

Sentido das Forças de Atrito e Movimento - II uma Análise dos Livros Utilizados no Ensino Superior Brasileiro

(Frictional forces sense and motion: an analysis of the books used in Brazilian higher education)

Helena Caldas* e Edith Saltiel**

**Departamento de Física - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)*
Goiabeiras: Av. Fernando Ferrari, s/no; 29.060-900, Vitória - E.S.- Brasil

E-mail: helenac@npd.ufes.br

***Laboratoire de Didactique de la Physique dans l'Enseignement Supérieur (LDPES)*

Université Denis Diderot - Paris 7 - case courrier 7086 - 2, Place Jussieu

75.251 Paris Cedex 05 - France; E-mail: esaltiel@ccr.jussieu.fr

Recebido em 10 de Novembro, 1998

Tendo em vista as dificuldades e as idéias apresentadas pelos alunos, quando do estudo das leis do atrito sólido seco entre superfícies em contato, este trabalho se propõe a fazer uma análise deste conteúdo, nos livros mais utilizados no ensino superior brasileiro, no que se refere, especificamente, ao sentido atribuído às forças de atrito. A metodologia utilizada nesta análise procura verificar, se o que é abordado e a maneira como é tratado e desenvolvido o conteúdo, contribui para que as dificuldades dos alunos sobrevivam e as suas idéias sejam reforçadas ou se permite que as mesmas sejam colocadas em questão.

Considering the difficulties and the ideas presented by students about the dry solid friction laws between surfaces in contact, this work intends to analyse this content, concerning specifically the direction attributed to the frictional forces, in the books most used in Brazilian higher education. The methodology used in this analysis tries to verify if the approach, and the way the content is worked and developed, contributes so that the students' difficulties survive and their ideas are reinforced or if it allows them to question.

I Introdução

Em artigo anterior (Caldas e Saltiel 1999), discutiu-se, sob o ponto de vista da Física, o status habitualmente atribuído ao sentido das forças de atrito sólido seco (considerando os sólidos indeformáveis), a partir das dificuldades e das idéias dos alunos evidenciadas por trabalhos desenvolvidos nesta área (Caldas e Saltiel 1995, 1999).

Em resumo, estes trabalhos desenvolvidos com estudantes e professores de diferentes países (Brasil, Espanha, França, Itália e Portugal) mostraram que, para uma ampla maioria, as forças de atrito cinético e estático, são definidas, **sempre**, como forças opostas ao "movimento" ou à tendência do "movimento", movimento este, que **nunca** leva em conta o *movimento relativo* das superfícies em contato (caso do atrito cinético) ou o *eventual movimento relativo* destas superfícies,

que se produziria na *ausência de atrito* (caso do atrito estático).

Este modelo do atrito traz como conseqüência a impossibilidade de "ver" este fenômeno como capaz de desenvolver o papel de "**motor**" do movimento, cujas forças, portanto, podem ter o mesmo sentido do movimento num dado referencial e serem, para esse referencial, as forças responsáveis pelo movimento do corpo em estudo.

Como desdobramento desse modelo, as forças de atrito estático passam a ter um sentido "fixo", comportando-se como as forças de atrito cinético, no aspecto em que não é admitida a possibilidade do sentido daquelas ajustar-se e adaptar-se às condições dinâmicas dadas, dependendo exclusivamente das forças e torques aplicados, não sendo, pois, conhecido a priori. Desta forma, o sentido das forças de atrito estático passa a depender do sentido dos "movimentos" dados (a eles se

sempre se opondo), não sendo portanto possível que ele varie, se o sentido do “movimento” não variar.

Este modelo não permite, assim, explicações consistentes sob o ponto de vista da Física, para inúmeras situações do quotidiano, tais como o caminhar, o andar de bicicleta, o avançar de um carro (e tantas outras!) ou para situações menos quotidianas, como aquelas de dois ou mais corpos (uns em cima dos outros), que se transladam uns em relação aos outros, ou como aquelas de rolamento sem escorregamento no qual uma força externa constante é aplicada (Caldas e Saltiel 1999).

