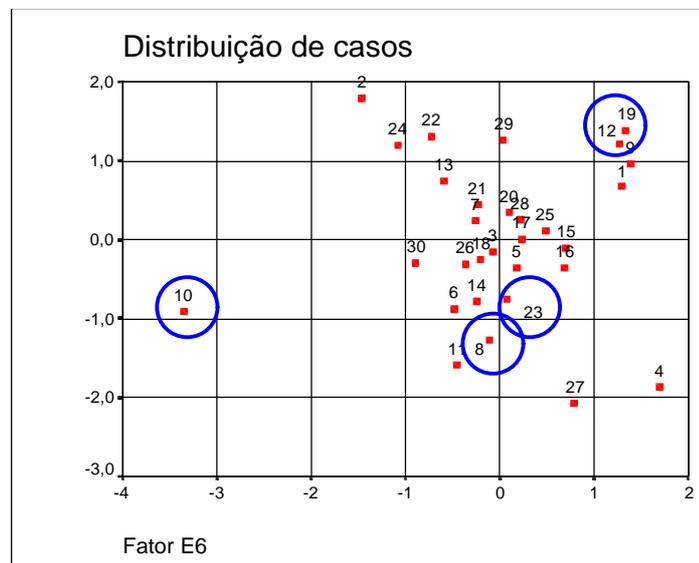
8. Os modelos caracterizados e sua relação com o pensamento individual

O processo desenvolvido para a caracterização realizada privilegiou a procura de generalidade. O caráter estatístico da metodologia foi coerente com a nossa intenção de estabelecer uma tipologia geral de modelos. Mas podemos perguntar então, se os modelos encontrados guardam ou não alguma relação com as posturas individuais dos estudantes. Em que medida poderíamos dizer que um estudante particular responde a um ou vários dos modelos caracterizados? No estudo exploratório, tivemos oportunidade de analisar as visões particulares de diferentes pessoas. Consideramos que isso proporciona indícios para afirmar que, pelo menos neste campo, confrontados na tarefa de categorização, as pessoas parecem

ativar um modelo dominante. Mas também comprovamos, observando as respostas coletadas nas duas etapas do trabalho, que as diferentes situações mobilizam as representações de um modo significativo, gerando às vezes dúvidas, confrontações e novas inferências. Poderíamos pensar então, que, frente à tarefa proposta, os estudantes podem mobilizar mais de um modelo. Uma outra questão, que parece significativa, é perguntarmos em que medida os modelos caracterizados estão representados na população estudada. Predomina algum dos modelos? Quais dos modelos são mais característicos nos estudantes analisados?

A questão da relação entre os modelos caracterizados e os modelos ativados pelos estudantes, nos parece relevante e temos elementos em nossos dados para aproximar uma análise. Procuramos respostas a essas questões, utilizando as técnicas estatísticas empregadas. Dado que os modelos guardam correspondência com os fatores obtidos através da ACP (de fato, foram construídos a partir dos fatores), podemos procurar a correspondência entre indivíduos e fatores, representando os casos (cada estudante) no espaço dos fatores.

FIGURA 2: Distribuição dos estudantes no espaço dos fatores (enunciados).



Nessa representação cada caso é um vetor, e suas componentes indicam o grau de aceitação de cada estudante dos respectivos fatores. Como pode observar-se no exemplo apresentado na Figura 2, os estudantes se posicionam de maneiras diversas nesse espaço. Enquanto alguns apresentam componentes altas em um ou vários fatores (por exemplo, os casos e1, e2, e4, e8, e10, e12, e14), outros mostram componentes baixas em todos (e20 e e23). Ao mesmo tempo, podemos ver como alguns dos fatores são rejeitados por certos estudantes. Como vemos, encontramos numa turma de estudantes posturas bem diversas, algumas categóricas e outras mais duvidosas.

Os gráficos que mostram a distribuição dos estudantes em relação aos fatores proporcionam indícios para considerar o quão típico é cada modelo no comportamento de

cada estudante. Mas podemos interpretar melhor as visões individuais dos estudantes determinando como eles se polarizam em relação aos distintos fatores. Isso implica em comparar entre si as tipicidades em cada fator, através do cálculo dos índices de polaridade. O índice de polaridade, que toma valores compreendidos entre -1 e 1 , compara as tipicidades entre si. É calculado, para cada estudante, em relação a cada fator, a partir da diferença normalizada entre a tipicidade do estudante nesse fator e a média das suas tipicidades nos outros fatores.

