

# Dificuldades de um Estudante na Análise de Experimentos Qualitativos

(A student's difficulties about qualitative experiments)

A. Villani\*

*Instituto de Física, Universidade de São Paulo  
Caixa Postal 20516, 01452-990, São Paulo, SP, Brasil*

L. Orquiza de Carvalho†

*Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista  
Campus Ilha Solteira, SP, Brasil*

Trabalho recebido em 25 de maio de 1993

## Resumo

Neste trabalho analisam-se duas entrevistas sucessivas, sobre experimentos qualitativos simples, com um estudante de segundo grau com uma cultura marginalizada e com um domínio da linguagem científica extremamente frágil. A tarefa mais complexa foi a instauração de um diálogo significativo entre entrevistadora e estudante sobre as variáveis em jogo nas colisões elásticas e inelásticas. Apesar das grandes dificuldades iniciais para compreender o sentido das perguntas da entrevistadora, o estudante mostrou sinais de evolução rumo ao conhecimento científico.

## Abstract

In this work we analyse two consecutive interviews, about simple qualitative experiments, with a secondary student who had a lacking culture and a feeble control of scientific language. The most complex task was to establish a meaningful dialogue between interviewer and student about the variables in elastic and inelastic collisions. Although at the beginning the student had great difficulty to understand the meaning of interviewer's questions, he showed an evolution toward a scientific knowledge.

## I. Introdução

Esforços têm sido feitos nos últimos anos para elaborar modelos de aprendizagem das ciências (por ex. Posner et al., 1982; Osborne e Wittrock, 1983) e descobrir estratégias eficientes que favoreçam o processo de mudança conceitual (por ex. Nussbaum e Novick, 1982; Rowell e Dawson, 1985; Dreyfus et al., 1990; Brown and Clement, 1992; McDermott e Somers, 1992).

Para o sucesso dessas tentativas tem sido considerada como importante a criação de um ambiente propício à discussão entre os estudantes e ao diálogo

com o docente, capaz de favorecer o processo de reflexão do estudante; tem sido também focalizada a necessidade da adesão intelectual do estudante a compromissos epistemológicos como a coerência e a procura de generalizações. Na literatura citada acima, o monitoramento do diálogo e das discussões entre docente e estudantes tem sido considerado geralmente uma tarefa simples, mesmo nos casos nos quais se nota uma fragilidade do compromisso epistemológico dos estudantes (por ex. Hewson, 1985).

\*Com auxílio parcial do CNPq.

†Com auxílio parcial da CAPES.

No Brasil o problema parece mais complexo, sobretudo pela presença de uma massa escolar com um ambiente cultural de origem bastante marginalizada e com escasso domínio da linguagem científica. Durante um experimento realizado com estudantes de segundo grau (Villani & Orquiza, 1994) nos chamou particular atenção o caso de um estudante, cuja cultura escolar e familiar diferia bastante da dos demais; neste trabalho relatamos as primeiras entrevistas mostrando as dificuldades por ele encontradas, na tentativa de estabelecer um diálogo com a entrevistadora; tais dificuldades parecem representar o que frequentemente acontece em sala de aula, sem que os protagonistas tomem consciência. A análise das entrevistas caracterizará as fontes principais dessas dificuldades e a evolução do sujeito ao longo do diálogo; também procurará delinear algumas sugestões sobre a maneira de trabalhar situações semelhantes.

#### A metodologia de pesquisa

A parte da pesquisa aqui relatada consistiu de duas primeiras entrevistas video-registradas<sup>1</sup>, com um estudante de segundo grau (FE), referentes às previsões e explicações de experimentos simples sobre colisões, que o próprio aluno podia manipular. Cada entrevista teve duração aproximada de 90 minutos; a entrevistadora (L.C.), às vezes, além de questionar as respostas do estudante, procurava também fornecer informações correspondentes. Os experimentos referiam-se às colisões elásticas (com bolas de aço) e inelásticas (com outras bolas) e eram realizados mediante três aparatos experimentais.<sup>2</sup>

O aparato experimental I consistia de um conjunto de pêndulos, constituídos de bolas de aço de 50g (M) ou 100g (G) suspensas na mesma estrutura de madeira. As bolas podiam ser removidas deixando somente duas delas para interagirem no aparato. Isso possibilitava a realização de vários tipos de colisões (fig.1): em p1 (M-M), p4 (M-G) e p-5 (G-M) o alvo estava inicialmente em repouso na vertical e o projétil era largado de uma determinada altura; p-2 e p-3 eram colisões de bolas iguais, largadas da mesma altura (p-2) ou de alturas diferentes (p-3).

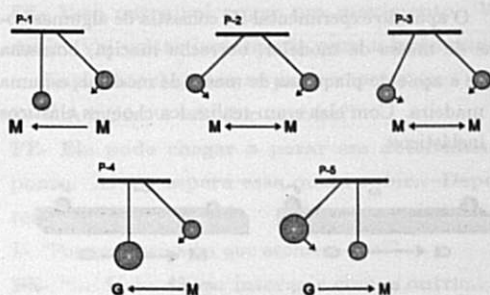


Figura 1: Pêndulo.