Dada esta problemática, parece que a análise dos livros mais utilizados no ensino superior brasileiro, quer como livros texto, quer como livros complementares, revela-se pertinente, pois parece indiscutível que os mesmos têm um papel bastante importante no ensino, principalmente quando se trata do 3^o grau. Os cursos básicos são construídos, evidentemente, com base nos livros e, na grande maioria das vezes no Brasil, os alunos e professores trabalham em cima de um único livro texto, com, eventualmente, alguma bibliografia auxiliar.

Assim, espera-se mostrar que, no geral, os livros contribuem para a manutenção do modelo “estudantil” sobre o fenômeno do atrito atrás descrito, quando não o reforçam, e que, dificilmente, permitem que o leitor aprendiz o coloque em questão.

II Metodologia de análise

Analisar livros pode ter objetivos muito diferentes, entre eles:

- Ajudar o professor a escolher um livro texto para os seus alunos. Este tipo de análise centra-se mais sobre a apresentação, a forma e, por vezes, a metodologia, que sobre o fundo.
- Interesse nos conteúdos do conhecimento e nas suas formas de expressão, procurando o significado que pode ter esta produção para um aprendiz.
- Verificar se o que é tratado e a maneira como é tratado e desenvolvido o conteúdo permite, ou não, que as dificuldades mostradas pelos alunos sobrevivam ou sejam colocadas em questão ou, ainda, sejam reforçadas (Caldas 1994).

Foi esta última ótica, a escolhida. Ela diferencia-se das outras duas, pois o corpo a analisar é recortado em diferentes rubricas, definidas, exclusivamente, a partir das dificuldades manifestadas pelos estudantes. No caso presente, o corpo a analisar se refere ao fenômeno do

atrito, especificamente, na categoria que tange o sentido atribuído às forças de atrito.

As dificuldades percebidas nos alunos permitem definir claramente o que se procura, interessando, não só, as formas de expressão do conteúdo, mas também, como este conteúdo é articulado. No total, foram analisados 7 livros¹ e, no que respeita à rubrica que concerne o sentido da força de atrito cinético e estático, foram estudados os seguintes pontos precisos, nos capítulos ou itens de capítulos referentes ao estudo do atrito e suas leis:

- Como o sentido destas forças é definido?
- Que tipo de exemplos, ao longo do texto, são escolhidos para ilustrar o sentido das forças?
- Como o texto, as figuras e os exemplos escolhidos se completam?
- Que tipo de exercícios resolvidos são propostos? Como se articulam com a teoria?
- Como se completam os capítulos reservados ao trabalho e/ou à energia mecânica e/ou ao movimento de rolamento sem escorregamento com aquele(s) reservado(s) às leis do atrito?

III O que dizem os livros?

Abordaremos, primeiro, os capítulos ou itens de capítulos reservados, nos livros, ao estudo do atrito e suas leis, para em seguida abordarmos aqueles itens reservados ao trabalho e/ou à energia mecânica e/ou ao movimento de rolamento sem escorregamento.

III.1. Caso do escorregamento (atrito cinético)

Podemos dividir os livros analisados em três categorias:

Categoria A₁

Para os livros desta categoria² a força de atrito cinético sempre se opõe ao movimento, ou ao escorregamento do sólido em estudo; a definição desta propriedade é sempre acompanhada de um exemplo e/ou de uma figura aonde o sólido se movimenta sobre uma superfície fixa.

Nenhum dos livros **nunca** menciona que o sentido da força de atrito é ligado ao movimento relativo de escorregamento das superfícies em contato e nem discute que esta força, eventualmente, pode ter o mesmo sentido do “movimento”.

Em todos os exemplos ou exercícios ilustrativos, os corpos **sempre** se movimentam em relação a uma su-

¹ Anexo (As referências bibliográficas dos livros analisados, foram colocados em “Anexo”, para melhor distinguir-se da bibliografia geral utilizada.)

² Anexo: [4], [5] e [7].

perfície fixa: em todos os diagramas e representações de forças, a força de atrito cinética aparece sempre representada somente no objeto em estudo (nunca também sobre a superfície sobre a qual o objeto repousa) e, esta força única, evidentemente, tem sempre o sentido oposto ao movimento do objeto.