A partir das polaridades calculadas para todos os estudantes, pudemos verificar que são poucos os alunos polarizados somente num modelo. A tendência a aceitar dois modelos é mais freqüente. Por outro lado, a combinação de modelos aceitos e rejeitados é complexa. Ainda considerando somente polarizações fortes (superiores a $0,25$), encontramos alunos que combinam dois modelos e outros que não apresentam polarização forte em nenhum deles.

9. Algumas reflexões que contemplam a análise realizada

A riqueza dos dados recolhidos proporcionou elementos para tecer muitas considerações e possibilitou a conformação de uma idéia preliminar ampla e sugestiva. Comentaremos, a seguir, vários aspectos que nos parecem pertinentes na direção de nossos propósitos:

◆ Imagens, topologia, modelos mentais

A evocação ou construção de imagens para resolver situações específicas apareceu freqüentemente nas conversas com os entrevistados. Encontramos momentos em que as pessoas procuravam imaginar-se em uma das situações utilizadas para tratar de estabelecer associações adequadas com sua idéia de onda. Os entrevistados pareciam incorporar algo mais que imagens estáticas, até mesmo com movimento (tipo filmes); tivemos a impressão que as representações incluíam aspectos topológicos, indicando certas estruturas que abrangem elementos, ordenados no espaço e no tempo. Esse tipo de representações enquadra-se bem com a noção de modelos mentais sustentada por Johnson Laird (como "análogo estrutural do mundo"). Podemos considerar que a idéia de que as pessoas constroem modelos mentais das situações apresentadas para responder à tarefa solicitada, é razoavelmente plausível. Mas eles não comparam esses modelos mentais com um conceito proposicional de onda: a própria idéia de onda, ativada no momento de responder às perguntas, tem conotações imaginárias, topológicas, dinâmicas e estruturais. Mais ainda, notamos como as distintas situações evocam aspectos diferentes, indicando a flexibilidade da representação conceitual.

◆ Analogias espontâneas e exemplares típicos

As pessoas geram espontaneamente analogias no desenvolvimento da tarefa, seja comparando as situações que utilizam ou evocando outras não mencionadas. Isso tem acontecido com os participantes, independentemente do nível de formação. O que muda de uma pessoa para outra são as analogias estabelecidas. É interessante observar como elas diferem umas das outras e sua íntima relação com a idéia central que a pessoa está colocando. Também em várias ocasiões, tivemos oportunidade de comprovar que algumas situações são consideradas pelas pessoas como exemplares típicos, quer dizer, casos que se ajustam claramente com seus critérios. Esses exemplares típicos parecem jogar um papel importante na categorização de outros e constituem uma fonte recorrente, evocada para estabelecer comparações.

◆ A questão da linguagem

As mesmas palavras são utilizadas com sentidos diferentes, segundo uma pessoa e também um contexto. Encontramos vários casos significativos: um deles, relaciona-se com a palavra *continuidade*. Conseguimos identificar três maneiras diferentes de utilizá-la: como *continuidade material* (meio contínuo vs. meio discreto), como *continuidade temporal* e como *continuidade espacial*. Algumas pessoas passam de um sentido ao outro, sem tomar consciência da mudança de significado. Outra palavra que é utilizada de modo polisêmico é *propagação*. Aparece frequentemente, mas às vezes parece ficar associada à idéia de *translação*, *transmissão*, *expansão*. Esta é uma questão significativa, se consideramos que na escola insiste-se em apresentar a onda como "propagação de uma perturbação". A palavra *repetição* também parece conduzir a duas interpretações: *repetição espacial* e *temporal*, apesar de, por momentos, não serem fáceis de discriminar nas respostas das pessoas.

◆ Nível de crenças e nível de conhecimento

Em muitas oportunidades apareceram indícios de que as pessoas diferenciam aquilo que conhecem, como informação coletada na escola ou no contexto do cotidiano, daquilo em que acreditam, em função de seus marcos pessoais de referência. Essa situação apresenta-se, muitas vezes, de maneira clara em relação ao som e à luz. As pessoas estão informadas de que o som ou a luz são considerados como ondas, mas não conseguem explicar isso com suas próprias idéias. Apesar disso, não rejeitam de imediato essa possibilidade. Algumas vezes procuram ajustar o conhecimento às crenças, com resultados díspares e noutras confessam as confusões que essa situação lhes produz.

