

Modos de Raciocínio Baseados na Teoria do Impetus: um Estudo com Estudantes e Professores do Ensino Fundamental e Médio

Ways of reasoning based on Impetus theory: a study with students and teachers of elementary and secondary education

Altair L. Cunha¹ e Helena Caldas²

lorencetti@escelsa.com.br; helenac@npd.ufes.br

¹Escola de 1° e 2° graus “João Bley”

Av. Nossa Senhora da Penha, s/n, 29360-000, Castelo, ES

²Departamento de Física, Centro de Ciências Exatas

Universidade Federal do Espírito Santo, UFES

Campus de Goiabeiras, Av. Fernando Ferrari, s/n 29060-900, Vitória, ES, Brasil

Recebido em 18 de setembro, 2000. Aceito em 24 de outubro, 2000

Um estudo com 239 estudantes e 23 professores do Ensino Fundamental e Médio mostra como certos modos de raciocínio baseados na teoria do *Impetus* se manifestam ainda atualmente e continuam resistindo fortemente ao ensino formal. A partir de uma análise qualitativa das respostas da população ao questionário proposto e relembrando num breve histórico esta teoria, o objetivo principal do estudo é informar e alertar os professores daqueles níveis de ensino para as origens e conseqüências do problema e fornecer subsídios para que ele possa ser trabalhado em sala de aula.

A study with 239 students and 23 teachers of the Elementary and Secondary Education shows how certain ways of reasoning based on *Impetus* theory still come out nowadays and they continue resisting strongly to the formal teaching. Starting from a qualitative analysis of the answers of the population to the proposed questionnaire and recollecting in a brief historical this theory, the main objective of the study is to inform and to alert the teachers of those teaching levels for the origins and consequences of the problem and to supply subsidies so that it can be worked in classroom.

I Introdução

Os resultados de um questionário, onde uma situação física, formalmente simples e do cotidiano, foi proposta a 239 estudantes e 23 professores do Ensino Fundamental e Médio da rede de ensino pública e particular do estado do Espírito Santo, revelaram uma importante presença no conjunto da população envolvida pelo estudo, de modos de raciocínio que podemos interpretar como sendo remanescentes da teoria do *Impetus*.

Em artigo recente nesta revista, Moraes & Moraes (2000) apresentam um trabalho que descreve um método de avaliação da aprendizagem sobre as leis de Newton (“Avaliação conceitual de força e movimento”), aplicado em estudantes do Ensino Médio e Superior (Goiânia e estado de Goiás), onde os resultados obtidos indicaram, segundo os autores, “claramente”, que “a concepção conceitual predominante é a concepção aristotélica para a descrição do movimento” (p. 242). Os autores seguem, ainda na mesma página, dizendo:

“Como propunha Aristóteles, os alunos tendem a considerar, por exemplo, que para um corpo estar em movimento deve agir sobre ele uma força e que a força e a velocidade do corpo têm sempre a mesma orientação.

Concluimos, enfim, que a aprendizagem em física pode ser melhorada, e para tal basta aos profissionais competentes e autoridades responsáveis se interessarem, investigarem e colocarem em prática possíveis soluções necessárias para a melhoria do ensino.”

Neste contexto, a partir de uma análise qualitativa das respostas da população ao questionário por nós proposto, diferente daqueles utilizados no trabalho acima referido, e adotando como quadro teórico de fundo a teoria do *Impetus*, o objetivo principal do estudo é informar e alertar os professores dos níveis de ensino aqui abordados para as origens e conseqüências do problema

e fornecer subsídios para que ele possa ser trabalhado em sala de aula.

Assim, a população abrangida pelo estudo distribuiu-se da seguinte forma:

- Grupo EF: 115 estudantes da 8ª série do Ensino Fundamental, nível de ensino onde os estudantes têm os primeiros contatos formais com o conteúdo da Física, mas que ainda não tinham iniciado o estudo do conceito de força. Desta população, 69 estudantes eram oriundos da rede de ensino pública do estado (43 do interior do estado e 26 da capital) e 46 da rede de ensino particular (27 do interior do estado e 19 da capital);

- Grupo EM: 124 estudantes do 1º ano do Ensino Médio, que além de terem estudado o conteúdo de Física ministrado na 8ª série do Ensino Fundamental, já haviam também estudado o conteúdo relativo aos conceitos de força e movimento, no nível de ensino em que se encontravam. Desta população, 56 estudantes eram oriundos da rede de ensino pública do estado (34 do interior do estado e 22 da capital) e 68 da rede de ensino particular (27 do interior do estado e 41 da capital).

- Grupo P: 23 professores de Física de vários municípios do interior do estado, que ministravam aulas na 8ª série do Ensino Fundamental e no Ensino Médio. Esta população participava, na época da aplicação do questionário, de um curso de atualização para professores de Física do Ensino Médio (projeto “Pró-Ciências” 1999, financiado pela CAPES), ministrado por professores da Universidade Federal do Espírito Santo. O curso tinha uma carga horária total de 120 horas, distribuída numa estrutura modular temática que abrangia vários tópicos de Física, entre eles, um tópico de Mecânica Clássica, onde eram abordados os conceitos de força e movimento, sendo que o questionário foi aplicado aos professores após a abordagem deste tópico. A maioria dos professores participantes tinha um curso universitário completo (licenciatura) e, também, a maioria deles, era oriunda da rede de ensino pública do estado.

II O Impetus: breve histórico

Relembramos que até ao final da Idade Média, todo o movimento era definido pela sua causa motora. A física de Aristóteles (384-322 a.C.), que inicia realmente os estudos sistemáticos e rigorosos sobre o movimento, não o concebia sem procurar a sua causa. Segundo Koyré (1968):

“...como negar que o movimento, muito mais do que o repouso, não tenha necessidade de uma causa que o explique? Com efeito, ninguém, salvo talvez Descartes, nunca se perguntou porque existe repouso no mundo; todo o mundo, ao contrário, sempre procurou a causa, ou a fonte do movimento.”