Podemos, por exemplo, ler no Tipler [7], pp.153, referindo-se a um bloco sobre uma mesa horizontal e sobre o qual age uma força horizontal:

*“Quando empurramos o bloco sobre a mesa com suficiente força, o atrito não pode impedir o seu movimento. Então, à medida que o bloco escorrega sobre a superfície, formam-se e rompem-se, continuamente, ligações entre as moléculas; e pequenos pedaços de superfície são quebrados. O resultado é o aparecimento de uma força que se opõe ao movimento - a força de atrito cinético”.*³

No Mckelvey e Grotch [4], pp.49, inicia-se o item “Forças de Atrito e Coeficiente de Atrito”, por:

“No estudo da Mecânica, nós sempre encontraremos forças que surgem por causa da resistência de atrito ao movimento na interface entre dois corpos que estão em contato”.

Mais adiante, o autor escreve (pp.51 e 52):

“No caso do atrito cinético, no qual o objeto não está em repouso mas está deslizando sobre a superfície de suporte, a força de atrito atua sobre o objeto que desliza no plano da interface de atrito, em sentido oposto àquele do seu movimento.”

Comentários: Assim, como **toda** a exposição teórica, definições, figuras, diagramas, exemplos e exercícios resolvidos referem-se somente ao caso **particular** de objetos deslocando-se sobre superfícies fixas, **sem que tal fato ou tal opção seja sublinhada**, qualquer aprendiz é levado a pensar que a força de atrito cinético deverá sempre opor-se ao “movimento” dos corpos, movimento esse que é o movimento “dado” (aquele que “aparece”), e não, o movimento de uma superfície de contato em relação à outra.

Categoria A₂

Nesta categoria encontram-se os livros⁴ aonde reina uma certa ambigüidade.

Efetivamente, nestes livros, os autores mencionam que o atrito relaciona-se com o movimento relativo das superfícies de contato dos corpos, para em seguida afirmar que a força de atrito opõe-se ao “movimento”, sem nenhuma referência a este movimento relativo [1] ou estabelecem este relacionamento através de definições complicadas, dir-se-ia mesmo, dificilmente compreensíveis para qualquer aprendiz,

sem qualquer explicação adicional, figura ou exemplo que pudessem “traduzir” ou tornar mais acessíveis tais definições [3 e 4].

Tal como na categoria anterior, apesar das referências, nos livros desta categoria, ao movimento relativo das superfícies de contato dos corpos, **nenhum** dos livros também **nunca** menciona que a força de atrito, eventualmente, pode desempenhar o papel de “força motriz” e **em todos** os exemplos ou exercícios ilustrativos, os corpos **sempre** se movimentam em relação a uma superfície fixa: em todos os diagramas e representações de forças, a força de atrito cinética aparece sempre representada somente no objeto em estudo (nunca também sobre a superfície sobre a qual o objeto repousa) e, esta força única, evidentemente, tem sempre o sentido oposto ao movimento do objeto.

Deixamos o leitor refletir nos exemplos que se seguem.

No Alonso e Finn [1], pp. 160, no item “Forças de atrito”, os autores falam do atrito em geral, sem distinguir de início, qual é o estático e o cinético. Pode-se ler, logo no começo:

“Sempre que dois objetos estão em contato, como no caso de um livro em repouso sobre uma mesa, existe uma resistência opondo-se ao movimento relativo dos dois corpos. Suponha, por exemplo, que empurramos o livro ao longo da mesa, comunicando-lhe assim uma velocidade. Depois que o largamos, ele diminui de velocidade e acaba por parar. Essa perda de quantidade de movimento indica que uma força opõe-se ao movimento, força essa chamada de atrito de escorregamento”.

Mais adiante, na mesma página, encontramos:

$$“F_f = \text{atrito de escorregamento} = fN$$

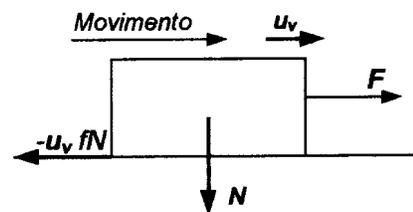


Figura 7-10: A força de atrito opõe-se ao movimento e depende da força normal.

“A força de atrito de deslizamento opõe-se sempre ao movimento do corpo tendo assim a direção oposta à velocidade.”

Uma observação faz-se necessária, na afirmação feita no primeiro parágrafo da citação acima: é estranho os autores fazerem tal afirmação, pois se o livro está em

³ Daqui em diante, os grifos nas citações não são dos autores. Quando, eventualmente forem, será citado.

