

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA MATEMÁTICA E DA NATUREZA
INSTITUTO DE FÍSICA

PROJETO FINAL DE CURSO

INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA
(FIWK01)

*"Uma reflexão sobre o ensino de Física no
Ensino Médio:
O Método Científico é discutido em
sala de aula e nos textos Didáticos?"*

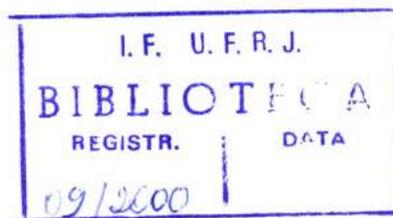
Marcos Otaviano da Silva

Orientador: Manoel Rothier do Amaral Jr.

Monografia apresentada ao Instituto de Física
da Universidade Federal do Rio de Janeiro
para a obtenção do grau de Licenciando em Física.

Rio de Janeiro
Novembro, 2000

09/2000



A tarefa da ciência, iniciada há milênios, é de perseguir uma adaptação cada vez mais precisa do nosso espírito à realidade, de construir uma representação cada vez ^{mais} adequada do mundo que nos rodeia e ao qual pertencemos, para compreendê-lo primeiro, depois para passar da compreensão à precisão e, em seguida, à ação.

Paul Langevin

Agradecimentos

Gostaria de agradecer as professoras *Susana de Souza Barros* e *Deise M. Viana* pela grande ajuda na elaboração deste trabalho.

Agradeço ainda ao meu orientador professor *Manoel Rothier do Amaral Jr*, por toda ajuda e paciência que me foram necessariamente dispensadas ao longo de todo este trabalho.

SUMÁRIO

1. Introdução	02
2. O método científico	04
2.1. Observação do fenômeno	04
2.2. Elaboração da pergunta (formulação do problema)	05
2.3. Modelo físico	06
2.4. Modelo matemático	08
2.5. Solução provisória	09
2.6. Experiência	10
2.6.1. Acurácia	12
2.6.2. Precisão	12
2.6.3. Modelagem computacional	13
3. Conceitos Espontâneos	14
4. Análise de dois casos particulares	16
4.1. Corda inextensível e sem massa	16
4.2. Roldana sem massa	17
4.3. Discussão	18
5. Análise de alguns exercícios de livros didáticos	20
6. Discussão sobre o conteúdo de alguns livros didáticos	25
7. Conclusão	27
8. Referências bibliográficas	30

1. Introdução

É notória a dificuldade encontrada pelos alunos do Ensino Médio em compreender os temas estudados pela Física. Esta dificuldade está relacionada a muitos fatores, entre eles a diferenciação entre o ensino de Física e de Matemática. Não quero com isso desprezar o tratamento matemático que a Física deve ter, uma vez que qualquer modelo físico deve ser suscetível de medidas, mas sim apontar outros fatores que também são fundamentais à construção do conhecimento em Física.

Uma abordagem baseada em modelos físicos evidencia o fato de que os alunos precisam entender e aplicar métodos e procedimentos próprios das ciências naturais, **DCNPOEM**¹⁷, na compreensão do mundo em que vivem. A interpretação da Física baseada em modelos também faz parte das competências e habilidades que são objetivadas para educadores quando da transmissão do seu conhecimento específico da Física, **PCN**¹⁸.

Um entendimento claro da diferenciação entre o modelo físico e o modelo matemático nos torna capazes de inferir de forma positiva na elaboração de conceitos que interpretem, e consequentemente nos façam entender os fenômenos naturais. O que ocorre com frequência é que alunos, professores e livros didáticos confundem estes diferentes níveis do processo de investigação científica. Na construção do conhecimento são normalmente confundidos modelo e realidade. Ao se experimentar um determinado modelo teórico são comuns afirmações do tipo: “a experiência não deu certo”, “não funcionou”, etc. O que ocorre então é que o estudante não tem uma percepção clara da diferença entre um modelo físico e a realidade, **Moreira**⁸.

A abordagem dos fenômenos naturais baseada na construção de um modelo físico é centrada no próprio fenômeno, e não em “fórmulas matemáticas”. Este fato leva em consideração a existência de um processo no qual o conhecimento é construído passo à passo. Ele serve, juntamente com as experiências adquiridas individualmente por cada aluno, como “fio da meada” para uma formulação mental, ou seja, de um conceito espontâneo, da realidade por parte dos alunos, e porque não dizer também dos professores.

Este trabalho tem como objetivo discutir uma maneira de se abordar a física de modo a priorizar um desenvolvimento conceitual dos temas estudados e de uma elaboração mais completa do que vem a ser um modelo físico, assim como sua importância. É pretendido ainda neste trabalho, fazer uma análise de alguns exercícios propostos em livros didáticos, e do modo como esses livros tratam (ou não) esses problemas.

2. O método científico

A princípio devemos compreender quais são os mecanismos que constituem a base da investigação científica. Nos *Discursos*, Galileu sistematiza o estudo dos fenômenos naturais e assim dá início ao que hoje conhecemos como investigação científica. É de extrema importância o entendimento dessa base de investigação de Galileu, pois seus passos são os mesmos que daremos em nosso breve estudo. Podemos compreender o método científico como sendo composto de três aspectos: observação, razão e experiência, Feynman².

O grande mérito de Galileu foi o de ter entendido, ou pressentido, que a chave do método científico estava precisamente na passagem abstrata do real inicial (observação) para o real final (experiência), Lucie¹. Essa ponte está representada na fig. 1.

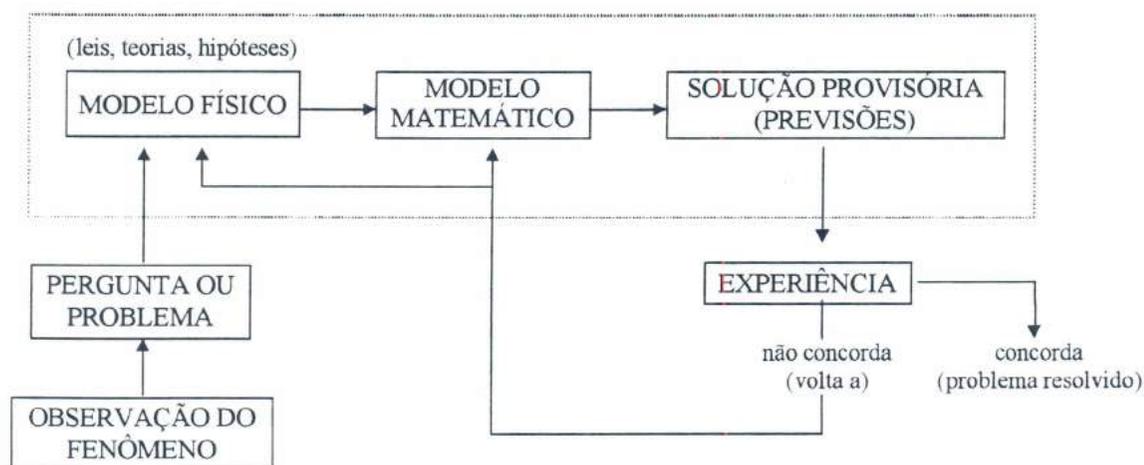


Fig. 1 – Diagrama do método científico (fonte: livro Física Básica / Lucie¹).