Assim, para Aristóteles, os movimentos são classificados em *movimentos naturais*, tais como a queda dos corpos ou o movimento dos planetas, manifestações de uma ordem cosmológica pré estabelecida, na qual os objetos tenderiam a ela se conformar e *movimentos violentos* ou *forçados*, tais como o lançamento para o alto de projéteis, que se movem pela ação contínua de um agente motor externo.

Somente a partir do século VI, aparece um outro modo de explicação para o movimento dos objetos (Philoponos, 475-565), que se desenvolve largamente ao longo do século XIV, na chamada *escola parisiense*: a distinção entre os movimentos tende a desaparecer em proveito somente do movimento natural, definido por um agente motor único, interno ao objeto. Assim, de externa, a causa do movimento passa a ser interna ao objeto.

Esta idéia é central na habitualmente chamada teoria do *Impetus*, embora tenha havido, ao longo dos anos, várias expressões, aparentemente equivalentes, que atribuem uma causa interna ao objeto para explicar a permanência do movimento, a partir do primeiro agente motor que o coloca em movimento, tais como, “*um poder de se mover*”, “*uma certa força*”, “*impressão de movimento*”, “*habitus*”, “*vis impressa*”, “*vis motiva*” (estas duas últimas expressões utilizadas por Galileu), entre outras.

Por exemplo, segundo Clagett M. (1961) *apud* Baptista & Ferracioli (1999), para Jean Buridan (1297-1358), que deu importantes contribuições ao pensamento científico da época, ocupando o cargo de reitor da Universidade de Paris,

“o impetus impresso pelo projetor sobre o projétil varia, por um lado, com a velocidade do projétil e, por outro lado, com a quantidade de matéria do corpo em movimento.”

Ou ainda,

“o impetus é uma qualidade permanente do corpo, embora possa ser destruída por agentes contrários, e é tal que ele não é auto desvanescente meramente como resultado da separação do corpo e da força motora principal, mas pode ser superado pela resistência do ar ou pela tendência contrária do corpo.”

Já Nicole d’Oresme (1320-1382), retomando a teoria do *Impetus* de Buridan, rejeita alguns aspectos desta, como o *impetus* “autoconsumível” (Baptista & Ferracioli, 1999).

Em resumo, podemos dizer que o *Impetus* é quase uma propriedade ou qualidade do objeto, recebida ou transferida pelo primeiro agente motor externo que o

coloca em movimento e que pode “esgotar-se”, “gastar-se” ao longo do tempo, mais ou menos rapidamente, conforme a força inicial transmitida e as características do objeto (forma, tamanho ou peso).

Assim, a história da Mecânica foi marcada, como cita Saltiel (1978),

“pela idéia de que existem fisicamente movimentos reais (próprios, absolutos, verdadeiros, naturais...); esta realidade - portanto, este privilégio - estando intimamente ligado a uma causa motora.”

Esta noção de “movimento privilegiado”, cujo nome muda ao longo dos anos, persiste ainda em Galileu, Newton e seus sucessores. Galileu (1564-1642) foi o primeiro a estudar o movimento enquanto tal, recusando-se a procurar as suas causas, motivo que justificou uma radical mudança no pensamento científico da época:

“O privilégio do movimento natural desapareceu completamente. Daqui em diante, o movimento se conserva, não mais porque ele é natural, mas simplesmente porque ele é movimento.” (Koyré, 1966)

Desta forma, parafraseando Viennot (1979a), a Física não se libertou verdadeiramente das suas concepções medievais, rumo a uma teoria clássica, senão a partir do momento em que ela não procurou mais as causas do movimento, mas começou a considerá-lo por ele mesmo; mesmo Newton (1642-1727), expoente máximo da Mecânica Clássica, utiliza ainda termos familiares como, “força interna”, “força que reside no corpo”, “princípio causal”, “vis insita”, “vis impressa”, entre outros.

Claro que existe uma diferença fundamental na formulação de Newton: as forças “internas” (por ele batizadas de “forças de inércia”) e “externas” são claramente distinguidas. Segundo a “Definição III” de Newton (1687) *apud* Koyré (1968):

“ A força é o princípio causal do movimento e do repouso. Ela é, quer um princípio externo que engendra, destrói ou modifica de alguma forma o movimento que este imprime a um corpo qualquer, quer um princípio interno colocado no corpo pelo qual o movimento ou o repouso do corpo é conservado;...”

ou ainda,

“... porque a inércia é o que faz que não possamos modificar sem esforço o estado atual do corpo, quer ele se mova, quer ele esteja em movimento; assim, podemos dar à força que reside nos corpos o nome muito expressivo de força de inércia.”

Para terminar, esta descrição tem somente o objetivo de delinear, o mais brevemente possível, o contexto histórico do pensamento científico no qual a idéia do *Impetus* se insere, quadro teórico útil para a interpretação dos modos de raciocínio de alunos e professores que serão tratados neste trabalho.

III O Estudo

III.1. Questionário e categorias de análise

O questionário aplicado aos alunos e professores envolvidos no estudo propôs a seguinte questão:

“Uma caixa de fósforos está em cima de uma mesa. Se você dá um “peteleco” nela, a caixa de fósforos entra em movimento e depois de um certo tempo pára.

a) **Porque** ela pára se ninguém fez ela parar?

b) **Quais** são as forças que estão agindo na caixa de fósforos durante o tempo em que ela está em movimento?

c) **Desenhe**, na figura¹, as forças que estão agindo na caixa de fósforos durante o movimento dela e **indique** o que cada uma delas representa.”

Do ponto de vista da Física, desconsiderando a resistência do ar, a caixa pára em consequência apenas da força de atrito que a superfície da mesa exerce sobre ela; sobre a caixa estão agindo a força normal N (força de contato que a mesa exerce sobre a caixa, perpendicularmente às superfícies em contato e, neste caso, dirigida verticalmente para cima), a força de atrito cinético ou dinâmico F_a (força de contato que a mesa exerce sobre a caixa, tangencialmente às superfícies em contato e, neste caso, dirigida em sentido oposto ao movimento de deslizamento da caixa em relação à mesa) e o peso P (força, orientada verticalmente para “baixo”, que a Terra exerce sobre a caixa).