⁴ Anexo: [1], [2] e [3].

repouso em cima da mesa, como pode existir “uma **resistência**, e ainda, esta “resistência” opor-se ao “**movimento relativo** dos dois corpos” ?

No Halliday e Resnick [3], pp. 97, temos, na parte inicial do capítulo:

“Neste capítulo, cuidaremos bastante da força de atrito que existe entre as superfícies sólidas secas, movendo-se umas em relação às outras com velocidades relativamente baixas. Considere dois experimentos”.

Observe-se que os dois experimentos que se seguem, tratam do movimento de um corpo sobre uma superfície fixa.

Mais na frente, no item “As Leis do Atrito” (pp.99), define-se:

“Para o caso cinético, a direção da força de atrito em um dado corpo é sempre na direção da velocidade relativa da superfície oposta”. [1]

Adiante, em “Força de Arraste e Velocidade Terminal” (pp.101), os autores dizem:

“Se um corpo se move em um fluido, como ar ou água, a força de arraste, semelhante à força de atrito, tende a retardar o movimento.”

No livro de Eisberg e Lerner [2], pp.187:

“Do ponto de vista de seus efeitos, as forças de atrito que atuam entre dois objetos sempre fazem a mesma coisa - e elas resistem a qualquer tentativa de colocar um objeto em movimento em relação ao outro e tendem a retardar o movimento, uma vez que os objetos estejam se movendo uns em relação aos outros. Assim, elas são sempre dirigidas “para trás”⁵.”

Posteriormente, pode-se ler, ainda na mesma página:

“... o sentido da força de atrito que atua sobre um objeto depende do sentido da velocidade que ele teria caso se movesse, ou realmente tem se estiver se movendo, uma vez que o atrito sempre se opõe ao movimento relativo.”

E na página 189:

“Como é sempre verdadeiro para uma força de atrito, o sentido da força de atrito de contato cinético exercida por um objeto sobre o outro é contrário ao sentido do movimento relativo a que ela se opõe.” [2]

Comentários:

Esta categoria não se diferencia tanto da anterior, pois a questão não está, somente, nas definições mais ou menos ambíguas ou complicadas. A questão está, também e principalmente, no seguinte fato: esses conteúdos não são trabalhados, nem explorados, na perspectiva em que foram apresentados. Efetivamente, no decorrer da exposição, todos os exemplos, discussões, diagramas de forças, figuras e exercícios resolvidos são da mesma natureza daqueles da categoria

anterior: os corpos movimentam-se sempre sobre uma superfície fixa, e, o tal do “movimento relativo das superfícies”, esvazia-se e perde o seu significado.

Convidaria o leitor a fazer um pequeno teste, quanto à definições (1) e (2), que, embora possa não parecer à primeira vista, estão corretas: apresentar estas definições a alunos e professores e, avaliar por si mesmo, o coeficiente de “acessibilidade” que elas possuem.

Categoria A₃

Nesta categoria⁶, o sentido atribuído à força de atrito é definido sem ambigüidade, enfocando a oposição desta força ao movimento relativo de escorregamento do corpo. Entretanto, tal como nas outras categorias, o resto da exposição teórica e exemplos não explora esta definição, a não ser para corpos que se movem sempre sobre uma superfície fixa.

Senão, vejamos no Sears, Zemansky e Young [6], pp. 35:

“Sempre que a superfície de um corpo desliza sobre o outro, cada⁷ corpo exerce uma força de atrito sobre o outro, paralela às superfícies. A força sobre⁸ cada corpo é oposta à direção de seu movimento relativo ao outro. Assim, quando um bloco desliza da esquerda para a direita sobre a superfície de uma mesa, uma força de atrito para esquerda atua no bloco e uma força igual, para a direita, atua na mesa”. Forças de atrito podem atuar mesmo quando não há movimento relativo.”

Comentário geral

Em conclusão, apesar das diferenças que existem nos livros, constatamos que, qualquer que seja a maneira através da qual é definido o sentido da força de atrito cinético (oposto ao movimento do sólido estudado ou ao seu movimento relativo de escorregamento), as figuras, exemplos e discussões se referem sempre ao estudo do mesmo tipo de situações físicas: um corpo que se movimenta sobre uma superfície fixa.