2.1 Observação do fenômeno

Devemos tomar alguns cuidados ao discutirmos a observação de um fenômeno natural. Uma observação pode ser puramente subjetiva, sem que se preocupe em fazer uma distinção entre os aspectos quantitativos e qualitativos do fenômeno. Não é desta forma que estamos nos referindo neste trabalho, aqui nos atemos a uma observação com características puramente objetivas. Quando citamos a importância da observação no processo de investigação científica é necessário esclarecer que devemos considerar os aspectos que irão contribuir para a

explicação de “como” ocorre determinado fenômeno. Isto nos permitirá descreve-lo de forma lógica, para então compreende-lo. A observação, neste sentido, se torna uma ferramenta que refuta toda consideração feita “*a priori*” a respeito de um determinado fenômeno natural, **Lucie**¹. É com base na observação que começamos a questionar ou elaborar adequadamente uma ou mais questões a respeito de um determinado fenômeno.

A capacidade de relacionarmos o que pretendemos realmente elucidar, ou compreender em um fenômeno natural que está sendo observado é um aspecto que deve ser diferenciado na investigação científica. Devemos considerar apenas aqueles fatores que realmente dizem respeito ao que queremos compreender, ou seja aqueles que tem alguma importância. Tomemos como exemplo um automóvel em movimento. Não tem muita relevância conhecermos (ou observarmos) a *cor* desse automóvel quando queremos determinar o tipo de movimento que ele descreve, neste caso é mais importante conhecermos (ou observarmos), por exemplo, suas diversas posições no tempo, ou sua trajetória. No entanto se estivermos interessados em um outro aspecto deste fenômeno, como por exemplo a forma como este mesmo automóvel absorve ou dissipa calor durante o movimento, então sim devemos considerar sua *cor*, pois esta agora passa a ter relevância ^{sobre} com o que se quer saber. ←

Em alguns livros didáticos de física destinados ao Ensino Médio é comum observarmos problemas ^{de dificuldades} relacionados a uma descrição clara dos fenômenos naturais que se pretende que sejam entendidos nos seus exercícios propostos. De um modo geral eles não fazem menção dos aspectos que realmente dizem respeito a compreensão de um fenômeno físico, ou ao menos definem a sua relevância. Neste caso, é necessário que tais aspectos sejam identificados e considerados já na elaboração do problema ou seja na pergunta, o que trataremos a seguir.

2. 2 Elaboração da pergunta (formulação do problema)

Galileu teve como grande mérito ter priorizado o “*como*” (a causa) os fenômenos naturais acontecem, ao invés do “*porque*” (a consequência) eles acontecem na elaboração de uma descrição “física” dos mesmos, **Lucie**¹. Não que o “*porque*” também não tenha a sua importância, mas em outro sentido. Enquanto que na Física aristotélica a explicação do “*porque*” levava a afirmações quase que puramente filosóficas, esta mudança de sentido na

formulação da questão no caso de Galileu é que torna possível desenvolvermos um raciocínio lógico e descritivo de um fenômeno, o que vem a ser então sua investigação científica propriamente dita.

Um outro passo muito importante na elaboração de um problema é que devemos ter em mente que podemos considerar uma unidade subjacente a uma determinada classe de fenômenos, ou seja é possível agruparmos certos fenômenos levando em consideração um aspecto relevante, o que já podemos considerar como o prenúncio da lei física que explica tais fenômenos, **Lucie**¹.

Devemos então abordar um fenômeno natural, quanto a sua investigação, de modo a que as perguntas e questionamentos feitos sobre os pontos a serem conhecidos, ou estudados, tenham relevância e coerência com o que realmente queremos estudar, não nos prendendo aos aspectos causais puramente filosóficos, mas sim aos aspectos descritivos como foi feito inicialmente por Galileu.

2.3 Modelo físico

A palavra **modelo** tem diferentes significados, tais como: *molde, exemplar, forma, representação, coisa ou pessoa a ser imitada, norma, etc.*, **Aurélio**¹⁰. Em nossos dias este termo também define o(a) profissional que faz trabalhos relacionados a moda. Podemos então definir o uso termo **modelo** como sendo a maneira pela qual denominamos algo ou alguma coisa que é tomada como parâmetro de comparação para a compreensão, definição e distinção de outra(s) aparentemente(s) similar(es). O modelo de um modo geral é um padrão temporário que é instituído de acordo com um contexto mais amplo que ele mesmo. O que em certo tempo se constitui em um modelo pode muito bem vir a ser substituído por outro que atenda melhor os padrões de desenvolvimento, sejam eles morais, religiosos, culturais, sociais e científicos.

Podemos então entender um modelo físico como sendo a idealização de uma situação real ou fenômeno natural. Tratar o modelo físico como uma aproximação da realidade é portanto a primeira definição a que faremos referência na sua compreensão. Devemos compreender que diferentemente de como surgem os modelos em sua concepção geral, o

modelo físico é elaborado de acordo com o que se foi observado. Ele é o próximo passo na concretização do método científico de investigação. Faz-se necessário ainda uma melhor abordagem da sua elaboração.

Melhorando então um pouco a nossa compreensão do conceito de modelo físico, temos que ele é portanto uma construção abstrata que substitui um fenômeno real que é observado, por um fenômeno ideal, pensado pelo investigador. Cada pedaço ou parte da natureza total é sempre uma aproximação de uma verdade completa, ou da verdade completa até onde conhecemos a Feynman², ou seja, um modelo. Na construção de um modelo físico devemos ter um cuidado especial no que se refere aos seus atributos e considerações feitas a este ou aquele aspecto observado. O investigador deve *desconsiderar* do fenômeno todos atributos que julgue não essenciais para responder a pergunta que é a feita a partir da observação do fenômeno, ou seja, para resolver e responder ao problema, assim como compreender sua solução. Ele deve ainda *considerar* os atributos que julgue ser essenciais em dois aspectos: os que são relevantes no estudo de um determinado fenômeno e os que são suscetíveis de medição (parâmetros). A escolha dos aspectos relevantes depende essencialmente da pergunta, pois somente a experiência final é que permitirá dizer se todos os parâmetros escolhidos como relevantes foram realmente incluídos na elaboração do problema, ou se algum aspecto fundamental foi desconsiderado, Lucie¹.

A partir do processo de investigação de Galileu vemos que a elaboração de um modelo físico está exatamente antes de qualquer tratamento matemático do fenômeno, ele é a primeira forma de se tentar compreender o fenômeno. É de vital importância notarmos ainda, que ao relacionarmos os parâmetros de um modelo com o fenômeno propriamente dito julgamos que os mesmos correspondem até certo ponto a descrição do fenômeno. Note-se ainda que quaisquer considerações feitas a partir da elaboração do modelo físico não dizem mais respeito ao fenômeno, mas unicamente ao modelo. Outra consideração a ser feita é não existe um modelo absoluto. Todo modelo, físico ou não pode e deve ser revisto, alterado e melhorado, após ser submetido a experimentação.

Podemos então caracterizar um modelo físico pelo conjunto de leis, teorias e hipóteses suscetíveis de medição, e que têm alguma relevância para se responder a pergunta feita a partir da observação de um fenômeno natural. O modelo físico, decide o investigador, deve obedecer

a certas leis ou teorias preexistentes. Se estas leis não existem o investigador impõe ao modelo hipóteses de trabalho.

Finalmente não devemos nos esquecer que os modelos físicos são construções humanas, e para que suas previsões tenham a devida validade faz-se necessário a experimentação. Somente ela permitirá verificar a sua eficácia.

a depreciação

2. 4 Modelo matemático

A utilização da matemática é que nos permite inferir de maneira lógica neste ou naquele fenômeno natural de maneira e explicá-lo. É necessário então a elaboração de um modelo que se utilize das ferramentas matemáticas para comprovar ou não as previsões do modelo físico. É necessário ressaltar que este conjunto por si só não é capaz de obter uma resposta plenamente satisfatória, bastando para isso o passo final, ou seja, a experimentação. O modelo matemático, como próximo passo na compreensão dos fenômenos naturais, é o tratamento matemático feito a partir do modelo físico.

