
SOBRE A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NO ENSINO DA FÍSICA⁺

Luiz O.Q. Peduzzi

Departamento de Física / Centro de Ciências Físicas e Matemáticas
Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais / Centro de
Ciências da Educação
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Resumo

Este trabalho procura mostrar que a resolução de problemas de lápis e papel, em física, não deve ser considerada pelo professor como uma atividade na qual o aluno, por esforço próprio e sem qualquer orientação específica, tenha necessariamente êxito 'se preparado conceitualmente para tal'. Constituindo-se em um segmento do ensino com especificidades próprias e por vezes bastante peculiares, a resolução de problemas, não somente em física mas também em outras áreas do conhecimento, não pode ser alijada ou pouco considerada no contexto geral das ações do professor como mediador do processo ensino-aprendizagem. Uma ampla discussão sobre este assunto, em sala de aula, seguramente resultará em um estudante melhor orientado e mais consciente de suas ações junto a este importante componente da sua aprendizagem em física.

I- Introdução

A resolução de problemas é de uma variedade infinitamente grande. Ela se faz presente, rotineiramente, não apenas no trabalho dos cientistas e nas atividades escolares dos estudantes, mas no dia-a-dia das pessoas, em geral.

De uma forma bastante genérica, pode-se dizer que uma dada situação, quantitativa ou não, caracteriza-se como um problema para um indivíduo quando,

⁺ Agradeço aos professores Marco Antonio Moreira, Arden Zylbersztajn, Sayonara Salvador Cabral da Costa e Norberto Jacob Etges, pelas críticas e sugestões a este artigo.

procurando resolvê-la, ele não é levado à solução (no caso dela ocorrer) de uma forma imediata ou automática. Isto é, quando, necessariamente, o solucionador se envolve em um processo que requer reflexão e tomada de decisões sobre uma determinada seqüência de passos ou etapas a seguir.⁽¹⁾

Em um exercício, por outro lado, independentemente de sua natureza, o que se observa é o uso de rotinas automatizadas como consequência de uma prática continuada. Ou seja, as situações ou tarefas com que o indivíduo se depara já são dele conhecidas, não exigindo nenhum conhecimento ou habilidade nova, podendo, por isso mesmo, ser superadas por meios ou caminhos habituais.⁽²⁾

Deste modo, a distinção entre problema e exercício é bastante sutil, não devendo ser especificada em termos absolutos. Ela é função do indivíduo (de seus conhecimentos, da sua experiência etc.) e da tarefa que a ele se apresenta. Assim, enquanto uma determinada situação pode representar um problema genuíno para uma pessoa, para outra ela pode se constituir em um mero exercício.

Na escola, e notadamente no campo da matemática, por exemplo, muitas situações que emergem inicialmente como problema para um indivíduo se transformam, para ele próprio, em ‘exercícios de aplicação’ da teoria, à medida que adquire e desenvolve novos conhecimentos e habilidades.

É oportuno, aqui, destacar, e não desmerecer ou relevar a um segundo plano, o papel do exercício nas tarefas escolares. É através dele que o estudante desenvolve e consolida habilidades. Este fato, no entanto, nem sempre fica claro ao aluno, que muitas vezes considera enfadonho, cansativo e sem propósito a repetição continuada de uma certa prática.

Neste sentido, cumpre ao professor realçar a importância e a função dos exercícios e dos problemas em sua disciplina. Ao se empenhar nisso ele pode contribuir para que seu aluno veja com outros olhos os exercícios e também se prepare melhor, tanto do ponto de vista cognitivo como emocional, para se envolver em atividades mais elaboradas, como as que caracterizam a resolução de problemas.

Infelizmente, a didática usual da resolução de problemas sofre de sérias insuficiências. Particularmente na área do ensino da física, objeto das considerações deste trabalho, o que se verifica é que o professor, ao exemplificar a resolução de problemas, promove uma resolução linear, explicando a situação em questão ‘como algo cuja solução se conhece e que não gera dúvidas nem exige tentativas’⁽³⁾. Ou seja, ele trata os problemas ilustrativos como exercícios de aplicação da teoria e não como verdadeiros problemas, que é o que eles representam para o aluno.