Assim, seja qual for a definição, a força de atrito opõe-se, **na prática**, ao movimento (o único) que o sólido possui, uma vez que a velocidade relativa de escorregamento das superfícies de contato, é igual àquela do sólido estudado em relação à superfície (sempre fixa) sobre a qual ele repousa: a exposição teórica e os exemplos escolhidos, não tratam **jamais** de situações físicas, aonde possa existir uma força de atrito que não seja contrária ao “movimento”, capaz, portanto, de desempenhar o papel de força “motriz” para o sólido e movimento estudados (seria, além de tudo, uma ótima oportunidade para se rever a questão dos referenciais e do movimento relativo, que tantas dúvidas suscitam!).

⁵ Aspas dos autores.

⁶ Anexo:[6].

⁷ “cada” est destacado em itálico, no texto original.

Desta forma, como poderia o leitor aprendiz colocar em questão que “a força de atrito sempre se opõe ao movimento”?

III.2. Caso do não escorregamento (atrito estático)

Neste caso, todos os livros analisados trabalham as leis do atrito estático de maneira bastante similar, nos itens ou capítulos que tratam especificamente deste conteúdo.

Entretanto, destaca-se o Nussenzveig ([5]), que, embora fora do item reservado ao atrito, aborda questões e promove discussões, totalmente ausentes nos outros livros: estas particularidades serão evidenciadas mais adiante.

Assim, apresentam-se em seguida, os pontos que os autores, em geral, escolheram abordar (ou não abordar) quando falam do sentido atribuído às forças de atrito estático.

Enquanto que no caso do atrito cinético, de uma forma geral, os autores definem especificamente o sentido da força de atrito correspondente, no caso do atrito estático o sentido desta força, excepcionalmente, é especificamente definido.

Entretanto, o desenvolvimento teórico, acompanhado de exemplos e figuras, sugere de forma mais ou menos clara, consoante os livros, que o sentido da força de atrito estático relaciona-se com a força externa aplicada (ou com a resultante) que poderá produzir o movimento, a ela se opondo, por “contrabalanço” (equilíbrio do sistema).

Na prática, isto também implica que a força de atrito se opõe à “tendência do movimento” (expressão muito usada nos livros do 2º grau), pois os exemplos que acompanham a exposição teórica, são, quase que invariavelmente, os mesmos: um bloco que repousa sobre uma superfície horizontal fixa; sobre o bloco atua uma força externa que vai aumentando de intensidade, até que o corpo se coloca em movimento. Seguem-se alguns extratos para ilustrar:

No McKelvey e Grotch [4], pp.51:

“No caso do atrito estático já que o corpo está em equilíbrio, a soma de todas as forças sobre ele deve ser igual a zero. Isto significa que a força de atrito deve ser igual em módulo e direção e oposta em sentido em relação à resultante de todas as outras forças que atuam no objeto.”

Mais adiante, na mesma página:

“Em qualquer situação onde as forças de atrito estático atuam, a condição do sistema é de equilíbrio, no qual as forças que atuam, incluindo⁹ a força de atrito estático, são determinadas pela aplicação usual da primeira lei de Newton.”

No Halliday e Resnick [3], pp.97e 98:

Falando sobre um engradado, que, ao ser empurrado horizontalmente por uma força constante, não se move, os autores colocam:

“Isto acontece porque a força aplicada foi contrabalançada pela força de atrito.... é interessante notar que a força de atrito ajusta-se, tanto na intensidade quanto na direção, de modo a cancelar, exatamente, qualquer esforço que se decida aplicar. Naturalmente que se empurrarmos com muita força...”

No Tipler [7], pp.153, falando sobre a força de atrito estático máxima, pode-se ler:

“Quando a força horizontal que exercemos sobre o bloco é menor que esta força máxima, o atrito equilibra o esforço que fazemos.”

Comentários:

Dado o **quadro restritivo** (movimento de translação pura de um único objeto sobre uma superfície fixa) no qual são estudadas as forças de atrito, a evolução teórica, figuras e exemplos deixam crer, quando não o dizem claramente, que o sentido das forças de atrito estático está sempre ligado e sempre se opõe àquele da resultante de forças aplicadas, uma vez que a “compensa”.

Somente com esta abordagem, fica certamente difícil para um aprendiz imaginar que a força de atrito estático possa perfeitamente desempenhar o papel de força “motriz”, ou que ela possa mudar de sentido sem que o sentido da força aplicada varie ou mesmo compreender que esta força pode estar associada, tanto a situações de equilíbrio, como de não equilíbrio.