Esta é também uma etapa fundamental para a transposição abstrata entre a observação e a experimentação. É agora que os fatores considerados anteriormente no modelo físico vão ser representados de forma quantitativa. Passamos então a delimitar as condições passíveis de medição e orientação matemática. Isto é feito através de equações e de uma escolha adequada de um sistema referencial de coordenadas (não discutiremos neste trabalho os desdobramentos e conseqüências de se utilizarem referenciais inerciais ou não inerciais, pois só faremos uso de referenciais inerciais). É nesta hora que podemos fazer algumas simplificações no que se refere as condições iniciais do fenômeno, como por exemplo a coincidência entre posição inicial e a origem das posições para fenômenos em que se trata do deslocamento de uma partícula.

Devemos nos lembrar que a partir da construção do modelo físico não nos referimos ao fenômeno propriamente dito, mas sim ao modelo, sendo assim, devem estar vinculadas ao modelo matemático as restrições, hipóteses e limitações impostas pelo modelo físico.

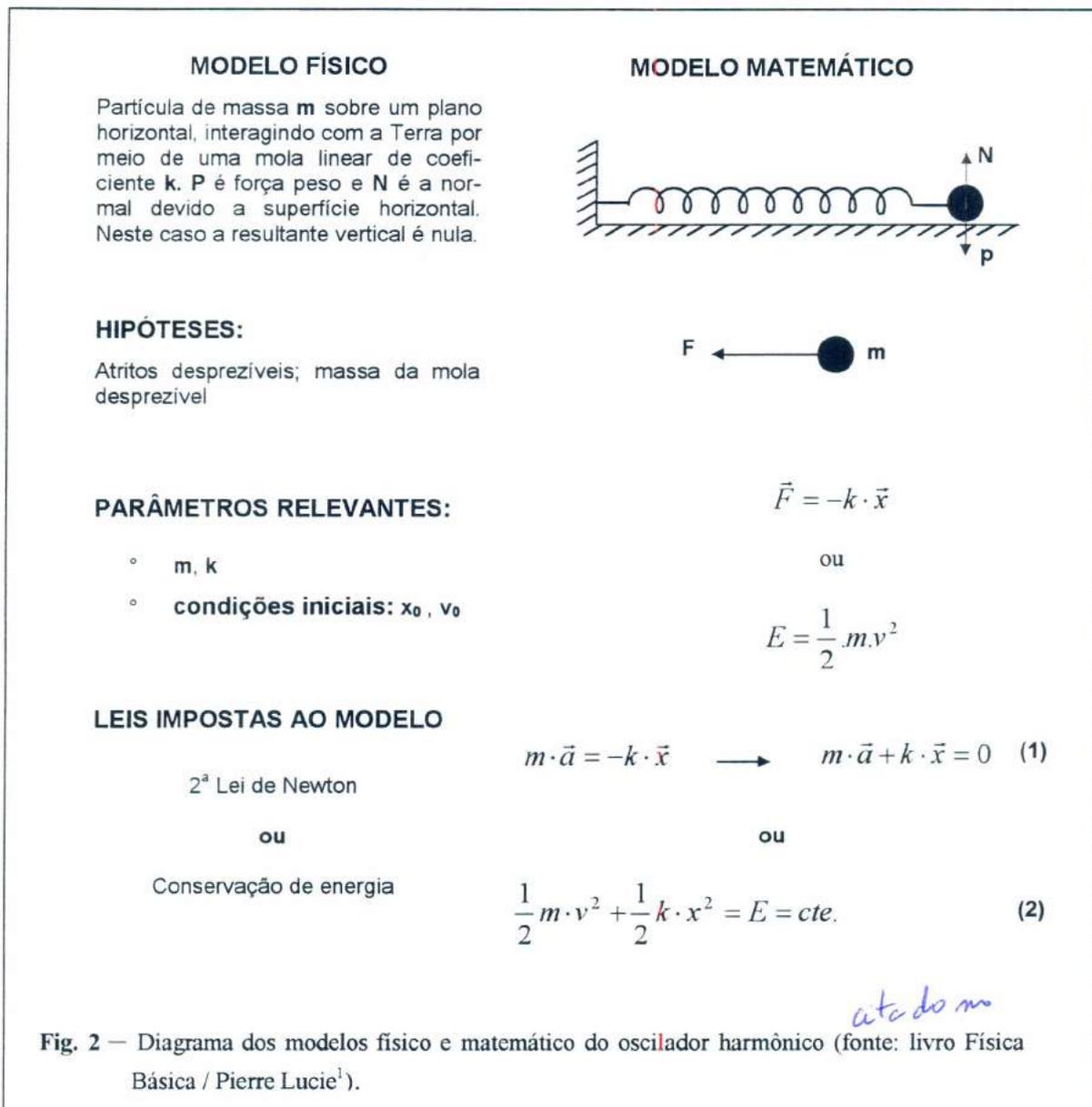
Portanto é através do modelo matemático que podemos, por meio de deduções exclusivamente matemáticas, descobrir as conseqüências das leis, ou teorias ou hipóteses que foram impostas pelo modelo físico.

2.5 Solução provisória

Este passo que a princípio nos parece sutil, na verdade esconde uma das características mais férteis da utilização do método científico na interpretação de um fenômeno natural, o fato de podemos fazer previsões a respeito do fenômeno, **Lucie**¹. O que é feito então é substituímos a hipótese, ainda de difícil verificação experimental, por uma outra ~~que~~ lei, de fácil verificação, que decorra necessariamente do fato de que essa hipótese primitiva seja verdadeira. Note-se que uma condição, que a princípio tem uma ~~de~~ difícil verificação experimental, decorre

*comportamento
propriedades*

→



cte do m

necessariamente, ou matematicamente de outra que pode ser mais facilmente verificada. Na figura da página anterior (**Fig. 2**) temos um exemplo de investigação de um fenômeno físico (*oscilador harmônico*) através da utilização do método científico, fazendo uso para isso do modelo físico como ponto de partida para sua compreensão. O que desejamos conhecer então do oscilador harmônico? Queremos obter uma equação do movimento: $x = x(t)$, o que nos possibilitaria conhecer sua amplitude e o seu período. Isto pode ser feito de duas diferentes maneiras, como nos mostra a fig. 2. Podemos seguir o desenvolvimento de elucidação deste fenômeno tanto pela 2ª Lei de Newton quanto pela expressão da energia, neste caso cinética e potencial elástica, e iremos obter o mesmo resultado.