O aparato experimental II consistia de uma canaleta plana e de um conjunto de bolinhas de aço de 25g (P), 50g (M) e 100g (G). Vários experimentos podiam ser realizados, variando a massa do projétil ou do alvo e variando a maneira de lançamento de modo que as bolas deslizassem (fig. 2) ou rolassem (fig. 3) sobre a canaleta: em c-1 (G-G), c-3 (G-M) e c-5 (M-G) o alvo estava inicialmente em repouso e o projétil era lançado contra ele deslizando; em c-2 (G-G), c-4 (G-M) e c-6 (M-G) as situações anteriores eram modificadas unicamente pelo movimento de rolamento do projétil; c-8 e c-9 correspondiam a choques frontais de bolas iguais (G-G) lançadas com mesmas velocidades, deslizando (c-8) ou rolando (c-9). Finalmente em c-7 o alvo era constituído de 6 bolinhas de 25g encostadas uma na outra em repouso e o projétil também era uma bolinha de 25g, lançada com deslizamento.

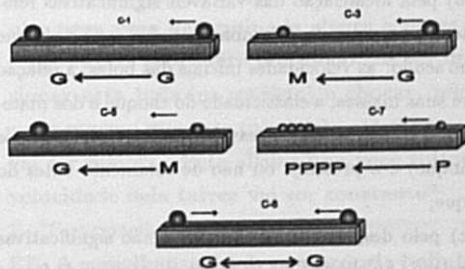


Figura 2: Canaleta: deslizamento.

<sup>1</sup> O experimento completo consistiu de 8 entrevistas com o estudante, analisadas em Orquiza (1994).

<sup>2</sup> Maiores detalhes sobre os experimentos e os aparatos experimentais podem ser encontrados em Orquiza (1994) e Villani & Orquiza (1993).

O aparato experimental III consistia de algumas bolas de massa de modelar, borracha maciça, borracha leve e aço e de plaquetas de massa de modelar, espuma e madeira. Com elas eram realizados choques elásticos e inelásticos.

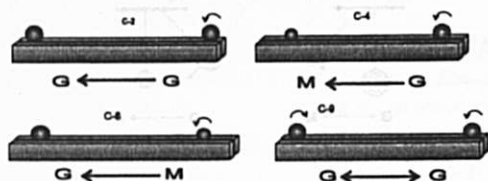


Figura 3: Canaleta: rolamento.

### As características da visão da entrevistadora e do estudante

Parece-nos que os problemas referentes ao diálogo entre a entrevistadora e o estudante serão mais facilmente compreensíveis se confrontarmos as expectativas e a visão disciplinar da entrevistadora com as correspondentes do estudante.

Durante as primeiras duas entrevistas o conhecimento científico, que a entrevistadora considerava como envolvido nas previsões e na análise dos experimentos apresentados, era constituído:

- pela focalização do choque entre as bolas como evento significativo, independente de sua realização numa canaleta ou num pêndulo;
- pela localização das variáveis significativas referentes ao movimento de ambas as bolas após o choque como sendo: as velocidades iniciais das bolas; a relação entre suas massas; a elasticidade do choque e dos materiais (ou a capacidade de reassumir a forma inicial após o choque) e a presença ou não de rolamento antes do choque;
- pelo desprezo, como variáveis não significativas em relação ao choque, da presença de atritos, de forças ortogonais ao movimento e da gravidade;
- também tem sido considerada desprezível a presença de eventuais parâmetros de impacto diferentes de zero, que tornavam a colisão não perfeitamente frontal

e implicavam em pequenas vibrações ou movimentos laterais.

O estudante FE tinha vinte e dois anos e estava frequentando o cursinho para o vestibular. Tinha estudado sempre numa escola pública de tipo técnico, na qual seu contato com a Física foi praticamente nulo. Seus pais tinham nível escolar elementar. Seu interesse em discutir os experimentos e aprender sobre eles e sobre as fórmulas correspondentes era muito grande; entretanto, sua cultura e seu domínio da linguagem científica era muito frágil. Em particular, em várias ocasiões, ele utilizou palavras com significado diferente do científico e do senso comum; algumas vezes suas observações ficaram quase herméticas pela ambiguidade do significado das expressões utilizadas.

No início das entrevistas, a verdadeira colisão era, para FE, a que ocorria na canaleta, pois nesse caso era necessário atirar a bola de certa distância. Ao contrário, no pêndulo tudo ocorria sozinho; soltava-se a bola e a gravidade fazia o resto. O momento da colisão era totalmente ofuscado pela percepção da presença gravitacional e do conseqüente movimento oscilatório.

A atenção dominante de FE era reservada ao movimento produzido no alvo; por isso, a percepção da própria bola incidente e de seu movimento após a colisão ficava em segundo plano. A volta da bola incidente, no choque na canaleta, constituiu para ele uma verdadeira surpresa, pois contrariava a direção preferencial de lançamento; ao contrário, no pêndulo, o movimento de ida e volta era intrínseco ao aparelho e a eventual volta do projétil não chamava a atenção.

A diferença entre c-1 e c-2 era atribuída à força com que se jogava a bola, desprezando a importância do rolamento na hora da colisão; também não era considerado o fato do alvo estar inicialmente em repouso ou em movimento e de ter massa maior ou menor do que o projétil.

Finalmente, a inelasticidade das bolas que se deformavam e não voltavam era atribuída a um atrito ou grude entre elas. No caso das bolas de aço era descartada a idéia de uma deformação de tipo elástico.