Senão, como explicar a presença de uma força de atrito estático no caminhar, no andar de bicicleta, no avançar de um carro, no movimento solidário de dois blocos, colocados um em cima do outro, quando se aplica uma força horizontal constante num deles e em tantas outras situações físicas e do cotidiano?

Especificamente sobre este último ponto, podemos ver nas citações abaixo como alguns autores associam explicitamente o atrito estático a situações de repouso (equilíbrio) em contraponto ao atrito cinético associado a situações de movimento (não equilíbrio + movimento com velocidade constante):

No Halliday e Resnick [3], pp. 98:

“...a força de atrito cinético (associada ao movimento) é, em geral, menor que o valor máximo da força de atrito estático, que atua quando não há movimento”.

No McKelvey e Grotch [4], pp.51, referindo-se à força de atrito o autor diz:

“A maneira pela qual esta força age depende do corpo estar em repouso (atrito estático) ou deslizando sobre a superfície abaixo dele (atrito cinético)”.

“Repouso”, não! Repouso relativo, do ponto de vista do (não) escorregamento, sim!

⁹ “incluindo” está destacado em itálico no texto original.

Quando não há “movimento”, não! Quando não há movimento relativo de escorregamento entre as superfícies em contato, sim!

Por outro lado, ressalta-se que **nunca** é abordado o caráter de “adaptabilidade” ou de “ajustamento” das forças de atrito estático, que não se ajustam só em módulo, mas também em sentido, e que é uma das características importantes que as diferenciam das forças de atrito cinético.

Senão, como compreender, que para uma mesma superfície de contato e para um mesmo movimento (e, até, para uma mesma força aplicada, em intensidade e sentido) o sentido da força de atrito pode variar?

O conteúdo, articulado com as figuras, exemplos e exercícios, expostos numa ótica restrita (sem anunciar que ela é restrita!), levam inevitavelmente a generalizações, mesmo porque a exposição é da ordem de leis, propriedades e definições: “as leis do atrito são...”, “o atrito tem as seguintes propriedades...”, “o sentido da força de atrito é sempre...”, etc.

III.3. Capítulos ou itens reservados ao estudo do movimento de rolamento sem escorregamento

O rolamento sem escorregamento é geralmente abordado através de um exemplo de uma esfera ou um cilindro que rolam sobre um plano inclinado, aonde a força de atrito estático, é, evidentemente, sempre oposta ao movimento de translação do centro de massa.

Nenhum livro aborda teoricamente ou dá exemplo de alguma situação física em que tal não aconteça.

As explicações para o sentido atribuído à força, ou são inexistentes (a força simplesmente “aparece” e ninguém sabe porquê) e, em alguns casos, ela é simplesmente chamada de “força de atrito” (sem sequer definir-se, que é estático) ou estas explicações são dadas, indiretamente, no contexto específico do exemplo; isto é, se a força de atrito não existir, o torque resultante seria zero e o corpo deslizaria no plano.

III.4. Capítulos ou itens reservados ao trabalho e/ou conservação de energia mecânica

Nestes capítulos ou itens, que normalmente antecedem aqueles dedicados à rotação, é a ocasião de voltar a falar-se das forças de atrito. Aqui torna a aparecer o caráter “resistente” destas forças. Duas observações se colocam:

- Em primeiro, a distinção entre forças de atrito estático e cinético desaparece, pois o que aparece em **todos** os livros é que “as forças de atrito” são forças dissipativas, realizando sempre um trabalho negativo: as forças de atrito estático são, portanto, por omissão

ou simplificação, englobadas neste conceito de “resistência”.

Certamente esta “imprecisão”, no mínimo, não ajuda em nada o aluno a colocar em questão o conceito de oposição ao “movimento”, tão amplamente divulgado ao longo das exposições teóricas e exemplos.

Por exemplo, no Nussenzveig [5], pp.189, no item que aborda a conservação de energia mecânica, lê-se:

“Em geral, o trabalho realizado pelas forças de atrito é negativo, porque tendem a se opor ao deslocamento. Veremos mais tarde que isto corresponde a uma dissipação de energia mecânica, que se converte em calor, o que justifica o nome de forças dissipativas.”