2.6 Experiência

A solução provisória decorrente do modelo físico deve ser testada experimentalmente. Esta afirmação é a etapa crucial para validade de todo o processo: a natureza deve se pronunciar quanto a validade do modelo, bem como de suas leis, teorias e hipóteses, **Lucie**¹. A experiência é o único juiz da “verdade” científica, **Feynman**². Lembremos que as considerações feitas na experiência referem-se na verdade ao modelo. Na experimentação tenta-se reproduzir de forma controlada o fenômeno, a fim de validar ou não o modelo. Devemos ter em mente que não estamos julgando o fenômeno, e sim o quanto o modelo adotado é adequado para explicá-lo. Toda experiência está também sujeita às incertezas e limitações decorrentes da própria experimentação. Esta informação é de vital importância para uma plena compreensão, tanto de alunos e professores, de um fenômeno sobre o qual se faz algum tipo de experimentação, pois desfaz comentários do tipo “a experiência não deu certo”, ou “os dados da experiência nunca são exatamente os obtidos na teoria”

É fundamental nesta etapa do processo de investigação e de posterior compreensão do fenômeno físico que todos os parâmetros considerados na experiência estejam de acordo com as leis descritas no modelo, pois a experiência valida apenas o modelo e não o fenômeno. Todas as etapas da experiência devem ser o mais perfeitamente controladas, de modo a atender as limitações impostas pelo modelo abstrato. Todo modelo, mesmo que suas hipóteses estejam de acordo com o que foi realizado na experimentação, tem certas limitações, e sua aceitação é apenas parcial. É necessário por tanto que se aperfeiçoe o modelo, a medida que

este deixe de atender a “**pergunta**” inicial, ou a medida que ela se torne mais específica. No entanto, não devemos descartar totalmente um modelo anterior quando este só consiga atingir parte de uma nova pergunta, esta questão permeia toda a história da evolução da ciência (modelos atômicos; física clássica, relativística e quântica, etc.) e serve de gancho para demonstrar a constante evolução do conhecimento científico também nessa etapa da aquisição do conhecimento (Ensino Médio). Neste caso a física clássica (digo clássica pois é a física que em sua maior parte é tratada no Ensino Médio) deixa de ser uma matéria “pronta” e “fechada” em si mesma, para ser, construída (ou reconstruída), ainda nos dias de hoje.

Como já disse, os aperfeiçoamentos do modelo dizem respeito basicamente ao fato de se tentar ampliar o grau de compreensão de um fenômeno, ou de algum aspecto específico desse fenômeno. Isto se dá com a inserção de um maior número de fatores ou variáveis que estão mais fortemente associados ao fenômeno real, em nossas leis teorias e hipóteses primitivas. Para o caso do **oscilador harmônico** usado como exemplo podemos citar a *resistência do ar*, a *deformação máxima da mola*, ou citar ainda algumas modificações de ordem técnica, onde se tenta tomar os dados com a menor incerteza possível. Não quero dizer com isso que teremos um *experimento* (neste caso especificamente um *teste experimental*) que reproduza totalmente a realidade, na medida que lhe sejam atribuídos aperfeiçoamentos, mas sim uma situação em que os erros sejam minimizados ao máximo, aponto de ^{ou} troná-los “irrelevantes” para a compreensão deste ou daquele fenômeno, **Lucie**¹.

No que se refere a um tratamento mais rigoroso dos erros e incertezas envolvidos em uma experiência controlada, devemos ainda atentar para alguns conceitos: acurácia, precisão, e modelagem computacional, **Rabinovich**⁷. Eles tratam de maneira mais específica os fatores que são responsáveis pela inserção e a propagação dos erros envolvidos nas diversas etapas da experimentação, portanto se faz necessário uma definição clara dos seus significados. Farei a seguir uma pequena discussão a respeito desses conceitos e alguns de seus desdobramentos, no que refere a uma melhor compreensão de um fenômeno natural. Estes parâmetros são relevantes para a obtenção de uma resposta proveniente da experiência que se mostre coerente com as previsões do modelo, assim como para uma reprodução integral de um fenômeno na experimentação. É fundamental que tenhamos uma idéia clara dos seus significados, para que estes não induzam falsamente a idéia de que o modelo experimentado é inconsistente.

2. 6. 1. Acurácia

A acurácia de uma determinada experiência está ligada a quantidade de erros sistemáticos que ocorrem durante a experiência. O erro sistemático, que não é susceptível a um tratamento matemático, desloca a medida de um dado coletado na experiência do seu “valor correto”, **Rabinovich**⁷. Segundo **Vinoco**¹², estes erros sistemáticos podem estar ligados a diversos fatores, que podem ser agrupados em quatro categorias:

- erros devido ao método utilizado (na medição da massa no ar o empuxo falseia o resultado, etc.)
- erros devido ao instrumento (utilização de uma escala em uma temperatura diferente da que foi aferida, calibração, etc.)
- erros devido ao experimentador (atraso ou adiantamento ao acionar um equipamento, erro cometido por deficiência de visão, paralaxe)
- erros sistemáticos teóricos (resultam de fórmulas teóricas aproximadas para obtenção os resultados)

2. 6. 2 Precisão

A precisão de uma determinada medida está diretamente associada ao fato de que esta medida possui algum tipo de erro accidental. Este tipo de erro requer um tratamento matemático mais específico. Neste caso vemos que tal procedimento é um objeto clássico da *matemática estatística*. Desconsiderando algumas situações particulares, podemos ver claramente que a análise estatística tem obtido resultados bastante eficazes, e até mesmo fundamentais, na compreensão e no tratamento de múltiplas medidas, e estimativa dos erros accidentais envolvidos, fazendo portanto uma análise satisfatória da precisão de uma determinada medida, **Rabinovich**⁷.

Estes problemas podem ser melhor resolvidos se obtivermos uma função normalizada a partir dos dados e medidas obtidas na experiência. Os métodos de cálculos estatísticos para estas observações tem sido bastante desenvolvidos, e requerem a construção de tabelas e gráficos aos quais são feitas as considerações de validade ou não da experiência. Não me proponho aqui a detalhar os diversos métodos que visem determinar os erros, como por exemplo *desvio padrão*, mas apenas em fazer referência desta preciosa ferramenta na

construção de soluções de fenômenos naturais quando interpretados a partir de um determinado modelo.

2. 6. 3. Modelagem Computacional

Com relação a modelagem computacional como método que reproduz de forma ideal um fenômeno, podemos citar a importância de se fazer a construção de *funções matemáticas* e *simulações* dos fenômenos físicos com o auxílio do computador, **Rabinovich**⁷. No primeiro podemos, a partir dos dados coletados obter uma função matemática (nem sempre de interpretação trivial), e com isso conhecermos de modo mais eficaz o fenômeno, prevendo o comportamento deste ou daquele parâmetro do modelo. Para o caso das simulações temos a reprodução do fenômeno em uma situação de controle absoluto, o que nos possibilita reproduzir e analisar todos os detalhes o modelo. Este recurso se mostra razoavelmente eficaz na análise de situações impossíveis de se realizar na prática, desde testes de resistência de prédios a terremotos até interações entre partículas subatômicas. Este método de análise está diretamente vinculado a análise estatística que vimos anteriormente.

Existe uma aparente controvérsia quando se faz uso de computadores para uma *análise experimental* de fenômenos físicos, ao passo que o seu uso implica diretamente em não se realizar efetivamente a reprodução do fenômeno e sim apenas de simulá-lo. No entanto devemos ter em mente que a experiência já não está atrelada ao fenômeno em si, mas sim ao modelo físico e suas leis e hipóteses. Este fato nos faz pensar que o próprio modelo já é uma extrapolação do fenômeno real, estando além deste, e servindo posteriormente para sua explicação (ou não).

Devemos dizer ainda que este método de análise só se torna possível com um desenvolvimento específico de componentes eletro-eletrônicos que atendam com um alto grau de confiabilidade e rapidez requeridos por esta ou aquela análise computacional.