As respostas descritivas (item a) foram classificadas em categorias, formadas em função da diversidade de justificativas dadas pela população e analisando, dentro desta diversidade, os padrões de respostas que se repetiam. Assim, a análise do conjunto justificativas permitiu distinguir as seguintes categorias:

• Categoria CE (Causas Externas)

Esta categoria engloba uma tipologia de respostas, nas quais as justificativas para as alterações do estado de movimento do objeto em estudo são dadas por meio da interação deste com outros objetos, isto é, as causas são externas ao objeto.

Esta categoria subdivide-se nas seguintes subcategorias:

¹Na figura estava desenhado um retângulo, com a frase “caixa de fósforos” escrita em seu interior.

a) CEci (Causas Externas com interação objeto - solo)

Nesta subcategoria o objeto interage com a superfície (em contato com o objeto, mas externa a ele), e é esta interação que justifica o estado de movimento do corpo em estudo, como mostram as citações²:

“Por causa da força de atrito.”

“Porque a força que faz ela parar é a força de atrito.”

Como se observa, esta interação aparece nas justificativas como “atrito” ou “força de atrito” e, por isso, afinamos a nomeação da subcategoria para CEci atrito.

b) CEsi (Causas Externas sem interação objeto - solo)

Nesta subcategoria, a interação do objeto com a superfície desaparece como justificativa para a alteração do estado de movimento do corpo em estudo e, no seu lugar, aparecem outros agentes externos como causa deste estado, tais como, “o ar”, “a pressão do ar”, “o vento”, “a resistência do ar”, “a gravidade”, “o peso”, entre outros, como mostram as citações:

“Porque a cada lugar da mesa que ela para, o vento (pressão do ar) vai parando até para-la totalmente.”

“Porque há a resistência do ar.”

“Devido à gravidade exercida pela terra sobre o objeto.”

“A gravidade que atua.”

Ainda, naquelas justificativas que se relacionavam com o “ar”, afinamos a nomeação da subcategoria para CEsi_{ar} e naquelas que se relacionavam com a “gravidade” ou o peso, para CEsi_{gravidade}.

• Categoria CI (Causas Internas)

Esta categoria engloba um padrão de respostas, nas quais as justificativas para as alterações do estado de movimento do objeto em estudo, estão dentro deste (ou são a ele transmitidas), como “algo” nele existente ou transmitido (impulso, energia, força...) susceptível de se gastar com o tempo, isto é, as causas do movimento são internas ao objeto. As justificativas são do seguinte tipo:

“Porque a força que ela usou para entrar em movimento acabou.”

“Porque a força que foi exercida sobre a caixa foi enfraquecendo, assim faz com que a caixa pare.”

“Porque a força I (impulso) colocada nela acaba.”

“A força do peteleco acaba.”

“Ela vai perdendo a potência do peteleco que a faz mover, e assim o peso dos palitos vai impedindo de continuar em movimento.”

Como podemos observar, estes exemplos são eloquentes, não deixando margem para dúvidas sobre o modo de raciocínio utilizado: a força do “peteleco” é transmitida para o objeto, a caixa de fósforos; esta força, agora “da” caixa, vai sendo “gasta” e, quando “acaba”, a caixa pára.

Os estudantes usam também outros termos, para explicar o “algo” existente dentro do objeto, que, “gastando-se” o faz parar, tais como, impulso, força, potência, movimentação, velocidade...

Comparando com o quadro teórico sobre a teoria do *Impetus*, atrás esboçado, não podemos senão concluir que, no mínimo, as idéias expressas pelos estudantes utilizam-se de elementos explicativos similares aos desta teoria: o *impetus* que o projetor (o dedo que aplica a força através do peteleco) passa para o projétil (caixa de fósforos), consome-se e, então, o objeto volta ao seu estado de repouso.

Assim, é neste sentido que nos referimos aos modos de raciocínio dos alunos como “remanescentes” da teoria em questão, não nos interessando aqui questionar o valor destas idéias ou as suas origens atuais e passadas, mas simplesmente colocar em evidência a sua existência e a sua extraordinária persistência.

Viennot (1979a, 1996) interpreta este modo de raciocínio utilizando a idéia de “capitalização”: a causa do movimento, estocada no objeto sob a forma de um capital dinâmico indiferenciado, tem o papel de uma “provisão” susceptível de ser consumida, até esgotar-se.

Assim, segundo a pesquisadora, a noção desta “provisão” ou “suprimento” de força sendo “*fortemente relacionada com o movimento*” do objeto, tem a função de dar conta desse movimento e pode ser pensada como a força em um corpo que o mantém em movimento; ela é usada quando “*o movimento é dado, ou é fácil de ver ou imaginar, e quando o movimento parece incompatível com a (verdadeira) força resultante (porque o movimento é oposto à força, ou porque o movimento é nulo a despeito de uma força não nula, ou porque ele é não nulo a despeito de uma força nula*”.

Por outro lado, esta idéia tem conseqüências importantes na apreensão dos conceitos de força e movimento. Os diversos trabalhos de investigação nesta área (Salliel, 1978; Viennot, 1979a, 1979b; Ogborn, 1985; McClelland, 1985; Whitelock, 1991; Anjos, 1996) indicam que as grandes tendências das concepções dos estudantes sobre os conceitos de força e movimento concentram-se, entre outros, nos aspectos que destacamos a seguir:

- “Aderência” entre as noções de força e velocidade

Se um corpo se encontra em movimento, existe uma força na direção e sentido deste

²Todas as citações das respostas da população serão transcritas textualmente, podendo, eventualmente, existirem erros de ortografia.

movimento; conseqüentemente, se um corpo se encontra em repouso não existe força agindo sobre ele;

- *Atribuição da força ao objeto*

A força exercida **sobre** o objeto e a força **do** objeto fundem-se em uma única e mesma causa do movimento, ignorando-se “quem age sobre o que” e deslocando-se os pontos de aplicação das forças;

- *Movimentos intrínsecos*

Os movimentos dos objetos são definidos de maneira intrínseca (“absoluta”), a partir das causas dinâmicas que os originam. As velocidades (como as forças) existem por si só, independentemente dos referenciais. O movimento e a imobilidade são definidos intrinsecamente e não como um deslocamento em “relação a...”.