Bem mais na frente (pp. 430), o autor discutindo o exemplo da esfera que rola num plano inclinado, sem escorregar, chama a atenção para o fato do atrito em questão ser estático; em seguida mostra que a energia se conserva e diz:

“Logo, a energia total se conserva¹⁰. À primeira vista, isto parece contraditório com a presença da força de atrito...”

Porque pareceria contraditório?

Entretanto, este é o **único** livro que aborda os seguintes pontos:

A força de atrito estático se opõe ao movimento (embora não esclareça que movimento) que haveria, na ausência de atrito, quando discute o movimento de um corpo descendo um plano inclinado (pp. 129):

“É típico do atrito (referindo-se ao atrito estático) que ele sempre tende a se opor ao movimento que a partícula teria na ausência de atrito”.

Em seguida, o mesmo autor (pp. 129 a 131), faz uma discussão primorosa sobre a terceira lei de Newton, utilizando a ilustração de Newton do “cavalo que puxa uma corda amarrada a uma pedra”, aonde aparece a força de atrito estático exercida sobre as patas do cavalo, no sentido da sua marcha:

“Note o sentido destas forças: afim de se deslocar para a frente, o cavalo “empurra o chão para trás”¹¹, de tal forma que a reação de atrito F'_a é no sentido de impulsionar o cavalo para a frente;..., a força de atrito sobre a pedra é para trás, opondo-se ao movimento que a pedra teria na ausência de atrito.”

Lamentavelmente, o autor faz esta discussão abordando estes pontos, antes do estudo das leis do atrito e, na ocasião deste estudo, aparentemente abandona estes conceitos e exemplos, pois eles estão ausentes da exposição!

Em segundo, como explicar, por exemplo, o aparente paradoxo do trabalho “positivo” realizado pela força de atrito cinético exercida no bloco “passivo” (superior), na situação física (Caldas e Saltiel 1999) de dois

¹⁰Grifo do autor.

¹¹Aspas do autor.

blocos colocados um em cima do outro, o conjunto repousando sobre uma superfície horizontal fixa de atrito desprezível, sendo que uma força horizontal constante se exerce no bloco inferior, de tal forma que os blocos apresentam, entre si, um movimento relativo de escorregamento (eles possuem acelerações diferentes em relação à superfície fixa)?

IV Conclusão

Constatou-se, em resumo, que a escolha de um quadro restritivo para falar sobre as leis do atrito, talvez na tentativa de simplificar e tornar mais acessível um assunto, que não é tão evidente assim, omite pontos importantes, quando não deixa outros tantos ambíguos ou aparentemente contraditórios, levando muitas vezes a incorreções ou interpretações que poderiam ser evitadas.

Desta forma, os livros analisados não dão a contribuição que poderiam dar para ajudar a colocar em causa o status adquirido pelas forças de atrito, no que diz respeito ao sentido destas forças, e mesmo, muitas vezes, contribuem para reforçá-lo.

Espera-se também, que tenha ficado claro, que o objetivo deste trabalho não é, em hipótese alguma, fazer-se uma crítica destrutiva na tentativa de “descobrir” erros, mas muito ao contrário é uma tentativa de mostrar, do ponto de vista daquele que aprende, que certas escolhas podem não levar ao resultado desejado.

Deste ponto de vista, parece quase banal dizer que aqueles que aprendem, os “aprendizes”, já possuem, antes de qualquer aprendizagem, conhecimentos anteriores que vêm, não só, da sua experiência cotidiana, mas também, de seu passado escolar e extra-escolar. Acerca de 60 anos atrás, Piaget e Bachelard já introduziam esta idéia, embora com abordagens diferentes: o primeiro, focalizando-se sobre as estruturas lógico-matemáticas, pouco dependentes, para ele, dos conceitos específicos de uma dada disciplina, o segundo, definindo o que se chamou de “conhecimento comum”, este, mais específico de determinada disciplina (Piaget & Inhelder 1941; Bachelard 1938). Nesta perspectiva, parece então, que escolher falar sobre o fenômeno do atrito, num contexto em que as forças de atrito sempre se opõe ao “movimento” não seria a melhor opção. Como diz Viennot (Viennot 1979) :