3. Conceitos Espontâneos

Em qualquer processo de investigação voltado à educação preciso que consideremos as diferentes etapas da compreensão e da aprendizagem, e neste sentido faremos uso de um termo que é bastante aceito quando nos referimos ao fato de que os indivíduos desenvolvem crenças e idéias para explicar o mundo que os cerca, ou seja, **conceitos espontâneos**, **Susana**¹³. Estas idéias nem sempre correspondem diretamente ao modelo físico usualmente aplicável, pois decorrem principalmente da observação e da intuição, e são formulados por cada indivíduo a partir de suas próprias experiências que o cerca. Minha intenção aqui é tratar estes **conceitos mentais** como sendo qualquer experiência prévia adquirida no dia a dia, que sirva para interpretar e compreender alguma situação nova e que se mostre como uma ferramenta fundamental para a efetiva construção do conhecimento, **Astolfi**⁹.

Modelos?
Representações

Se considerarmos a visão dos alunos sobre os fenômenos físicos, podemos ver que eles já possuem um conhecimento prévio e inclusive um vocabulário próprio para explicar o fenômeno, **Ausubel**¹⁴. Foi possível então identificar algumas características que permitiram a elaboração mais específica do termo conceitos espontâneos, e entre elas estão: linguagem imprecisa e ambígua; as construções de idéias são similares para diferentes idades, grupos sociais, idades, etc.; separação e similaridade $\vec{v} \sim \vec{F}$ // Toda força \vec{F} ; de

←

um ponto \vec{F} ; de

A possibilidade de correlacionarmos os níveis de raciocínio com respostas dadas sobre um determinado conceito científico, não é o objeto deste estudo. Contudo gostaria de ressaltar que foi tomado um referencial teórico em que vemos as respostas como dependentes do nível de raciocínio dos indivíduos e que a visão científica e a generalização subsequente a que isto implica, correspondem à existência de formas de raciocínio mais sofisticadas e equilibradas já presentes nos estudantes, **Shayer**¹⁵. É importante ressaltar que a nossa investigação leva em consideração os estágios de desenvolvimento mental de *Piaget* como referencial teórico, **Piaget**¹⁶. Considerei ainda uma abordagem construtivista, modificada que está bem enraizada dentro da teoria cognitiva, **Susana**¹³.

A compreensão do mundo não se dá a partir de zero, devemos atentar para o fato de que tudo o que aprendemos depende diretamente daquilo que já adquirimos ao longo da vida, **Astolfi**⁹. A aplicação deste conceito faz com que cada vez mais tornemos o ensino de ciências,

e em particular de física, se mostre interessante, motivador e contextualizado na realidade dos alunos. Ensinar física para uma colônia de pescadores deve ter uma estratégia diferenciada da mesma aula quando ministrada a um grupo de habitantes da cidade por exemplo. É necessário esclarecer que esta consideração diz respeito apenas às diferentes realidades e experiências de cada grupo e não a sua capacidade de aprender. É fundamental compreendermos o meio em que vivem os educandos na hora que se pretende educar.

4. Análise de dois casos clássicos

Iremos agora fazer uma análise de dois casos clássicos vistos em Mecânica no Ensino Médio. Observemos que as considerações feitas a respeito destes exemplos devem ser feitas fundamentalmente sob o ponto de vista da melhoria da aprendizagem.

4.1. Fio inextensível e sem massa

Um corpo de massa m é arrastado por uma força constante e paralela ao deslocamento que lhe é transmitida por um fio inextensível e sem massa, Nussenzweig¹². Não foram considerados os efeitos de atrito do bloco com o ar ou entre o bloco e a superfície.

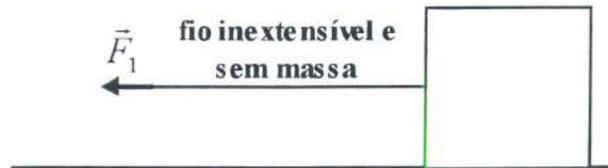


Fig. 3 – Diagrama do conjunto bloco e fio tensionado por uma força paralela ao deslocamento.

Analisando melhor a figura 3 temos:

- a) Para uma corda inextensível temos que ambas ~~as~~ extremidades tem um mesmo deslocamento Δx , ou seja, ←

$$\Delta x_1 = \Delta x_{caixa} \quad (1)$$

acarretando portanto que as velocidade e acelerações devam ser iguais (se não tiverem a mesma direção apenas os módulos devem ser iguais).

ex: caso do pulic

- b) Para o fato da corda não ter massa,



Fig. 4 - Diagrama de uma corda sem massa

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = m_{corda} \cdot \vec{a} \quad (2)$$

$$m_{corda} = 0 \quad (3)$$

(3) → (2)

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (4)$$

é acate impliamente

da? ←

Podemos observar que o fato de o módulo da força em uma extremidade é igual ao na outra decorre trivialmente da segunda lei de Newton. Esta abordagem não é discutida nos livros utilizados neste trabalho, com exceção de Carron e Guimarães⁴. Eles apenas fazem uso destas simplificações sem se preocupar de onde decorrem. Apenas Máximo e Alvarenga⁶ fazem menção a estas considerações, mas apenas como uma informação a mais.

4.2. Roldana sem massa

maneira de fazer

Dois corpos ligados entre si por um fio, como vemos na figura, sendo que a roldana não possui massa, Nussenzveig¹². Não foram considerados os efeitos de atrito do bloco com o ar ou entre o bloco e a roldana.

O fato da roldana não ter massa implica que ela não terá momento de inércia o que acarreta em ~~um~~ ^{ou} troque externo nulo. Portanto a roldana não influenciará na transmissão de forças entre as extremidades do fio que sustenta os blocos como veremos a seguir, conforme o esquema da Fig. 5. Estamos considerando ainda que o fio não tem massa e inextensível, segundo as considerações feitas no exemplo anterior, temos então que:

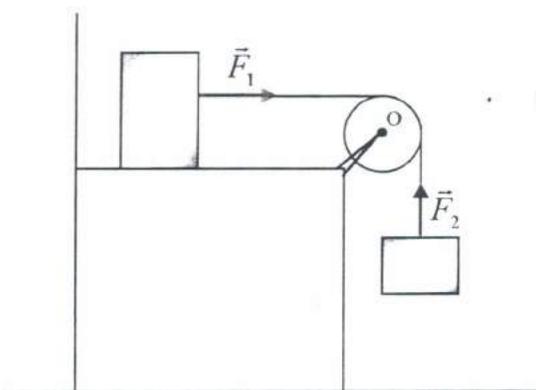


Fig. 5 – Diagrama de uma roldana sem massa

$$\tau^{ext.} = I \cdot \alpha \quad (5)$$

como

$$I = \sum_i m_i \rho_i^2 \quad (6)$$

onde ρ_i é a distância da massa m_i ao eixo de rotação. Se ~~o~~ ^a roldana não possui massa evidentemente m_i é igual a zero, acarretando em um momento de inércia nulo. De (5) temos que o torque externo deve ser nulo

repete

$$\tau^{ext.} = 0 \quad (7)$$

O torque externo também é dado por:

$$\tau^{ext.} = 0P + 0N + rF_1 - rF_2, \quad (8)$$

onde r é o raio da roldana, P a força peso da roldana e N a normal aplicada pelo eixo na roldana, , ou seja, não influenciando no calculo do torque externo.

Finalmente,

$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|. \quad (9)$$

É necessário dizer que estas deduções a respeito da roldana sem massa não são vistas no nível do Ensino Médio, embora sejam fundamentais nas considerações feitas pelo modelo ao fenômeno.

Como descrever no introduzido

é ignorado geralmente porque não trata o corpo sólido estático etc.