O entendimento destes problemas-exemplo ou problemas-tipo, pelo estudante, que supostamente exigem o respaldo do conhecimento teórico do assunto estudado, é visto pelo professor como condição suficiente para que o aluno se lance à resolução dos problemas que lhe são propostos.

Dentro desta concepção, as dificuldades do aluno com a resolução de problemas são geralmente diagnosticadas, pelo professor, como estando relacionadas a não compreensão, em níveis desejáveis, dos temas abordados e/ou a insuficientes conhecimentos matemáticos. *“Quando se pergunta ao professor em atuação quais podem ser as causas do fracasso generalizado na resolução de problemas de física, raramente expõe razões que culpem a própria didática empregada.”*⁽³⁾

Neste trabalho procura-se mostrar que a resolução de problemas de lápis e papel, em física, não deve ser considerada pelo professor, com o consentimento passivo do aluno, como uma atividade na qual este último, por esforço próprio, sem qualquer orientação específica, tenha necessariamente êxito. Ao contrário! O que se vê em sala de aula, tanto a nível de segundo grau quanto no ciclo básico do ensino universitário, é que as dificuldades do estudante ‘na transferência’ do que aprendeu à novas situações são muito grandes.

Constituindo-se em um segmento do ensino com especificidades próprias e por vezes bastante peculiares, a resolução de problemas, não somente em física mas também em outras áreas do conhecimento, não pode ser alijada ou pouco considerada no contexto geral das ações do professor como mediador do processo ensino-aprendizagem.

II - Fases ou estágios na resolução de problemas

Durante bastante tempo, como ressaltam Echeverría e Pozo⁽⁴⁾, *“estudos psicológicos e suas aplicações educativas pareceram compartilhar a idéia de que a resolução de problemas se baseia na aquisição de estratégias gerais, de forma que uma vez adquiridas podem se aplicar, com poucas restrições, a qualquer tipo de problema. Segundo este enfoque, ensinar a resolver problemas é proporcionar aos alunos essas estratégias gerais, para que as apliquem cada vez que se encontrem com uma situação nova ou problemática”*.

G.Wallas, em seu livro “A arte do pensamento”⁽⁵⁾, de 1926, sugere quatro fases na solução de problemas:

- ♣ Preparação - reunião de informações e tentativas preliminares de solução.
- ♣ Incubação - abandono temporário do problema para envolvimento em outras atividades.
- ♣ Iluminação - a chave para a solução aparece (é onde ocorre o ‘flash’ de ‘insight’, o ‘aha!’).
- ♣ Verificação - a solução obtida é testada para verificar a sua eficácia.

J.Dewey⁽⁶⁾, em 1910, enfatiza os seguintes aspectos envolvidos na resolução de problemas:

- Um estado de dúvida, perplexidade cognitiva, frustração ou consciência da dificuldade.
- Uma tentativa para identificar o problema, para compreender o que se procura, isto é, o objetivo a ser alcançado.
- Relacionamento da situação-problema à estrutura cognitiva do solucionador, ativando idéias de fundo relevante e soluções de problemas previamente alcançadas, que geram proposições de solução ou hipóteses.
- Comprovação sucessiva das hipóteses e reformulação do problema, se necessário.
- Incorporação da solução bem sucedida à estrutura cognitiva (compreendendo-a) e sua posterior aplicação ao problema em questão e a outros espécimes do mesmo problema.