• **Categoria Co**

Esta categoria compreende as respostas em branco

(ausência de resposta).

• **Categoria Cs**

Nesta categoria foram incluídas as respostas sem classificação, pois não entravam na tipologia do conjunto majoritário das respostas e justificativas encontradas, ou incompreensíveis.

III.2. Resultados e Discussão

De forma geral, não se encontraram diferenças importantes entre as respostas dos estudantes, quer eles fossem do interior ou da capital, ou quer eles estudassem em escolas públicas ou particulares.

As respostas do conjunto da população foram classificadas, então, segundo as categorias e subcategorias descritas anteriormente, obtendo-se os seguintes resultados:

• **Item a**

Os resultados obtidos no item “a” da questão proposta encontram-se resumidos na Tabela 1.

Tabela 1: Conjunto de resultados obtidos no item a ³

Item	Categoria/ população	CEci atrito	CEsi		CI	Co	Cs
			gravidade	ar			
a	Grupo EF (%)	8,7	15,9	13,0	45,2	12,7	7,0
	Grupo EM (%)	12,1	9,0	12,9	49,2	11,2	5,6
	Grupo P (%)	90,0	8,7	8,7	0,0	0,0	0,0

³A soma dos percentuais da tabela pode ultrapassar os 100%, pois algumas respostas podem eventualmente ser classificadas, simultaneamente, em duas categorias: CEci_{atrito} e CEsi_{ar} ou CEsi_{gravidade} e CEsi_{ar}.

Como se pode observar a categoria CI (Causas Internas) ficou representada de forma importante nos dois grupos de alunos: 45,2% no grupo EF (estudantes do Ensino Fundamental - 8ª série) e 49,2% no grupo EM (estudantes do Ensino Médio - 1º ano).

Dentro desta categoria, para o grupo de estudantes EM, na maioria absoluta das respostas, a força do “peteleco” passa para a caixa e depois acaba; o grupo de estudantes EF, que ainda não estudou forças (e atrito), apresenta 20,0% das respostas associadas ao “peteleco” e 25,2%, associadas a outros termos, dos quais já falamos atrás (velocidade, movimentação ou impulso).

Observe-se, ainda, que a grande maioria dos estudantes não baseia as suas justificativas no conceito de atrito (CEci_{atrito}); embora o grupo EM apresente um pequeno acréscimo no número de respostas dentro desta categoria, em relação ao grupo EF, e um certo decréscimo, em relação ao mesmo grupo, na categoria de respostas baseadas na “gravidade” (CEsi_{gravidade}), estas variações não são suficientes para se concluir que houve uma evolução de um grupo para o outro, pois:

- as diferenças não podem ser consideradas importantes, frente à grande concentração de respostas, nos dois grupos, na categoria Causas Internas (CI);

- estamos limitados a uma única situação física, que se mostrou adequada para colocar em evidência um modo de raciocínio específico, mas que se mostra insuficiente para avaliar, só por ela, uma evolução para um conceito que se aproxime mais do conceito científico que está em causa nesta questão, o conceito de atrito.

Quanto aos professores, como era esperado, a enorme maioria justificou as suas respostas utilizando o conceito de atrito (CEci_{atrito}). Entretanto, observemos as respostas ao segundo item da questão, onde se pede para nomear as forças que estão agindo durante o movimento da caixa de fósforos.

• **Item b**

Tanto este item, como o seguinte, onde neste último se pede, ainda, para representar e identificar as forças que agem na caixa (supostamente nomeadas no item b), tinham como objetivo a confirmação (validação) ou infirmação dos resultados das análises do item “a” e a possibilidade de contribuição, para estas análises, de outros elementos.

Assim, não estamos, aqui, particularmente interessados em verificar se o conjunto da população, em geral, sabe ou não nomear, identificar ou representar correta-

mente as forças, dados os objetivos deste trabalho.

Tabela 2:

Os resultados deste item se encontram resumidos na

Tabela 2: Conjunto de resultados obtidos no item b

Item	Forças / População	Força de Atrito	Força do "Peteleco"	Força do "Ar"	Força Peso/ "Gravidade"	Força Normal
b	Grupo EF (%)	1,0	36,5	8,7	10,5	0,0
	Grupo EM (%)	14,5	34,6	6,5	8,1	0,0
	Grupo P (%)	100	30,5	8,7	74	82,6

Como podemos observar, a maior porcentagem das respostas dos estudantes fica por conta da força do "peteleco" agindo na caixa durante o movimento, resultados totalmente compatíveis com as tendências das justificativas do item "a", confirmando, assim, com bastante clareza, estas tendências majoritárias.

Assim, poucos alunos nomearam a força de atrito no grupo EM (14,5%) e quase nenhum do grupo EF (1%); note-se, ainda, que a ação da força normal está ausente nas respostas.

Entretanto, no que diz respeito aos professores, verificamos que se de um lado, a unanimidade deles nomeia a força de atrito como sendo uma das forças que age na caixa durante o movimento, confirmando as respostas do item "a", por outro lado constata-se que 30,5% desta população acrescenta a força do "peteleco", como sendo, também, uma força agindo no objeto durante o movimento.

Tal evidência parece indicar que para uma parte não negligenciável de professores, tal como para os alunos, se a caixa se movimentava numa dada direção e sentido, tem que existir uma força agindo nessa direção e sentido, que, neste caso, é a força do "peteleco".