4. 3. Discussão

Dependendo do nível com que um fenômeno físico é tratado são feitas algumas considerações do tipo: *superfície sem atrito, corda inextensível, partícula, roldana sem massa, despreze a resistência do ar*, etc. No entanto, tais considerações passam despercebidas na resolução destes problemas, ou só servem para “simplificar” os cálculos. Até que ponto os alunos sabem, ou são ensinados, a respeito dessas considerações, e em que realmente cada uma delas implica? Como estamos enfatizando ao longo deste trabalho, não tratamos diretamente do fenômeno natural quando o investigamos, isso seria muito complicado, tendo em vista que qualquer interferência no fenômeno acarretaria em uma mudança do próprio fenômeno. Todo o nosso esforço fica então concentrado no modelo físico, este sim pode ser manipulado e restringido na investigação, **Lucie**¹. Isso torna qualquer consideração feita fundamental para a compreensão do fenômeno, podendo inclusive modificar o enfoque de um determinado aspecto do mesmo. Esta relação entre fenômeno e modelo físico é fundamental para que este último seja validado, mesmo que até certo ponto.

Também devemos saber até que ponto devem ser feitas considerações a respeito de um fenômeno natural, ou até que ponto todas simplificações são tidas como relevantes pelo aluno na solução de um problema. Este limite para se fazer considerações deve ser tal que desfaça a

idéia de uma ciência absolutamente exata (eu particularmente só descobri isso ao longo do meu curso superior), mas que deixe margem a que se pense que todo conhecimento, por mais temporal que seja, não pode ser desprezado por “servir” apenas parcialmente ou de esclarecer “até certo ponto” um fenômeno natural.

5. Análise de alguns exercícios de livros didáticos

Agora serão tomados alguns livros didáticos destinados ao Ensino Médio para uma breve análise de seus exercícios propostos. Se faz necessário dizer que neste trabalho não estamos abordando o conteúdo destes livros de maneira direta, mas ao analisarmos seus exercícios, teremos uma noção do seu conteúdo programático. Ainda quero dizer que não darei atenção a todos os tópicos da Física destinados ao Ensino Médio, o que tornaria este trabalho muito extenso, perdendo assim o seu objetivo. Vou me ater apenas às questões de Mecânica Clássica.

Um ponto que deve ser ressaltado na análise de exercícios de livros didáticos é o fato de que o aluno não observa diretamente o fenômeno. Sua análise se dá unicamente pelo que esta contido no enunciado dos problemas, e é neste ponto que está o maior foco da minha pequena investigação, daí a importância de termos os mesmos elaborados corretamente.

1. *Um carro em movimento sobre uma estrada plana e horizontal é acompanhado por um helicóptero que se mantém sempre acima do carro, com a mesma velocidade.*
 - a) *Em relação ao carro, o helicóptero está em repouso ou em movimento?*
 - b) *Se o piloto do helicóptero deixar cair um objeto, qual será a trajetória desse objeto?*

Anjos^{3a}

2. *Uma criança solta uma pedra pela janela do vagão de um trem em alta velocidade. Considerando nula a resistência do ar e constante a velocidade do trem, determine:*
 - a) *A trajetória da pedra vista pela criança*
 - b) *A trajetória da pedra vista por uma pessoa parada, fora do trem, vendo-o passar.*

Carron e Guimarães^{4a}

Estas duas questões abordam o mesmo tema: a descrição do movimento de um corpo, levando-se em conta um ou mais referencias. Note que no exemplo 1 temos uma descrição do fenômeno que não nos leva a uma resposta possível para a letra b, apenas para a letra a, embora o livro contenha um gabarito. Não é especificado o tipo (forma) de carro, o seu movimento (uniforme? uniformemente variado?), não é feita nenhuma consideração à resistência do ar e nem tão pouco são citadas às características do objeto (massa, densidade) que é abandonado a partir do helicóptero. Já no exemplo 2 temos uma idéia melhor do

fenômeno apresentado, o que nos proporciona respostas possíveis nos itens, **a** e **b**. Nas duas situações a compreensão do fenômeno descrito não faz utilização direta de uma ferramenta matemática, com isso o aluno deve fazer sua interpretação segundo as hipóteses, leis e considerações feitas (ou não) no enunciado, o que nem sempre ocorre.

3. *Um carro de corrida, que estava parado, arranca com movimento retilíneo uniformemente acelerado. O valor de sua aceleração é de 4 m/s^2 .*^{6a}

a) *Quanto tempo o carro gasta para atingir a velocidade de 144 km/h ?*

b) *Qual a distância que ele percorre durante este tempo?*

Máximo e Alvarenga^{6a}

4. *Um corpo, com aceleração de 4 m/s^2 , adquire uma velocidade de 120 m/s . Qual a velocidade 20 s antes?*

Filho^{5a}

Temos agora mais dois exemplos que servem bem ao propósito deste trabalho. No exemplo 3 temos uma descrição detalhada de uma situação envolvendo **M.U.V.** (Movimento Uniformemente Variado – aceleração = constante), onde são citadas a trajetória do veículo, o módulo e sentido da aceleração, e deverão ser feitas as considerações matemáticas relativas a descrição do **M.U.V.**, só tomando cuidado com a correta indicação das unidades. No exemplo 4, temos a descrição do módulo da aceleração do corpo (em um determinado instante), e nada é dito a respeito do seu movimento, quem pode garantir se o seu movimento é acelerado ou retardado? Devemos lembrar que a palavra aceleração (quando usada como grandeza física) é uma grandeza vetorial, e pode ser orientada positiva ou negativamente.

5. *Uma partícula de massa 2 kg sofre a ação de uma força \vec{F} constante, de intensidade $F = 10 \text{ N}$. Qual o módulo da aceleração adquirida pelo bloco?*

Anjos^{3b}

6. *Considere um bloco que se move com uma velocidade \vec{v} constante, sobre uma superfície horizontal e lisa. Em um certo instante, uma força constante é aplicada ao bloco. Diga o tipo de movimento que o bloco passa a descrever, supondo que:*

a) *\vec{F} tenha a mesma direção e o mesmo sentido de \vec{v}*

b) *\vec{F} tenha a mesma direção e o sentido contrário a \vec{v}*

Máximo e Alvarenga^{6b}

Agora temos uma situação em que tratamos da 2ª Lei de Newton ($\vec{F} = m \cdot \vec{a}$) sendo aplicada na descrição duas situações. No exemplo 5 encontramos uma evidencia clara de que a definição de alguns termos não foi considerada, pois confunde-se *partícula* com *bloco*. O primeiro é um corpo cujas dimensões são consideradas desprezíveis quando comparadas, por exemplo, com a distância percorrida, já o segundo é um corpo cujas dimensões devem ser consideradas. A questão está então em que, para uma partícula podemos desconsiderar forças dissipativas como atrito e resistência do ar, enquanto que para um bloco caso isso seja feito deve ser explicitado no enunciado. Também neste exemplo não se faz alusão a direção ou ao sentido da força, ou se o bloco está em uma superfície horizontal, inclinada ou em queda. Já no exemplo 6 temos uma descrição mais cuidadosa do fenômeno, tomando-se o cuidado de desprezar o atrito (*superfície lisa ...*), situar o bloco em uma superfície horizontal, e com um movimento bem definido. É possível ainda ver evidenciada a consideração das características vetoriais tanto da força quanto da velocidade. Um ponto ao qual o problema não se atem é quanto à resistência do ar, que pode ainda ser considerada ou desprezada.