“Seule la confrontation permanente du formalisme et du réel construit une authentique pratique scientifique... Cette prise de conscience et cette confrontation sont deux démarches personnelles et actives dont l'étudiant ne peut pas faire l'économie... Il reste que l'enseignant ne peut stimuler ses étudiants dans cette voie qu'à deux conditions: avoir lui-même une connaissance sûre de la démarche spontanée déclenchée par telle ou telle

*situation physique et trouver les moyens d'en avertir les étudiants”.*¹²

Assim, sugere-se vivamente que, quando se apresentar o atrito e suas leis aos alunos, se opte por definir, enfatizar e dar exemplos, de que o atrito cinético se opõe à velocidade relativa de escorregamento, ao contato, de uma superfície em relação à outra e que o atrito estático (não somente ligado a situações de “repouso”) se opõe à velocidade relativa de escorregamento, ao contato, de uma superfície em relação à outra, que se produziria na ausência de atrito.

Esta opção permitirá, não só, que apareçam situações outras, que não apenas aquelas nas quais as forças de atrito sempre se opõe ao “movimento”, mas também, permitirá enfatizar a característica de “ajustamento” das forças de atrito estático, quanto ao sentido das mesmas.

Finalmente, tem-se a consciência absoluta, de que escrever livros deste porte, é uma tarefa das mais árduas, aonde as escolhas nem sempre são fáceis.

References

- [1] BACHELARD G., 1938. *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin, Paris.
- [2] CALDAS H., 1994. *Le frottement solide sec: le frottement de glissement et de non glissement: étude des difficultés des étudiants et analyse de manuels*. Tese de doutorado, Université Paris 7.
- [3] CALDAS H. e SALTIEL E., 1995. *Le frottement cinétique: analyse des raisonnements des étudiants. Didaskalia: Recherches sur la communication et l'apprentissage des sciences et des techniques*, (6): 55-71.
- [4] CALDAS H. e SALTIEL E., 1999. Sentido das forças de atrito e movimento - I. Rev. Bras. Ens. Fís. **21**, 359 (1998).
- [5] CALDAS H. e SALTIEL E., 1999. Le frottement statique: analyse des raisonnements des étudiants. *Didaskalia: Recherches sur la communication et l'apprentissage des sciences et des techniques*. (submetido em Agosto de 1998 e aceito para publicação em Janeiro de 1999)
- [6] DUCHL RICHARD A. e GITOMER DREW H., 1991. Epistemological perspectives of conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, **28**(9): 839-858.
- [7] PIAGET J. e INHELDER B., 1941. *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Delachaux-Niestlé, Neufchatel.
- [8] SEBASTIA Y., 1989. Misconceptions, metaphors and conceptual change: once more with feeling. *International Journal of Science Education*, **115**(4): 364-368.
- [9] VIENNOT L., 1979. *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Hermann, Paris.

¹²Grifos nossos. Tradução em anexo.

Referências Bibliográficas dos Livros Analisados

- [1] ALONSO M. e FINN E. J., 1972. *Física: um Curso Universitário, 4 volume 1 - Mecânica*. Edgard Blucher Ltda, São Paulo.
- [2] EISBERG R. M. e LERNER L. S., 1982. *Física: Fundamentos e Aplicações*, volume 1. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.
- [3] HALLIDAY D. e RESNICK R., 1994. *Fundamentos de Física: Mecânica*, volume 1. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro.
- [4] McKELVEY J. P. e GROTCHE H., 1979. *Física*, volume 1. Harbra, Editora Harper e Row do Brasil Ltda, São Paulo.
- [5] NUSSENZVEIG H. M., 1987. *Curso de física Básica, 1 - Mecânica*. Edgar Blucher Ltda, São Paulo.
- [6] SEARS F., ZEMANSKY M. W. e YOUNG H. D.,

1983. *Física 1: Mecânica da Partícula e dos Corpos Rígidos*. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro.

[7] TIPLER P. A., 1978. *Física 1*. Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro.

Tradução do parágrafo citado

(Viennot 1979): “Somente a confrontação permanente do formalismo e do real constrói uma autêntica prática científica... Esta tomada de consciência e esta confrontação são dois caminhos pessoais e ativos os quais o estudante não pode fazer economia... Resta que o professor não pode estimular os estudantes nesta via senão a duas condições: ter ele mesmo um conhecimento seguro do caminho espontâneo desencadeado por esta ou aquela situação física e encontrar os meios de advertir os estudantes”.