Verificamos, ainda, que alguns professores "esqueceram-se" de nomear a força peso e a força normal, enquanto que os alunos, em geral, têm dificuldades para identificar as forças de contato (normal e força de atrito) como sendo forças que agem na caixa, resultados também compatíveis com o item "a".

Exporremos, em seguida os resultados encontrados no item c.

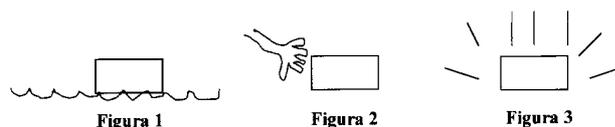
• Item c

Constatou-se, neste item, que:

- os estudantes do grupo EF, aparentemente, desconhecem como representar forças, pois a maioria absoluta não as representou. Portanto, 100% dos estudantes deste grupo, pertencem à categoria **Co** (ausência de resposta).

- 58% dos estudantes do grupo EM, fizeram algum tipo de representação das forças, sendo que 30% representaram a(s) força(s) usando uma "seta". A força de atrito foi representada por 15% dos estudantes, sendo que 2/3 destes representaram-na orientada verticalmente para baixo. Os 28% restantes utilizaram outras formas de representação, tais como as indicadas

na figuras que se seguem:



Figuras 1, 2 e 3: Representação das forças que atuam na caixa.

As curvas debaixo da caixa representam o atrito ou a "aspereza" (Fig. 1), a mão representa o peteleco (Fig. 2) e os traços por cima da caixa representam o ar ou a gravidade (Fig. 3).

Assim, sobram 42% de alunos deste grupo (EM) que não responderam a este item, sendo incluídos na categoria **Co** (ausência de resposta).

- Quanto aos professores, todas as forças nomeadas no item "b" se encontravam representadas, quase unanimemente, no item "c", com a utilização de "flechas", e isto inclui a representação da força do "peteleco" para os 30,5% dos professores que a nomearam no item "b".

Este fato, só vem confirmar as evidências atrás colocadas.

Assim, embora o conjunto das respostas dos professores no item "a", apresentem justificativas baseadas na categoria **CEci_{atrito}**, verificou-se que nos dois itens seguintes, 30,5% dos professores citaram e desenharam um vetor representando a força do "peteleco" durante o movimento, o que indica que esta força continua agindo na caixa. Desta forma, os professores utilizam a idéia de "causas internas" associada à categoria **CI**, idéia esta que parece conviver pacificamente com a idéia de "causas externas" associada à categoria **CEci_{atrito}**, o que é incompatível na ótica científica, mas, aparentemente, totalmente compatível para o senso comum.

Observamos, também, no conjunto das respostas de estudantes e professores aos itens propostos, que muitas das expressões utilizadas por esta população, reforçavam a idéia de que as forças são intrínsecas aos objetos, isto é, de que os objetos possuem "o atributo" força, como exemplificam as citações: "a força da caixa...", "a força que a caixa usou...", "a força do peteleco", "a força colocada na caixa..." a força

de atrito da calçada...”, “a força de atrito da caixa...”, etc.

Por outro lado, embora não seja o objetivo deste trabalho, não podemos deixar de comentar que, neste item, ficou claro que os alunos não sabem ou têm muitas dificuldades para representar forças. Algumas tentativas feitas por parte do grupo EM, mostraram que o modelo da representação vetorial das forças, não é nada evidente ou “natural” para os alunos. Assim, as forças são representadas a partir de desenhos de elementos concretos, tais como: a mão empurrando a caixa, representando a força do “peteleco” (Fig. 2) ou a superfície irregular sob a caixa, representando o atrito ou “aspereza” (Fig. 1).

II.3. Resumo dos resultados

Em resumo, classificando os resultados obtidos consoante os diferentes aspectos que eles assumem no contexto do estudo, isto é, aspectos genéricos, específicos e paralelos, constatamos que:

Estudantes

Aspectos genéricos

- De maneira geral, não foram encontradas diferenças importantes nas respostas dos estudantes de mesmo nível de ensino, sejam eles provenientes da cidade do interior ou do grande centro ou, ainda, de escolas públicas ou particulares.

- De maneira geral, de um nível de ensino para o subsequente, os resultados não indicaram uma evolução dos modos de raciocínio observados.

- As categorias e subcategorias de justificativas, nas quais o conjunto das respostas dos estudantes puderam ser agrupadas, encontravam-se presentes na população das diferentes escolas e nos dois níveis de ensino em que a população de estudantes abordada na pesquisa se distribuía.

Aspectos específicos

- Constatou-se uma forte tendência dos estudantes a apresentarem, muito clara e explicitamente, um modo de raciocínio baseado na teoria do *Impetus*, no qual as causas do movimento dos corpos são internas ao objeto ou são a ele transmitidas, funcionando como “algo” intrínseco ao objeto ou a ele transmitido (impulso, energia, força...), capaz de gastar-se com o tempo, até esgotar-se.

Este modo de raciocínio tem conseqüências consideráveis, como já foi apontado anteriormente, sendo freqüentemente reforçado pelo tipo de expressões utilizadas por vários alunos (Ex.: “a força da caixa...”).

Aspectos paralelos

- A grande dificuldade na representação vetorial das forças nos diagramas de forças, mostrou que este modelo não é “natural” e trivial para os estudantes, mesmo para aqueles que já haviam estudado formalmente o conceito de força e as leis de Newton.

Professores

Aspectos genéricos

- Apesar de se verificarem diferenças ou evoluções no padrão de respostas dos professores em relação às respostas dos alunos, constatou-se, simultaneamente, a presença significativa de modos de raciocínio semelhantes àqueles encontrados na população estudantil.

- As diferenças ou evoluções no conhecimento dos professores em relação àquele dos estudantes, não parecem constituir condições suficientes para que se de a ruptura com certos aspectos característicos do conhecimento de senso comum.

- A tipologia geral das respostas em que se enquadram os professores é semelhante à dos alunos.