7. *Um corpo de 2,0kg de massa, inicialmente em repouso, é puxado, sobre uma superfície horizontal e sem atrito, por uma força constante, também horizontal de 4,0N. Determine sua energia cinética e a velocidade após 5,0m.*

Carron e Guimarães^{4b}

8. *Um juiz de futebol lança uma moeda para cima, imprimindo a ela uma velocidade inicial \vec{v}_0 . Considere desprezível a força da resistência do ar.^{6c}*
- a) *À medida que a moeda sobe, sua energia cinética E_c aumenta, diminui ou não se altera?*
- b) *E sua energia potencial E_p ?*
- c) *E sua energia mecânica?*

Máximo Alvarenga^{6c}

O que temos nestes exemplos é o modo como a energia esta relacionada a cada uma das situações. Vemos no exemplo 7 uma descrição precisa e detalhada, no que se refere a pergunta feita a respeito da energia cinética, onde é descrita a direção do movimento assim como a massa e o módulo da força, que também é constante, de maneira que possamos obter a energia cinética. Neste exemplo só teríamos uma situação ainda melhor detalhada caso fosse feita alguma alusão a resistência do ar ou a forma do objeto, uma vez que uma e outra coisa estão diretamente ligadas. No entanto ao analisarmos o exemplo 8 aparentemente não

observamos nenhuma anormalidade, mas no item **b** temos uma pergunta que conceitualmente está incorreta. Energia potencial é aquela armazenada no corpo, e pode ser de origem elétrica, gravitacional, elástica, etc., neste caso o problema se refere especificamente a energia potencial gravitacional, e não a toda energia potencial do corpo. Outro ponto que o problema poderia focar mais detalhadamente é que no lançamento, a moeda poderia girar em torno do seu eixo (energia de rotação). Notemos que pelo fato de não haver atrito com o ar esse possível giro irá descrever um movimento circular uniforme, não contribuindo em nada a resolução da questão. No entanto não fica claro se esse arranjo foi proposital, ou correu por acaso quando elaboração da questão.

9. Um bloco de madeira de 10kg está em repouso. Um projétil de 2kg, com velocidade de 10m/s, acerta o bloco ficando no seu interior. O novo sistema (bloco + projétil) se movimenta e como está fixo (pendurado) na corda, sobe. Qual a altura h ?

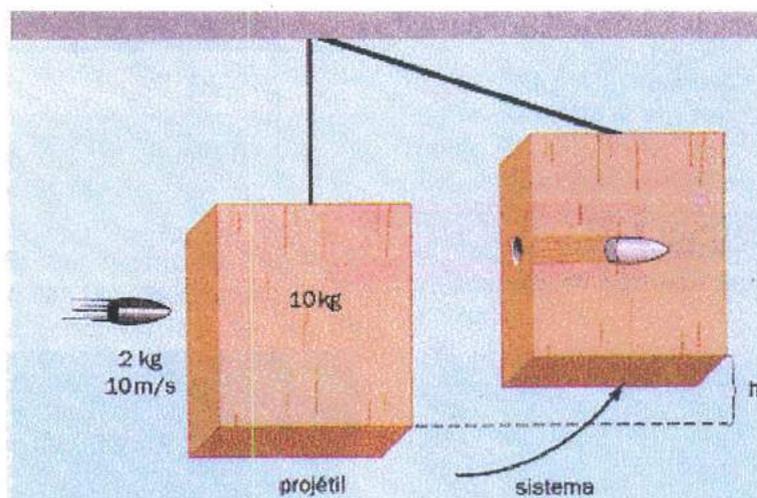


Fig. 6 - Diagrama do bloco e bala

Filho^{5b}

10. Um carrinho de massa = 4kg e velocidade de 6m/s choca-se com uma mola de constante elétrica $k = 100\text{N/m}$. Determine a máxima compressão sofrida pela mola. Despreze quaisquer atritos.

Anjos^{3c}

Neste caso para o exemplo 9 vemos claramente que alguns pontos foram desconsiderados na elaboração da pergunta. Primeiro, para que o bloco não tivesse possibilidade de movimentar-se em outra direção (rotação por exemplo) que não fosse a

vertical, deveria ter sido melhor fixado, ou que a bala “rigorosamente” penetrasse perpendicularmente no centro de massa do bloco, o que não foi devidamente esclarecido. Outro ponto importante é que em se tratando de uma situação de transformação de energia, deveria ter sido feita alguma menção ao fato de que ao entrar no bloco a bala dissipa parte de sua energia em forma de calor.

No caso do exemplo 10 temos uma também situação de transformação de energia, só que houve um pouco mais de cuidado na descrição dos fatores que se relacionam diretamente com o problema. Apesar de uma boa descrição devemos citar ainda que não foi feita qualquer consideração a energia dissipada em forma de calor pela mola ao se comprimir. Outro ponto que não é previsto na elaboração da questão é que a mola também poderia se entortar, o que fugiria a uma solução trivial do problema.

6. Discussão sobre o conteúdo de alguns livros Didáticos

Dos livros utilizados para análise neste trabalho, dois deles (**Anjos³** e **Filho⁵**) são livros que têm uma metodologia mais recente de abordar a física do Ensino Médio, pois tratam a física de maneira a atender um público de poder aquisitivo menor. Seu preço é, em média, $\frac{1}{4}$ do preço dos outros dois avaliados (**Carron⁴** e **Máximo e Alvarenga⁶**), e complementando este fato esses “novos” livros visam atender os novos parâmetros curriculares, e porque não dizer também os alunos de escolas públicas, que além das dificuldades já corriqueiras, como má formação no Ensino Básico, têm sua carga horária cada vez mais diminuída. Apesar disto os livros **Carron⁴** e **Máximo e Alvarenga⁶** também propuseram perguntas que não estavam adequadas com a análise feita neste trabalho.

O fato de eu ter chamado a atenção para esses detalhes é que esses livros se mostram muito condensados, tanto em conteúdo como em desenvolvimento conceitual dos tópicos abordados. Eles na maioria das vezes só se preocupam com a elaboração das linhas gerais, matemáticas, e complementam a teoria com um número considerável de exemplos (os mais complexos) resolvidos e uns poucos exercícios propostos. Já os livros abordados que são mais, digamos, despreocupados com os parâmetros financeiros, digo isso no que se refere principalmente ao Ensino Público, vem com um número maior de páginas destinadas a conteúdo, e um maior número de exercícios propostos. Há um melhor tratamento da teoria e das definições.

Não quero aqui defender este ou aquele livro, mas tenho que ressaltar as principais diferenças encontradas nos livros utilizados por este trabalho para inferir a respeito do ensino de física. Com isso quero me referir ao papel do professor no resgate de um ensino que vise a compreensão do mundo em que vivemos, segundo uma ótica mais conceitual da Física destinada ao Ensino Médio.

Mesmo nos livros que identifiquei como mais completos, não vi nenhuma discussão mais aprofundada a respeito dos temas tratados neste trabalho. Foram feitas apenas observações a respeito desta ou daquela simplificação imposta a resolução dos problemas. Não adianta citar que *"os atritos devem ser desprezados"* se o aluno não sabe exatamente em que implica este fato, ou o que realmente mudaria na resolução de um problema onde os atritos fossem considerados. Não faz sentido dizer que *"a resistência do ar é nula"* apenas ao se

utilizar corpos de dimensões consideráveis sem que haja uma discussão, por exemplo, a respeito da densidade dos corpos, ou de que a inexistência desse atrito acarreta em muito mais coisas que apenas a simplificação "*das contas*". Na maioria das vezes se passa por cima de observações fundamentais, tratando-as como "*detalhes*", apenas com intenção de simplificar a matemática sem contudo se dar conta de que o que se quer ensinar é Física.