## As entrevistas e as dificuldades de FE

Neste item procuraremos descrever as duas entrevistas salientando simultaneamente as dificuldades e os sucessos de FE na construção de um diálogo com a entrevistadora e na aproximação ao conhecimento científico.

### A Primeira Entrevista

Na primeira parte da primeira entrevista FE quase sempre respondeu de maneira inesperada focalizando elementos que a entrevistadora considerava desprezíveis ou pouco interessantes. Ela referia-se sempre ao que acontecia imediatamente antes e depois do choque, desprezando todo o resto; ao contrário, ele focalizava sistematicamente o experimento em sua globalidade desde o lançamento até as bolas todas pararem devido ao atrito.

E- "Se eu levantar uma das bolas a uma certa altura e soltar (experimento p-1). O que você acha que vai acontecer?"

FE- "Elas vão interagir... Elas vão ficar se batendo, se chocando."

E- "...Esta está no alto...Eu solto e bate. O que vai acontecer com cada uma?"

fe- "Você soltou,...essa (o alvo) vai pegar uma certa velocidade também."

E- "E a outra?..."

FE- "Não sei, mas ela pode até acompanhar essa outra...Conforme a outra (o alvo) for lá em cima e bater (no retorno) ela pode parar...Talvez essa aqui (a incidente) quando chegar nesse ponto (o ponto mais baixo de sua trajetória) e parar, a outra (o alvo) que subiu pode se chocar (no retorno) .."

A entrevistadora insistiu, focalizando somente o primeiro choque:

E- "A incidente, no primeiro choque vai se movimentar ou parar? Ela chega. Vai acontecer o que com ela?"

FE- "Vai se chocar com a outra"

E- "E depois do choque?"

FE- "Essa outra vai pegar um movimento. Vai subir. Vai voltar justamente para a incidente.."

Finalmente chegou-se ao ponto importante:

E- "...A incidente vai subir também?"

FE- "Ela pode chegar a parar em determinado ponto. Af ela espera essa outra subir.. Depois tem um choque."

E- "Por que você acha que acontece isso?"

FE- "... Uma vai se interagir com a outra... É como um brinquedo... sei lá..."

De fato o estudante não especificou quando onde a bola incidente ia parar; provavelmente para ele era difícil entender as razões de se focalizar a atenção no que acontecia imediatamente após o choque para descrever o que ocorria com a bola incidente. Boa parte da entrevista mostrou esse conflito sistemático; de um lado a dificuldade do aluno para entender as questões da entrevistadora, que eram formuladas de acordo com as perspectivas disciplinares e de outro lado a pobreza e imprecisão da linguagem de FE, que continua repetindo as mesmas observações genéricas.

Ao se solicitar que comparasse os dois experimentos p-1 e c-1 ele respondeu apelando para as diferentes velocidades finais e para o diferente atrito.

FE- "Essa aqui (no pêndulo) bate e volta e essa aqui (na canaleta) não"

E- "Vamos pegar o primeiro choque (do pêndulo) e comparar com este daqui (na canaleta). Quais as semelhanças e quais as diferenças?"

FE- "A semelhança é que aqui (pêndulo) a bolinha pega uma determinada altura e nessa aqui (canaleta) ela está sobre um plano...Se for impulsionar esta bola (na canaleta) e chocar, não vai ser o mesmo que esta (pêndulo)... O choque dela vai ser maior... Pela altura que você soltou....a velocidade dela talvez vai ser constante"

E- "E as semelhanças?"

FE- "A semelhança é talvez a própria bolinha ou talvez o próprio espaço entre as duas (a distância entre o ponto de lançamento e o choque)

E- "E sobre o choque; tem alguma semelhança?"

FE- "(Na canaleta)A incidente sai daqui.. e pega

**o alvo...tem um determinado espaço ela vai se desgastar, ela vai consumir.. Ela vai se chocar. Só que o choque não vai ser assim forte para ela sair"**

Finalmente chegou-se ao momento do choque, ponto importante para a entrevistadora:

E- "E se eu joguei a incidente tao forte que, desmontando o que ela perdeu no caminho, ela chegou com o mesmo movimento que lá (no pêndulo). O que acontece nos dois casos?"

**FE- "Vai ser a mesma coisa. Uma pára e a outra segue....Só que no plano (mostra a canaleta) é diferente e aqui (mostra o pêndulo) você solta assim...."**

Apesar da dificuldade de linguagem, aparece um pequeno sucesso: FE conseguiu observar que em p-1 e c-1 **vai ser a mesma coisa**, o que já é uma aproximação à perspectiva científica. Interessante notar que, no início, FE tinha considerado semelhantes características que de fato eram diferentes !

Ao realizar o experimento c-2 outro diálogo interessante:

E- "O que aconteceu?"

**FE- A mesma coisa uma bate, a outra segue "**

E- "E a incidente? Foi igual ao que aconteceu no pêndulo?"

**FE- " Mais ou menos..Bateu, teve o choque e voltou para trás"**

E- " Não entendi. Quem voltou para trás? (Repete o experimento c-2)"

**FE- "O alvo."** (ele tinha observado que o alvo, após bater na mão da entrevistadora no final da canaleta, tinha mudado de sentido).

O estudante ainda não conseguia observar a bola incidente:

E- "Eu estou querendo focalizar o que acontece antes e depois do choque."