Aspectos específicos

- Os modos de raciocínio baseados na teoria do *Impetus* manifestaram-se também nos professores, embora de forma diferente: enquanto que no discurso destes, a força interna ao objeto não era mencionada e nem aparecia como causa do movimento (o que aconteceu, no caso dos alunos), na identificação e na representação gráfica das forças ela estava presente de forma não desprezível.

Este fato mostra o quanto este modo de raciocínio é resistente, persistindo e convivendo, aparentemente sem muito conflito, com o conhecimento de ordem científica.

Por outro lado, reforçando a presença deste modo de raciocínio, as expressões, utilizadas pelos estudantes, que atribuem as forças aos objetos (Ex.: “a força do objeto...”) são também, não raras vezes, utilizadas pelos professores.

Aspectos paralelos

- Constatou-se, ainda, diferentemente do que foi observado nos alunos e como era esperado, que os professores não mostraram nenhuma dificuldade em utilizar a representação vetorial das forças nos diagramas de forças.

Entretanto, verificamos que tal como nos estudantes, embora em percentuais consideravelmente menores, algumas das forças que eram exercidas nos objetos em estudo foram simplesmente “esquecidas” pelos professores, tanto na identificação destas como na sua representação gráfica.

IV O questionário como ferramenta de trabalho em sala de aula

Como anteriormente descrito, este questionário foi também aplicado a professores que freqüentavam um curso de atualização para professores do Ensino Médio (Programa Pró-Ciências/Capes), após a abordagem, neste curso, de tópicos de mecânica Clássica onde foram

estudados os conceitos de força e movimento, seguindo um ensino convencional baseado no livro de Halliday, Resnick & Walker (1996).

Diante dos resultados obtidos pela análise dos questionários, partiu-se para a aplicação de uma outra metodologia de trabalho com os alunos - professores, utilizando-se o próprio questionário respondido por estes como instrumento de trabalho e apoiando-nos nos seguintes pressupostos:

- A necessidade apontada pela unanimidade dos pesquisadores da área de Ensino de Física de elaborar estratégias, apoiadas em resultados de pesquisas desta área, de forma a tornar o conhecimento de senso comum mais próximo do conhecimento científico;

- Contribuir para que o conhecimento gerado pela pesquisa em Ensino de Física se torne acessível aos professores e possa por eles ser aplicado, eterno e sempre difícil problema para os pesquisadores;

- O consenso entre vários pesquisadores da área, da importância de que o aprendiz tome consciência dos seus próprios modos de raciocínio, para poder compará-los com aqueles cientificamente aceitos e se dar conta das diferenças entre eles. A este propósito, e sobre o tema aqui tratado, Viennot (1979b) é bastante clara, quando coloca que para superar os modos de raciocínio de senso comum é necessário um esforço maior no ensino, o qual tem que ir além do ensino convencional apoiado somente sobre, o que ela chama, de “esquema Newtoniano”.

Neste sentido, dado que os resultados das inúmeras pesquisas na área de concepções de senso comum e modos de raciocínio apontam, em consenso, para a existência de uma convivência sem muito conflito entre o conhecimento de senso comum e o científico, concordamos com a pesquisadora, senão de uma forma tão categórica, mas, pelo menos, como uma das vias mais coerentes, quando ela afirma que tal esforço só “*será completamente efetivo quando os estudantes são levados a ver as discrepâncias entre*” o “*esquema Newtoniano*” e as suas próprias idéias.

Assim, adotando esta via, e por meio de ferramentas simples, como aliás Viennot também sempre preconiza, a fim de que elas pudessem ser facilmente reproduzíveis e aplicáveis pela população de professores do estudo, as etapas de trabalho em sala de aula podem ser resumidas da seguinte forma:

1. Preparou-se e distribuiu-se um texto simples sobre os conceitos de força e movimento, desde Aristóteles até Newton (similar ao breve histórico descrito no item II) e pediu-se à população para estudá-lo, pois iríamos trabalhar com ele na aula seguinte.

2. Na aula seguinte (3 horas, com um intervalo de

15 minutos ao fim de 1 hora e meia), começou-se por expor os resultados dos questionários, por intermédio de transparências, explicando-se a metodologia da análise qualitativa aplicada e que justificava as categorias em que as respostas puderam ser divididas. Nesta fase, intencionalmente, não se sublinhou ou discutiu o que era ou não incorreto, do ponto de vista científico.

3. Em seguida, após o intervalo da aula, retomou-se o texto histórico e por meio de uma análise/discussão das principais idéias veiculadas neste, foram identificadas/discutidas as similaridades/diferenças entre as categorias de respostas e estas idéias. Nesta fase, a discussão colocou já em evidência os dois tipos de modos de raciocínio presentes e permitiu a reflexão dos “como” e dos “porque” de um e de outro.