Também G.Polya, mais recentemente, em seu famoso livro “A arte de resolver problemas”⁽⁷⁾ propõe uma série de passos na solução de problemas, baseado em observações que ele fez como professor de matemática, que não se limitam à didática de seu campo específico de trabalho. “*Primeiro, temos de compreender o problema, perceber claramente o que é necessário. Segundo, temos de ver como os diversos itens estão inter-relacionados, como a incógnita está ligada aos dados, para termos a idéia da resolução, para estabelecermos um plano. Terceiro, executamos o nosso plano. Quarto, fazemos um retrospecto da resolução completa, revendo-a e discutindo-a.*”⁽⁸⁾ Assim, segundo Polya, é preciso:

- ♠ Compreender o problema: O solucionador reúne informações sobre o problema e pergunta: *O que se quer, o que é desconhecido? O que se tem, quais são os dados e as condições?* Se houver uma figura deve ser traçada, introduzindo-se notação adequada para especificar os dados e a(s) incógnita(s).
- ♠ Delinear um plano: O solucionador procura valer-se da sua experiência com outros problemas para encaminhar a solução e pergunta: *Conheço um problema correlato que já foi antes resolvido? É possível utilizá-lo? Deve-se introduzir algum elemento auxiliar para tornar possível a sua utilização?* É difícil imaginar um problema absolutamente novo, sem qualquer semelhança ou relação com algum outro que já tenha sido objeto de estudo; se um tal problema pudesse existir, ele seria insolúvel. De fato, ao resolver um problema, via de regra, aproveitamos alguma coisa de um problema anteriormente solucionado, usando o seu resultado, ou o seu método, ou a experiência adquirida ao resolvê-lo.
Se, contudo, não conseguir resolver o problema proposto, procure antes solucionar algum problema correlato. *É possível imaginar um problema correlato mais acessível? Um problema mais genérico? Um problema mais específico? Um problema análogo? É possível resolver uma parte do problema?*

- ♠ Colocar em execução o plano: O solucionador experimenta o plano de solução, conferindo cada passo.

O caminho que vai desde a compreensão do problema até o estabelecimento de um plano pode ser longo e tortuoso. Executar o plano é muito mais fácil; paciência é o de que mais se precisa. O plano, no entanto, proporciona apenas um roteiro geral. Precisamos ficar convictos de que os detalhes inserem-se nesse roteiro e, para isto, temos de examiná-los, um após outro, pacientemente, até que tudo fique perfeitamente claro e que não reste nenhum recanto obscuro no qual possa ocultar-se um erro.

- ♠ Olhar retrospectivamente: O solucionador deve examinar a solução obtida. *É possível verificar o resultado, o argumento utilizado? É possível chegar ao resultado por um caminho diferente? É possível utilizar o resultado, ou o método, em algum outro problema?*

Até mesmo bons alunos ao visualizarem a solução de um problema e escreverem a sua demonstração passam rapidamente a um outro problema, ou então fecham os livros e dedicam-se a um outro assunto. Assim procedendo, eles perdem uma fase importante e instrutiva do trabalho da resolução. Se fizerem um retrospecto da resolução completa, reconsiderando e reexaminando o resultado final e o caminho que levou até este, eles poderão consolidar o seu conhecimento e aperfeiçoar a sua capacidade de resolver problemas.

As fases de Polya, por exemplo, se fazem presentes nas sugestões de Reif e outros⁽⁹⁾, relativamente à resolução de problemas de lápis e papel em física, quando orientam o estudante a adotar os seguintes procedimentos:

- ◆ Descrição: listar explicitamente os dados e a informação desejada. Fazer um diagrama da situação (o resultado deste passo deve ser uma formulação clara do problema).
- ◆ Planejamento: selecionar as relações básicas pertinentes para a solução do problema e delinear como serão usadas (o resultado deste passo deve ser um plano específico para encontrar a solução).
- ◆ Implementação: executar o plano precedente fazendo todos os cálculos necessários (o resultado deste passo deve ser a solução do problema).
- ◆ Conferência: certificar-se de que cada um dos passos precedentes seja válido e que a solução final faça sentido (o resultado deste passo deve ser uma solução segura do problema).

A identificação de fases ou etapas que permeiam a resolução de qualquer problema, e que portanto não dependem explicitamente de conhecimentos e habilidades

específicas a uma determinada área do conhecimento, ao mesmo tempo que dá um tom de unidade e homogeneidade a esta forma de conceber e abordar problemas, deixa claramente transparecer as suas deficiências.