**FE- "A incidente choca com o alvo, ela pára e a outra prossegue"**

E- "Ela pára? (Repete o experimento c-2)"

**FE- "A velocidade dela não vai ser a mesma."**

E- "Não entendi.."

**FE- "Essa aqui (a bola incidente) bate. Ela (o alvo) pega o movimento da incidente. A tendência dela (alvo) é parar também, mas ela não vai ter a mesma velocidade (da incidente). "**

E- "Você acha que a incidente pára (repete o c-2 e acompanha com o dedo o movimento da incidente após o choque)?"

**FE- "Pára"**

E- "(Repete o experimento e acompanha novamente com o dedo o movimento) Você está falando de uma paradinha que ela deu (no instante do choque)?"

**FE- " Não é de ela parar aqui (no ponto do choque) ...Teve um choque entre elas. Vai ser progressivo (empurra as duas no mesmo sentido). Mas essa daqui (a incidente)a tendência dela é parar (antes) e essa daqui ( o alvo) continua"**

Neste trecho, a raiz do problema foi, claramente, a extrema imprecisão da linguagem de FE, para quem **parar** logo após o choque ou depois de um certo trecho era a mesma coisa. Somente o esforço contínuo da entrevistadora permitiu um acordo aproximado no final.

O efeito das observações da entrevistadora não foi desprezível e começou a aparecer de maneira significativa; FE começou a observar os experimentos de forma mais analítica. Esta adaptação foi lenta, mas significativa; provavelmente o estudante percebeu que ao responder as perguntas específicas da entrevistadora ele estava aprendendo a enxergar melhor os experimentos e a descobrir detalhes que ele não tinha observado anteriormente.

A entrevistadora realizou o experimento c-1 e FE notou que era diferente de c-2 e mais ?arecido com o caso do pêndulo. Após observar a operação da entrevistadora algumas vezes, ele mesmo realizou os dois experimentos, conseguindo na prática alcançar aquilo que outros estudantes tiveram mais dificuldade para realizar (Villani & Orquiza, 1993).

**FE- "Eu não usei uma força grande (em c-2). Ao movimentar ela aqui, praticamente deixei ela rolar. Na outra usei um golpe violento."**

Ao introduzir o experimento c-8 a entrevistadora pediu uma previsão, mas FE realizou imediatamente o experimento. A entrevistadora pediu para ele fazer o experimento de outro jeito (o jeito "fraco", pensando no rolamento), mas ele procurou inverter c-8 de modo a tentar uma explosão.

A entrevistadora estranhou a tentativa de FE e para mostrar as diferenças que queria analisar, realizou c-9 (com rolamento), depois c-8 (sem rolamento), depois novamente c-9.

**FE- "Esse aqui (realiza c-8) é igual àquele (mostra p-2 no pêndulo)...(Na canaleta) Tem uma colisão entre elas e elas vão se afastar uma da outra.. Ali (no pêndulo) talvez não"**

E- "Porque elas não iriam se afastar (no pêndulo)?"

**FE- "Porque ela pára. Ela não pode (se afastar) porque tem o cordão"**

E- "Ela poderia ir até lá em cima (chocando-se no ponto mais alto da circunferência)?"

**FE- "Não"**

E- "Porque não?"

**FE- "Elas têm que bater aqui (no ponto mais baixo) e chocar até parar."**

Dois observações importantes: de um lado FE manifestou a representação alternativa, típica do pensamento infantil e da visão aristotélica (Piaget & Garcia, 1982), de que aquilo que acontece usualmente é devido a uma necessidade intrínseca; de outro lado ele espontaneamente observou uma analogia entre c-8 e p-2, mostrando uma aproximação à visão da entrevistadora.

Foi introduzido o experimento p-4 (bola pequena contra uma maior no pêndulo). FE previu que a incidente talvez conseguisse movimentar o alvo; por sua vez ela pararia porque tem massa menor. Previsão análoga foi feita para o experimento c-5. Após a realização repetida do experimento de p-4, FE o descreveu dizendo que o alvo se movimentou atingindo uma altura menor (que a inicial da bola incidente) e que depois voltara para repetir o choque várias vezes.

A entrevistadora insistiu:

E- "O que aconteceu com a incidente depois que ela empurrou a outra? Ela parou?"

**FE- "Ela movimentou..Ela... (Repete novamente**

**p-4). Não, ela não... A grande volta e ela (mostra a incidente) bate e fica 80 batendo."**

E- "Mas antes da grande voltar? Isso que eu estou perguntando."

**FE- "Ela não vai sair daí (indicando o pêndulo de forma geral)"**

FE não conseguiu focalizar o que aconteceu com a bola incidente após o primeiro choque e antes do segundo: a imagem do movimento pendular parecia ofuscar sua capacidade de análise.

A entrevistadora deslocou a atenção para o experimento análogo c-5 na canaleta. FE, tentou uma colisão com as bolas M->G, mas cada uma com velocidade contrária a da outra. A entrevistadora chamou atenção para a condição inicial de alvo parado; FE realizou c-6 (choque com rolamento) e comentou que a incidente parara. A entrevistadora realizou c-5 (choque sem rolamento) e FE observou que ambas as bolas se afastavam, manifestando sua surpresa com a volta da incidente. Nesta situação apareceu outra característica da maneira de experimentar de FE: a falta de respeito às condições de contorno. Na realidade FE ainda não tinha-se apropriado da maneira de observar o choque na qual a mudança ocorrida com cada bola é um fator essencial. O que na verdade o tinha surpreendido não era a volta da incidente, mas o **afastamento**, pois para ele a fenomenologia do choque podia ser unificada em dois grandes efeitos: ou o sentido do movimento inicial é conservado ou é violado.