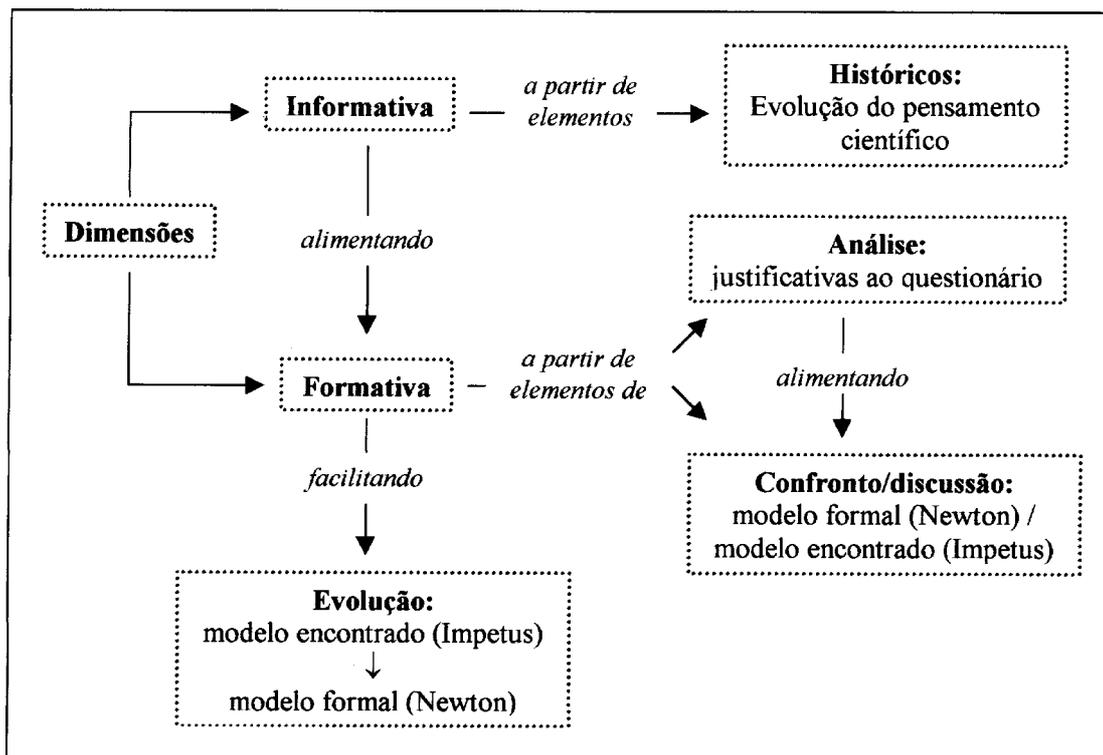
4. Na segunda aula (primeira hora e meia), a população foi dividida em 5 grupos de trabalho e distribuíram-se aleatoriamente pelos grupos os questionários respondidos (no caso, 3 grupos ficaram com 5 questionários e outros dois com 4), a fim de que os grupos analisassem as respostas às questões e as classificassem dentro das categorias de análise discutidas na aula anterior. Como os questionários estavam numerados, estes eram identificados pelos números dentro das categorias e anotados pelo grupo. Procedeu-se, em seguida, a um rodízio de questionários entre os grupos, de tal forma que as respostas de todos foram classificadas por todos os grupos.

5. No segundo tempo da aula, as classificações das respostas pelos grupos foram facilmente comparadas, já que numeradas, e as discrepâncias discutidas, até se chegar a um acordo.

6. Para finalizar, os últimos 15 a 20 minutos de aula ficaram reservados para a retomada e conclusão dos principais pontos discutidos, ficando cada aluno com a tarefa de trazer por escrito, na aula seguinte, um resumo das suas próprias conclusões, focando dois pontos: o ponto de vista científico e o ponto de vista das atividades desenvolvidas.

Por outro lado, os elementos históricos introduzidos na metodologia de trabalho adotada, proporcionam de um lado, uma dimensão informativa importante no processo e, de outro lado, alimentam a dimensão formativa por meio da participação da população envolvida na análise qualitativa das suas próprias justificativas ao questionário, o que, por sua vez, vai alimentar o confronto entre o modelo formal (Newtoniano) e o modelo “estudantil” encontrado (*Impetus*), com vistas a facilitar a evolução conceitual, conforme esquematizado no Quadro 1:

Quadro 1: Dimensões do trabalho em sala de aula



A introdução dos elementos históricos na metodologia de trabalho não significa que sustentemos a “tese simplista de um paralelismo estrito entre o desenvolvimento do indivíduo (ontogênese) e da espécie (filogênese)” (Viennot, 1996), mas constituiu, no mínimo, um meio de colocar em evidência como e quanto “os traços dos modos de raciocínio aqui analisados se impõem ao espírito dos homens em busca de compreensão do mundo” (Saltiel & Viennot, 1985).

Os resumos encomendados aos professores (item 6 das “etapas de trabalho”) indicaram, em geral, a satisfação com o processo desenvolvido, salientando-se os seguintes aspectos: o papel ativo dentro do processo, a introdução dos elementos históricos associados à compreensão dos modos de raciocínio, ambos os conteúdos desconhecidos pela totalidade da população, análise e não “correção” dos questionários, isto é, busca dos modos de raciocínio presentes e, não, corrigir o “certo” e o “errado” e aprendizagem de novos parâmetros e ferramentas de trabalho susceptíveis de serem por eles aplicadas com os seus alunos.

Na nossa avaliação, dada a população envolvida, um dos aspectos importantes do trabalho desenvolvido foi realmente proporcionar a aproximação entre a visão do pesquisador e a do professor e tornar acessível um pouco do que aquele faz.

V Conclusão

Este estudo permitiu trazer à tona dificuldades ligadas aos conceitos de força e movimento, tanto de alunos quanto de professores do Ensino Fundamental e Médio, provenientes das redes de ensino pública e particular do estado do ES.

Assim, estas dificuldades foram colocadas em evidência pela forte presença de modos de raciocínio baseados na teoria do *Impetus*, onde a força residindo no objeto e a ele interna, constitui um “capital” susceptível de gastar-se com o tempo, até esgotar-se.

Este modo de raciocínio explicitou-se, com transparência, no discurso apresentado nas justificativas da população estudantil, o qual se articula, de forma consistente, com as identificações e representações gráficas das forças que agiam nos objetos em estudo e nas formas de expressão do conteúdo utilizadas por esta população e, também, pela população de professores.

Algumas das conseqüências deste raciocínio comum são, em geral, bem conhecidas dos pesquisadores em Ensino de Física e certamente familiares a muitos professores de Física como, por exemplo, a idéia, já anteriormente mencionada, de que para existir movimento seria necessário existir uma força na direção e sentido

desse movimento e, conseqüentemente, o repouso indicaria ausência de forças.

Por outro lado, o quadro teórico inicial e brevemente esboçado sobre o desenvolvimento do pensamento científico no campo estudado, mostrando indiretamente os obstáculos ou dificuldades enfrentados pelos nossos antepassados, não significa que partilhemos da idéia de que exista um paralelo estrito entre determinados modos de raciocínio dos atuais aprendizes, e aqueles desta ou daquela teoria específica de uma dada época histórica. Efetivamente, parafraseando Saltiel (1992), ao mesmo tempo que se encontram várias semelhanças, também se encontram muitas divergências.