• Modelos e modelos mentais

Contemplando o conjunto de dados coletados, assim como a análise realizada, podemos observar que as interpretações que os estudantes efetuam em cada situação avança em sentidos diversos. Quando eles são colocados perante cada situação e são incitados a contemplá-los em termos de ondas, os aspectos salientados estão relacionados com suas crenças. Pensadas em termos de modelos, essas crenças possuem um caráter altamente situado. Os estudantes podem ativar um ou outro modelo, segundo os aspectos focalizados da situação. Note-se que aparece aqui uma questão de dupla via, já que, por sua vez, os aspectos que se focalizam dependem do modelo ativado. Devemos reconhecer esse caráter flexível das representações, mas admitir, também, que essa flexibilidade não é arbitrária, como tampouco as possibilidades parecem ser infinitas.

10. Discussão: a pertinência da metodologia para a procura de modelos do senso comum

O questionário utilizado tem-se mostrado especialmente frutífero para obter o tipo de informação que estamos procurando. A variedade de situações faz as pessoas voltarem-se, uma e outra vez, sobre suas idéias, possibilitando a obtenção de indícios para compreendê-las melhor. Por outro lado, a maneira como as situações têm sido colocadas, assim como o fato de muitas delas não corresponderem a casos considerados típicos de ondas, favorece, a nosso entender, a construção ad-hoc de modelos mentais para responder à tarefa solicitada; modelos estes, que se refletem nas respostas tanto escritas como orais e nos ajudam a inferir os traços próprios do conceito individual.

Em termos gerais, podemos dizer que as pessoas enfrentam a categorização construindo modelos mentais das situações colocadas, para tentar determinar em que medida cada situação responde à sua idéia de onda. Algumas situações ajustam-se claramente e outras são rejeitadas rapidamente. No entanto, sempre aparecem situações que geram incertezas, dúvidas, contradições. Essas situações ambíguas, diferentes para cada pessoa, são as que nos permitem, muitas vezes, inferir melhor as características associadas às ondas, na medida em que é nesses casos que as pessoas realizam os maiores esforços para tornar explícitos os seus critérios e modelos.

Consideramos que a utilização do ACP foi de grande utilidade para sistematizar dados de um número grande de indivíduos e precisar os traços dominantes dos modelos, assim como para contrastar esses modelos com o pensamento individual. As tipicidades e polaridades constituem uma ferramenta importante nessa direção. No entanto, e, para finalizar nossas reflexões, desejamos colocar duas questões gerais que precisam ser salientadas:

a) O ACP permite estruturar a informação disponível, a qual depende diretamente do instrumento utilizado na coleta de dados. A elaboração do questionário constitui portanto um dos aspectos mais importantes do processo, requerendo necessariamente uma etapa exploratória que proporcione elementos para sua elaboração.

b) Os resultados do ACP somente brindam uma indicação de fatores e a incidência das variáveis em sua constituição (através dos pesos fatoriais). A passagem de fatores a modelos não é imediata. Constitui um processo de interpretação no qual a experiência do pesquisador, sua compreensão da temática, os aportes de análise de casos específicos e entrevistas, é essencial. A relação entre as expressões dos estudantes e os modelos subjacentes não é óbvia, requerendo então uma reflexão aprofundada por parte dos pesquisadores em relação aos instrumentos de pesquisa, mas também na maneira como os dados deveriam ser interpretados na procura de modelos.

Consideramos que a metodologia utilizada na pesquisa foi efetiva quanto a brindar elementos muito ricos para a determinação dos modelos procurados. Em particular, a combinação de ferramentas qualitativas e quantitativas de análise tem contribuído para a obtenção de resultados mais acurados. Cabe a pergunta sobre a efetividade da metodologia para analisar o pensamento dos estudantes em relação a outros conceitos físicos, questão essa que abre alternativas para novas pesquisas.

Referências

BORGES, T.; GILBERT, J. Models of magnetism. *International Journal Science Education*, 20(3), 361-378, 1998.

GRECA, I.M.; MOREIRA, M.A. The kind of mental representations – models, propositions and images – used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6), 711-724, 1997.

KRAPAS, S.; ALVES, F. Lei de Gauss e os modelos mentais. *IV Simposio de Investigadores en Educacion en Física*, La Plata, Argentina, 1998.

RODRIGO, M.J.; RODRIGUEZ, A.; MARRERO, J. *Las Teorías Implícitas. Una Aproximación al Pensamiento Cotidiano*. Ed. Aprendizaje Visor, Madrid, 1993.

UTGES, G.; PACCA, J. O que é uma onda. Uma análise sistemática do conceito visando subsídios para a utilização no ensino. *Atas do IV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Florianópolis, 1998.