Ao voltar para p-4, reconheceu logo uma semelhança com c-5:

E- "O que aconteceu com a incidente depois do primeiro choque?"

**FE- "Vai ser a mesma coisa que essa aqui (mostra a canaleta). Ela bate e volta. Vai movimentar o alvo e ela vai ficar sempre se respingando no alvo"**

E- "Porque (o alvo) faz a incidente voltar?"

**FE- "Porque a massa dessa bola (o alvo) é maior que a incidente..Então a tendencia dela é se distanciar da outra."**

Pela primeira vez a relação entre as massas das bolas apareceu como variável significativa para FE! E ele

usou esta mesma explicação para justificar a continuidade do movimento da incidente em p-5 e analogamente em c-3 (G->M).

Nem todas as observações da entrevistadora foram incorporadas por FE. Ao realizar c-4 FE lembrou que existiam duas maneiras de jogar: a forte e a fraca. Mas ao realizar c-3 novamente ele fez menção de jogar as duas bolas uma contra a outra. Evidentemente o que tinha chamado atenção no caso forte c-5 não era a ausência de rolamento, mas a volta da bola incidente. Ao repetir novamente c-3 varias vezes FE descobriu que a incidente passava seu movimento para o alvo e diminuía seu movimento após o choque. Pelo contrário, em c-4 a incidente praticamente continuava com o mesmo movimento após o choque.

Outro avanço de FE; pela primeira vez utilizou um esboço de modelo de transmissão, tao familiar aos estudantes de segundo grau (Mariani, 1987; Ricci, 1987).

## A Segunda Entrevista

Durante o intervalo entre a primeira e a segunda entrevista, realizada uma semana depois, FE teve tempo para ler sobre as colisões e formular as questões que o tinham interessado, além de tentar entender o que tinha acontecido na primeira entrevista.

No início da segunda entrevista a entrevistadora pediu uma explicação sobre os resultados de um experimento no qual se jogavam, de cima para baixo, bolas de diferentes materiais (massa de modelar, borracha rígida). FE respondeu utilizando uma analogia entre a massa de modelar e uma pedra; a pedra, por ser pesada, tendia a cair mais rápido do que um papel e tinha dificuldades para subir de novo, como a massa de modelar que caía e ficava na mesa; ao contrário a bola de borracha caía e voltava para cima. A analogia foi explorada pela entrevistadora para introduzir um conflito: a bola de borracha parecia mais pesada do que a de massa de modelar, no entanto ela voltava para o alto.

**FE-** "Essa aqui (a bola de borracha) volta porque é feita com um material que seria um plástico. Já essa (massa de modelar) ... dela cair...Então talvez (seja como) uma pedra.

Ele estava apelando para duas variáveis diferentes, a gravidade e o material, para explicar os dois comportamentos diferentes; mais uma vez a gravidade ofuscava a análise do choque!

Novamente a entrevistadora deslocou o problema para uma outra situação experimental mais simples: colocou um banquinho deitado sobre a mesa e começou a atirar bolas de borracha e de massa contra seu assento, que estava agora em posição vertical. Neste caso FE reconheceu os exemplos como choques elásticos e inelásticos (invertendo o significado das palavras), e, em seguida, salientou que existia uma analogia entre a situação inicial de queda sobre a mesa e a final de lançamento contra o banquinho; mas reconheceu uma diferença entre as duas situações:

**E-** "Quais os outros efeitos (a serem considerados) sobre a mesa?"

**FE-** "Podia ser a terceira lei de Newton, talvez alguma reação. Uma a?ao e reação. Talvez a Terra tenha atraído o material para baixo. Talvez uma força elástica também..."

Quase certamente essas idéias tinham sido originadas a partir de suas leituras recentes, ainda não assimiladas; mais uma vez FE ao introduzir um assunto novo revelou seu grande problema com o domínio da linguagem.

Por isso a entrevistadora tentou pôr um pouco de ordem discriminando as interações das duas bolas nas duas situações. Começando pela bola de borracha contra o banquinho FE reconheceu a presença de uma deformação ou seja de um choque e uma correspondente volta devido a massa maior da parede. Em seguida explicitou o que entendia por deformação:

**FE-** "Deformação não seria de ela bater lá e voltar? O proprio movimento, não seria uma deformação?... A deformação seria de ocorrer um choque direto, entre bolinha e parede.. Devido a própria força elástica que tem na parede.."

**E-** "A força elástica que tem na parede?"

**FE-** "E' então talvez uma reação à força elástica que faz a bolinha voltar para trás. Um choque entre a bolinha e a parede.."

A explicação não brilhava pela clareza, entretanto era evidente o avanço do estudante quanto à focalização do momento do choque e de seus efeitos. Isso permitiu-lhe atribuir exclusivamente ao material a diferença entre o comportamento da bola de massinha e da de borracha. Para ele haveria **um atrito ou um grude** entre a massinha e a parede, ao contrário a borracha, **mais lisa, como um plástico**, podia facilmente voltar.