Conclusão

Tendo como base o fato de que o professor deve priorizar a compreensão e não o “adestramento” matemático no ensino de física, posso dizer que uma das principais constatações deste trabalho foi que a física, como é proposta no Ensino Médio pela maioria dos livros didáticos, não tem por objetivo levantar uma discussão de como se mostram os fenômenos naturais e nem de como devemos “agir” para melhor compreendê-los. Através de uma breve análise dos textos pudemos ver que apenas os aspectos matemáticos, quando muito, tinham algum significado.

É bem verdade que não devemos reduzir a compreensão da física a meras especulações, suposições ou hipóteses que podem ser mudadas a qualquer momento, afinal as “leis físicas” explicam, e muito bem o nosso mundo, mas também não devemos continuar perpetuando a idéia de *leis absolutas* e imutáveis. A visão que o curso de graduação me trouxe foi a de uma ciência em plena construção, em contrapartida com o pensamento que tinha antes de ingressar na faculdade, lá no meu segundo grau, “tudo o que havia de ser descoberto com certeza já foi, tudo já está pronto”. A velha luta contra o determinismo científico ficou claramente resolvida com a *física moderna*, e deve ser aplicada a *física dita básica* também, pois o aluno do Ensino Médio também deve aprender a encarar essa evolução do conhecimento como a mola mestra da compreensão da física, e por que não dizer também do mundo em que ele vive.

A análise de forma detalhada e metodológica de um fenômeno físico é um passo fundamental, mas é necessário dizer que elaborar questões repletas de detalhes não significa necessariamente que o aluno compreenda realmente o significado de cada um deles. Já que não é discutido, pelo professor, a necessidade ou não de se fazer essas considerações (como por exemplo: *ser desprezível a resistência do ar, ou sem massa, ou de dimensões desprezíveis*), que finalidade então seria inclui-las em um problema, como vimos?

Também não desejo fazer uma apologia sobre o fato de que tudo está errado, sem me ater a alguns fatos que se configuram em um ensino ainda pior. Não podemos ignorar o fato de que em sua maioria, os professores não tem tempo para preparar, e até mesmo compreender claramente, os temas que ensinam; nas escolas, em sua maioria, não há laboratórios, ou condições de se fazer experimentos, etc. No entanto quero deixar claro que apesar de tudo

ainda recai sobre o professor, o único que pode mudar esse quadro, a responsabilidade para com a profissão que escolheu.

Um outro fato que requer nossa atenção é que a despeito de que uma análise puramente metodológica de um fenômeno natural por si só não dá subsídios significativos a compreensão deste fenômeno que não traspassem por um modelo interno que cada um de nós tem do mundo que nos cerca (um modelo mental). Com isso chamo a atenção para o fato de que não existe uma fórmula mágica de se ensinar física utilizando este ou aquele método, mas sim existem cuidados e precauções que devemos ter ao nos colocarmos como interlocutores da verdade quando ensinamos física. Devemos atentar para as diferentes interpretações que cada indivíduo, segundo sua própria ótica, tem de cada uma das ditas leis físicas, e como melhor devemos tratar estas diferenças no que se refere a torna-las fisicamente coerentes. } ←

Um outro fato que citei anteriormente com relação a diferentes livros que tem entrado em circulação, e que se destinam a um público de menor poder aquisitivo, em sua maioria alunos de escolas públicas, ocorreu comigo em uma conhecida editora. Como professor, ou melhor ainda aluno prestes a me formar, tenho direito a receber livros destinados a professores, e quando me dirigi a pessoa responsável pelo atendimento de professores com a intenção de obter um de seus “melhores” (um dos mais famosos) livros, descobri que este só era destinado a professores de escolas particulares, e que para os demais, assim como os professores de Escolas Públicas eram destinados outros livros, como foi dito pela funcionária responsável: “...*estes também são muito bons professor ...*”. Estes últimos, mais baratos e de menor qualidade, no que se refere ao conteúdo. A mesma pessoa me informou que eu não teria direito ao outro livro por que “*o senhor não irá adotá-lo como livro a ser comprado pelos alunos (que no caso não teriam dinheiro), será só como fonte de consulta pessoal*”.

Não poderia de deixar de registrar este fato, que ilustra muitíssimo bem em que pé está o ensino no nosso país, e como ele é tratado, tanto por parte das autoridades legais, que matriculam todos nas escolas, sem que ao menos se saiba que escolas são essas, não cuida dos profissionais responsáveis pela formação desses alunos, que além de não serem adequadamente remunerados, também, em sua maioria não tem acesso e nem tempo a nenhum tipo reciclagem e agora as editoras que resolveram atender uma porção do público menos favorecido, dando continuidade a essa desigualdade, com o lançamento de livros que vão se adequar perfeita-

mente a esses alunos. É isto mesmo, agora os livros é que estão se adequando ao perfil do aluno, digo isso me referindo ao pior perfil deste aluno, o financeiro, e porque também não dizer que implicitamente também não estão se referindo ao perfil intelectual.

Referências Bibliográficas

1. LUCIE, Pierre, — *Física Básica*. Rio de Janeiro: Campus, 1979.
2. FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. — *The Feynman Lectures on Physics*. Addison-Wesley Publishing Company, 1966. I-1 e I-2.
3. ANJOS, Ivan Gonçalves dos — *Física: Coleção Horizontes*. IBEP; (3a pág. 14, 3b pág. 78, 3c pág. 125).
4. CARRON, Wilson; GUIMARÃES, Osvaldo. — *As Faces da Física*. 1ª edição, 1997, Editora Moderna; (4a pág. 13, 4b pág. 188).
5. FILHO, Geraldo F. de O. — *Física: Uma proposta de ensino*. 1ª edição, 1997, Editora FTD; (5a pág. 18, 5b pág. 139).
6. MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. — *Física (volume único)*. 1ª edição, 1998, Editora Scipione; (6a pág. 50, 6b pág. 102, 6c pág. 253).
7. RABINOVICH, Semyon — *Measurement Errors: Theory and Practice*. Translated by M.E. Alferieff; 1995, American Institute of Physics / United States of America.
8. MOREIRA, Marco Antônio; LAGRECA, Maria do Carmo Baptista — *Representações Mentais dos alunos em Mecânica Clássica: Três Casos*. Investigações em Ensino de Ciências, 1998. 3(2), 83 – 99.
9. ASTOLFI, Jean-Pierre; DEVELAY, Michel — *A Didática das Ciências*. tradução de Magda S. S. Fonseca; Campinas, SP: Papirus, 1990.
10. FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda — *Dicionário Aurélio básico da língua portuguesa*. Editora Nova Fronteira.
11. VINOCA, José Henrique — *Fundamentos da Teoria de Erros*. Editora Edgard Bliiche Ltda. 2ª edição revisada, capítulo 6.
12. NUSSENZVEIG, H. Moysés — *Física Básica Volume 1*. Editora Siciliano. SP: Blucher Ltda
1975
13. BARROS, Susana de S. etc. — *Conceitos Espontâneos na área de Física Térmica*. Relatório do Projeto Fundão. 1975

14. AUSUBEL, D. — *Educational Psychology, a Cognitive View*. Holt and Rinehart, New York, 1968.
15. SHAYER, M. — *Journal of Research in Science Teaching*, V18 1981
16. In HELDER, B. and PIAGET, Jean. — *The Growth of Logical Thinking From Childhood to the Adolescence*. Basic Books, 1968.
17. **Diretrizes Curriculares Nacionais Para O Ensino Médio**, MEC/SEMTEC, junho de 1998.
18. **Diretrizes Curriculares Nacionais Para O Ensino Médio**, MEC/SEMTEC, setembro de 1998.