Assim, ainda concordando com Saltiel (1992),

“ Parece pouco razoável afirmar que o pensamento do aprendiz se transforma e evolui seguindo um percurso histórico. Neste contexto, o interesse de atribuir uma etiqueta ‘histórica’ nos parece limitado, pois esta etiqueta não dá conta do conjunto dos modos de raciocínio estudantis.”

Entretanto, conhecer e reconhecer que certos obstáculos com que se depararam os nossos antepassados são da mesma natureza daqueles com que os aprendizes atualmente se defrontam, nos permite melhor compreender a sua resistência e persistência perante o ensino formal e só poderá contribuir para ajudar os professores nas suas escolhas pedagógicas.

Neste contexto, do nosso estudo sobressai um aspecto que nos parece bastante importante considerar nas escolhas pedagógicas a serem feitas e que consiste, basicamente, na seguinte recomendação geral: evitar, a todo o custo, que a força exercida **pelo** objeto e a força **do** objeto se fundam numa única e mesma causa do movimento.

Como conseqüência, o hábito de se definir, identificar e representar em diagramas de corpo livre, sempre e sistematicamente, nas diferentes situações físicas propostas aos estudantes, “o que é que age sobre o que”, parece ser um dos caminhos que os professores não podem se omitir de percorrer.

Reforçando este aspecto, parece-nos também importante chamar a atenção para a questão, muitas vezes menosprezada ou pouco levada em conta, do rigor necessário na utilização de uma linguagem adequada para exprimir um determinado conteúdo.

“Resvalar” nas formas de expressão do conteúdo pode não significar uma mera distração e pode, muitas vezes, contribuir para reforçar um determinado modo de raciocínio ou concepção.

No âmbito do presente estudo, por exemplo, a expressão “a força **que** o objeto **A** **exerce sobre** o objeto **B**”, quantas vezes é “simplificada” ou “reduzida”, sem o menor problema ou crítica, por estudantes, professores e livros didáticos, e substituída por “a força **do** objeto **B**” ou “a força **do** objeto **A** sobre **B**”?

Numa outra perspectiva, a aplicação deste questionário simples revelou-se um instrumento de trabalho adequado e muito rico no curso de atualização de professores, pois a partir dele e em função das respostas obtidas foi possível discutir-se o problema em cima das efetivas dificuldades apresentadas pela população, chamar a atenção para a questão da linguagem utilizada nas justificativas, enfocar as similaridades históricas dos tipos de modos de raciocínio encontrados e suas conseqüências.

Da mesma forma, o estudo indica que o questionário proposto também pode ser bastante útil para os professores do Ensino Fundamental e Médio trabalharem esta questão em sala de aula com os seus alunos, dada a sua simplicidade, ficando a adequação da metodologia a ser desenvolvida e o nível de profundidade a ser discutido por conta do nível de ensino abordado e das opções pedagógicas efetuadas.

Para concluir, a metodologia de trabalho desenvolvida com os professores, dando a estes acesso a elementos de conhecimento específicos da área de pesquisa em Ensino de Física e a eles abrindo a possibilidade de trabalharem com estes elementos, permitiu uma real aproximação entre o mundo da atividade do professor e aquele da pesquisa.

Referências

- ANJOS A.J.S., 1996. Concepções intuitivas dos alunos: um estudo a partir da relação força e movimento. In: *V Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, 2 a 6 de setembro, Águas de Lindóia, São Paulo. Anais..., pp. 409-417.
- BAPTISTA J.P. & FERRACIOLI L., 1999. “A evolução do pensamento sobre o conceito de movimento”. *Rev. Bras. de Ens. de Física*. **21**(1): 189-194.
- CUNHA A.L., 2000. *Atrito e senso comum: estudo exploratório com estudantes da 8ª série, professores e análise de livros didáticos*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.
- HALLIDAY D., RESNICK R. & WALKER J., 1996. *Fundamentos de Física: Mecânica*, volume 1. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro.
- KOYRE A., 1966. *Études Galiléennes*. Hermann, Paris.
- KOYRE A., 1968. *Études Newtoniennes*. Gallimard, Paris.
- McCLELLAND D.A.G., 1985. Misconceptions in mechanics and how avoid them. *Physics Education*. **20**(4): 159-162.
- MORAES A.M. & MORAES I. M., 2000. A avaliação conceitual de força e movimento. *Rev. Bras. de Ens. de Física*. **22**(2): 232-246.
- OGBORN J., 1985. Understanding students' understandings: an example from dynamics. *European Journal of Science Education*. **7**(2): 141-150.

- SALTIEL E., 1978. *Concepts cinématiques et raisonnements naturels: étude de la compréhension des changements de référentiels galiléens par les étudiants en sciences*. Tese de doutorado de estado, Université Paris 7.
- SALTIEL E. & VIENNOT L., 1985. What do we learn from similarities between historical ideas and the spontaneous reasoning of students? In: The many faces of teaching and learning mechanics. Lijnse, P. ed., GIREP/SVO/UNESCO, 199-214.
- SALTIEL E., 1992. De l'intérêt de la didactique de la physique et de l'histoire de la physique dans la formation des enseignants. Conferência in: Jornada de Estudos Anuais da Sociedade de História das Ciências e da Técnica, Março, Paris.
- WHITELOCK D., 1991. Investigating a model of common sense thinking about cause of motion with 7 to 16 years old pupils. *International Journal of Science Education*. **13** (3): 321-340.
- VIENNOT L., 1979a. *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Hermann, Paris.
- VIENNOT L., 1979b. *Spontaneous reasoning in Elementary Dynamics*. *European Journal of Science Education*. **1** (2): 205-221.
- VIENNOT L., 1996. *Raisonnement en physique: la part du sens commun*. De Boeck & Larcier, Paris.