Frente a uma outra bola de borracha mais macia, ele aplicou o mesmo modelo, sugerindo que também neste caso haveria atrito entre a superfície e a mesa; entretanto reconheceu logo que sua previsão estava errada, e que a borracha macia também não grudava.

Nesta altura já estava esboçado um esquema de diálogo: o estudante começava um tema novo com palavras pouco precisas e sentenças pouco articuladas, mas o discurso rapidamente tomava um rumo mais definido.

Quando a entrevistadora pediu uma previsão sobre o experimento imaginário m-2 (análogo a p-2, mas com bolas de massinha), mais uma vez apareceram elementos perturbadores:

FE- **“Seria mais ou menos como no pêndulo. Automaticamente elas vêm assim (faz gestos simulando duas bolinhas que são levantadas à mesma altura de lados opostos e descem) batem, grudam e uma acompanha o movimento da outra (faz o gesto indicando que as bolas grudadas ficariam oscilando)**

E- “Se eu fizesse o experimento com bolas iguais?”

FE- **“Exatamente.”**

E- “O que aconteceria?”

FE- **“Talvez haveria uma força elástica aqui (entre as duas bolas grudadas) que acompanhasse o movimento.”**

A característica do pêndulo, um movimento oscilatório, dominava a representação de FE, independentemente das condições de contorno, junto com uma imaginária **força elástica** capaz de explicá-lo.

A entrevistadora tentou novamente recapitular os casos vistos, incluindo também um outro experimento imaginário de tipo p-2 com bolas de borracha, para as quais FE previu um comportamento diferente das de massinha. Ele confirmou todas as previsões e explicações anteriores, mostrando que o modelo por ele

elaborado era satisfatório: **força elástica** para o movimento oscilatório das massinhas e **anelástica** para a volta das bolas de borracha.

Entretanto o modelo ficava incompleto, pois não conseguia explicar c-8, o choque com bolas de aço.

FE- **“As duas bolas não poderiam parar ali, no contato entre as duas? ...Seria isso aí uma coisa anelástica ou alguma coisa assim?. Porque se fosse (como) essas duas aqui (de massa de modelar), elas iriam grudar..?”**

A entrevistadora não aproveitou a sugestão de analogia (a **coisa anelástica**) entre as bolas de borracha e as de aço, pois estava preocupada com o movimento oscilatório previsto por FE para m-2. Deslocando a atenção para um experimento tipo c-8 (cm-8, com bolas de massinha), em que foi possível constatar a parada das bolas logo após o choque, a entrevistadora esperava induzir a percepção de uma analogia entre m-2 e cm-8; FE prontamente a reconheceu no que dizia respeito às bolas ficarem grudadas após o choque, entretanto confirmou o movimento oscilatório no caso de m-2 no pêndulo. Nem adiantou a entrevistadora tentar introduzir um conflito sobre o diferente comportamento dos dois casos, pois o problema do estudante era: **o afastamento entre as bolas de aço, diferente da parada das bolas de massinha.**

Talvez se possa pensar que houve uma regressão ao estado inicial de incompreensão e incapacidade de diálogo entre a entrevistadora e o estudante; em nossa opinião a situação atual era bem diferente da inicial, tanto diferente que FE podia tranquilamente perseguir seu problema atual sem se preocupar em entender as perguntas da entrevistadora.

Para tentar resolver em parte o problema, ele sugeriu a hipótese de que o choque entre massinhas diferentes talvez resultasse em afastamento recíproco, como no caso das bolas de aço, sugerindo dessa forma uma semelhança entre as duas.

A entrevistadora, neste caso pouco habilmente, tentou então aproveitar o interesse pelas bolas de aço e pela diferença de massa, para recapitular os vários casos até então analisados, chamando atenção novamente para as diferenças entre rolamento e deslizamento, pro-



blema que havia ficado em aberto. Mas para FE o problema referente às bolas de aço era outro e, como revelou sucessivamente, bem mais profundo: **porque algumas vezes as bolas param ou continuam no mesmo sentido do lançamento e outras invertem o movimento.** E ao exemplificar os dois casos ele não prestava muita atenção em manter fixas as condições iniciais, como manter o alvo parado. Do ponto de vista dele, claramente, não existia muita diferença entre c-5, c-8 ou duas bolas diferentes lançadas uma contra a outra. O conflito básico era como a bola podia voltar se não se deformara durante o choque (de onde vinha a força?).

O final da entrevista é interessante por sua "normalidade": entrevistadora e estudante dialogam bastante coerentemente, como pode acontecer em qualquer situação de sala de aula ou, pelo menos, de entrevista.

A entrevistadora aproveitou um pedido de esclarecimento de FE (levantado na leitura do livro) referente ao que acontece durante o choque, para discutir com ele a duração do choque e a realização de uma deformação; ela conseguiu associar o retorno à forma normal com a elasticidade total e com as características do material. Tentando aplicar o princípio às bolas de aço, FE considerou que neste caso a deformação não ocorreria, e portanto não haveria elasticidade. A entrevistadora, mostrando experimentalmente os choques entre bolas de aço e de massinha chamou a atenção para o fato que as primeiras não grudavam após o choque, diferentemente das segundas; FE então sugeriu uma solução intermediária: que no caso do aço houvesse talvez uma elasticidade parcial, ou seja uma **deformação pequena**, talvez por causa do atrito. A entrevistadora aproveitou da ideia de deformação pequena para insistir na deformação invisível e recolocar como cientificamente prioritária a relação entre a deformação das bolas e os efeitos do choque. O estudante pareceu aceitar as explicações da entrevistadora, concordando com elas.

### Conclusões Provisórias

Duas considerações emergem claramente na análise das entrevistas de FE: de um lado, sua cultura extremamente marginalizada em relação à visão científica

e suas capacidades intelectuais certamente não superiores à média de nossas escolas; de outro lado, suas modificações ao longo das entrevistas, no sentido de aprimoramento do diálogo com a entrevistadora e de aprendizagem parcial do conteúdo científico.

O quadro apresentado no começo da primeira entrevista parecia totalmente desanimador: não somente emergia uma incompatibilidade entre sua maneira de observar experimentos qualitativos e a da entrevistadora, mas também sua incapacidade de observar determinados eventos, de expressar seus pontos de vista, além de ambiguidades no uso da linguagem adequada e dificuldades no raciocínio dedutivo com controle das variáveis.

Em particular, as maiores fontes de dificuldades para a realização de um diálogo significativo entre a entrevistadora e o estudante parecem estar:

- nas representações mentais dos estudantes caracterizadas por elementos dominantes e perturbadores, como a gravidade nos fenômenos de queda, a oscilação nos choques com o pêndulo, a inversão do movimento nas colisões com bolas de aço sobre a canaleta, independentemente de condições de contorno.

- na utilização de uma linguagem imprecisa, como a troca de sentido entre **elasticidade** e **inelasticidade**, o significado ambíguo de **parada de uma bola**, os conceitos singulares de **deformação**, de **força de grude**, etc..

Entretanto, o quadro apresentado ao final da segunda entrevista parecia bastante diferente: o estudante estava envolvido com um problema teórico que o desafiava e que se referia ao momento do choque, e os comentários e sugestões da entrevistadora eram por ele recebidos como pertinentes e esclarecedores. Nesta altura o diálogo claramente tinha já sido construído!

Naturalmente FE não se transformou em aluno brilhante, capaz de elaborar rapidamente e profundamente as informações conseguidas durante o diálogo; de fato ele modificou somente um pouco suas ideias espontâneas sobre colisões ou suas capacidades explicativas; no entanto, ele mostrou que podia aprender num ritmo próprio, construir uma linguagem mais precisa, modificar a maneira de observar os experimentos, se aproxima-

mar do sentido das questões da entrevistadora e sobretudo se envolver intelectualmente.

Certamente seria inadequado atribuir tais mudanças a qualidades extraordinárias da entrevistadoras na percepção e gestão das dificuldades e dos problemas do estudante. Apesar de tentar continuamente compreender o ponto de vista do estudante, algumas vezes seu comportamento foi pouco eficiente, não explorando adequadamente oportunidades (como quando FE sugeriu uma analogia entre as bolas de borracha e de aço), deixando de orientar na fixação do significado das palavras (como quando não questionou o uso dos termos "elástico" e "anelástico") e insistindo em pontos pouco modificáveis (como a diferença entre rolamento e deslizamento). Além disso, ela em várias ocasiões subestimou os esforços do estudante em generalizar e compreender o que estava acontecendo, considerando-os implicitamente como repetições mecânicas de coisas ouvidas ou lidas e, conseqüentemente, perdendo uma ocasião para influenciar o processo de aproximação do estudante ao conhecimento científico.

Entretanto o efeito das observações, das questões e das demonstrações da entrevistadora começou a aparecer de maneira significativa já no final da primeira entrevista, quando FE conseguiu descobrir informações diferentes de suas previsões (ao observar e repetir os experimentos) e sobretudo perceber as semelhanças entre as colisões, aproximando-se dessa forma da maneira científica de focalizá-los. Na segunda entrevista o estudante voltou com uma bagagem de questões que de fato tinham moldado em sentido positivo sua maneira de observar. Foi nesta segunda parte que apareceram efetivos conflitos, como a explicação da volta da bola incidente e, relacionada com ela, a classificação das colisões das bolas de aço.

A estratégia utilizada pela entrevistadora foi em boa parte vitoriosa. Destacamos como atividades significativas:

- a repetição sistemática dos experimentos qualitativos, inclusive pôr parte do estudante, a insistência em repetir as questões de forma diferente ou focalizando claramente o ponto essencial,
- a sugestão de confrontos entre experimentos

análogos,

- a estimulação de leituras extra e reflexão do estudante sobre as atividades desenvolvidas.

### Reflexões Didáticas Parciais

As condições do ensino de ciências no Brasil no segundo grau certamente não são animadoras, pois os estudantes parecem se afastar cada vez mais do interesse pelo tema e, conseqüentemente, da aprendizagem efetiva. Entretanto, nossos resultados, mesmo extremamente limitados quanto ao número de pessoas envolvidas e quanto a amplitude dos conhecimentos explorados, parecem sugerir informações interessantes sobre as dificuldades e as potencialidades da maioria dos alunos das escolas públicas de segundo grau que não contam com um apoio cultural fora da escola. Analogamente a FE, tais estudantes, para aprenderem, devem superar as concepções espontâneas características do tema (Mariani, 1987; Grimellini et al. 1993) e também vencer dificuldades específicas relacionadas a seu ambiente cultural e ao escasso domínio da linguagem científica. Os pontos-chave a serem enfrentados pelos docentes para introduzir o tema das colisões e dos correspondentes princípios de conservação parecem ser:

- superamento da visão global e grosseira dos experimentos que se opõem ao estabelecimento de eventos precisos;
- marginalização dos elementos perturbadores (atrito, gravidade, eventos ocasionais), que se opõem à clara focalização das variáveis cientificamente significativas;
- construção da capacidade de usar uma linguagem precisa, que realce a exploração do paradigma científico e o aprofundamento conceitual;
- finalmente, construção de elementos e pontos de vista comuns que favoreçam o crescimento de um diálogo efetivo entre os estudantes e o docente, respeitando os tempos de reação e de problematização de cada estudante e permitindo a cada um deles explorar as informações fornecidas pelo docente e pelos outros.

Se os resultados conseguidos pela entrevistadora, podem ser considerados um guia interessante para alcançar os objetivos do desenvolvimento de um diálogo

normal, as seguintes estratégias parecem enfrentar algumas das dificuldades maiores:

- Insistir na familiarização dos estudantes com os experimentos qualitativos (Hodson, 1988), favorecendo a manipulação dos aparatos experimentais por parte deles, insistindo na repetição das experiências e propondo sistematicamente uma análise detalhada dos elementos e dos eventos mais significativos.

- Promover o confronto entre diferentes experimentos e seus resultados, com a finalidade de estabelecer analogias e diferenças, levantar os possíveis elementos perturbadores e selecionar variáveis significativas.

- Propor situações hipotéticas, um pouco diferente das experimentais, capazes de eliminar os elementos perturbadores (atrito, gravidade, eventos ocasionais) e estabelecer de maneira definitiva as variáveis significativas.

- Aproveitar as analogias levantadas pelos estudantes, para estabelecer conflitos perceptíveis do ponto de vista deles e prestar atenção às questões e problemas por eles espontaneamente propostos. A resolução provisória destes problemas será garantia para que não voltem a bloquear a aprendizagem em outras situações.

- Insistir na utilização de uma linguagem sem ambiguidades e favorecer a mudança na direção do significado científico.

- Finalmente respeitar o tempo de assimilação dos estudantes, fornecendo ocasiões e tempo para refletir sobre as atividades desenvolvidas e deixando emergir as questões mais pertinentes do ponto de vista deles.

Ao se prestar atenção às necessidades e problemas dos estudantes e ao introduzir situações experimentais ou hipotéticas que oferecem pontos concretos de discussão parece possível construir as bases para um diálogo efetivo e para as generalizações teóricas características do conhecimento científico.

## Referências Bibliográficas

Brown, D & Clement, J. - 1992, Classroom teaching experiments in mechanics. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. IPN. Kiel (D) 380-397.

Dreyfus, A.; Jungwirth, E.; Eliovitch, R. - 1990, Applying the 'Cognitive Conflict' strategy for conceptual change: Some implications, difficulties and problems. *Science Education*, **74**(5), 555-569.

Grimellini, T.N; Pecori, B.B.; Pacca, J.L.A. & Villani, A. - 1993, understanding conservation laws in mechanics: Students' conceptual change in learning about collisions. *Science Education*, **77**(2), 169-189.

Hewson, P.W. - 1985, Epistemological Commitments in the Learning of Science: Examples from Dynamics, *European Journal of Science Education*, **7**, 163-172.

Hodson, D. - 1988, Experiments in science and science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, **20**(2), 53-66.

Mariani, M.C. - 1987, Evolução das Concepções Espontâneas sobre Colisões, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

McDermott, L.C. & Somers, M.D., 1992, Building a research base for curriculum development: an example from Mechanics. In Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. IPN. Kiel (D) 330-355.

Nussbaum, J.; Novick, S. - 1982, Alternative Frameworks, Conceptual Conflicts and Accomodation: Toward a Principled Teaching Strategy, *Instructional Science*, **11**, 183-200.

Orquiza, L. C. - 1994, Representações mentais e conflitos cognitivos: o caso das colisões em Mecânica. Tese de Doutorado. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo.

Osborne, R.J. & Wittrock, M.C. - 1983, Learning Science: a generative process. *Science Education* **67**(4), 489-508.

Piaget, J & Garcia, R. - 1982, *Ciencia*. Siglo XXI ed., Mexico. *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*, Siglo XXI ed., Mexico.

Posner, G.J., Strike, K.A.; Hewson, P.W.; Gertzog, W.A. - 1982, Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, **66**(2), 211-227.

Ricci, A.- 1987, Uno studio sperimentale sulle rappresentazioni mentali degli studenti in meccanica: il caso degli urti, *Tesi di Laurea, Università di Bologna*.

Rowell, J.A.; Dawson, C.J.- 1985, Equilibration, Conflict and Instruction: A New Class-oriented Perspective - *European Journal of Science Education*, 7, 331-344.

Villani, A. & Orquiza, L.C. 1993, Representações mentais e Experimentos Qualitativos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 15, 76-89.

Villani, A. & Orquiza, L.C. - 1994, Experimenti Qualitativi, Conflitti Cognitivi e Attività Didattiche. A ser publicado em *Enseñanza de las Ciencias*.