Não há como negar que do ponto de vista psicológico variáveis como ansiedade, expectativas, intuição, sucesso, frustrações, etc. se fazem realmente presentes em qualquer tarefa de resolução de problema. O mesmo pode ser dito de parâmetros que sugerem ao solucionador uma certa organização ou melhor posicionamento em relação à situação-problema, como ler o enunciado do problema com atenção e circular a informação relevante, dividir o problema em partes ou subproblemas, analisar o resultado encontrado, etc.

Contudo, o que sem dúvida permite o acesso consciente e responsável do indivíduo em tarefas de resolução de problemas é o conhecimento específico que possui na área de abrangência do mesmo e de como este conhecimento se encontra organizado e disponível em sua estrutura cognitiva. Afirmar, no entanto, que o aluno só deve começar a resolver problemas depois de dominar ‘inteiramente’ a teoria é partilhar do erro de muitos professores que vêm a resolução de problemas como meros ‘exercícios’ de aplicação dos conteúdos estudados. Como bem ressalta Kuhn⁽¹⁰⁾, também se aprende a teoria resolvendo problemas.

De qualquer modo, é importante enfatizar que a implementação prática das quatro fases de Polya em problemas de matemática, ou das sugestões de Reif à resolução de problemas de física, depende, fundamentalmente, do arcabouço teórico do solucionador, sob pena de resultarem estéreis se o mesmo não for minimamente adequado ou pertinente.

A pesquisa mais recente na área de resolução de problemas tem dado bastante ênfase à relevância do conhecimento específico e da experiência acumulada em tarefas que exigem do indivíduo a busca de uma solução sem um caminho imediato, evidente, para a sua consecução.

Dos processos gerais úteis à solução de qualquer problema, passa-se, particularmente, a ver com interesse a figura do perito ou ‘expert’ como exemplo de eficiência para a resolução de problemas num determinado domínio do conhecimento.

Ao se procurar caracterizar, em linhas gerais, como o especialista (pesquisador ou professor) aborda e desenvolve experimentalmente uma situação-problema na área das ciências naturais (física, química e biologia), por exemplo, verifica-se que o procedimento típico deste profissional, em seu laboratório, é, basicamente, o seguinte:

Primeiro, há a identificação do problema a ser tratado, propriamente dito. Segue-se daí, entre outras coisas, a formulação de hipóteses e a construção de um modelo da situação subjacente. A obtenção, processamento e interpretação dos dados dão seqüência natural a este ‘approach’ inicial. Isto é, os dados provenientes de um

criterioso delineamento experimental são organizados e representados graficamente visando a sua quantificação. As limitações do experimento, o potencial dos resultados obtidos, a pertinência da realização de um novo experimento envolvendo eventuais ‘correções de rumo’ ou mesmo a busca de uma ‘confirmação’ e ampliação do escopo de validade dos resultados alcançados são então analisados.

Do ponto de vista do ensino de laboratório nas ciências naturais, a adoção deste procedimento leva a que se referendem leis já conhecidas ou que se proceda à sua ‘descoberta’, conforme o enfoque dado pelo professor à atividade experimental. Ao cientista, por seu turno, cabe uma análise criteriosa sobre a consistência dos resultados obtidos e a pertinência da sua divulgação à comunidade científica.

Mas a ênfase na identificação e desenvolvimento de habilidades e estratégias relacionadas ao ensino de laboratório, um capítulo certamente muito especial dentro da didática da física, em particular, não é o objetivo deste trabalho. É sobre a resolução de problemas de lápis e papel, no ensino da física, que se concentram as discussões conduzidas nas próximas seções.

III - A contribuição do especialista no delineamento de estratégias para a resolução de problemas de lápis e papel em física

Na área do ensino de física, a resolução de problemas pelo professor (e também por certos estudantes que se destacam por seu desempenho acadêmico) deveria apresentar-se, potencialmente, para muitos alunos, como um ‘modelo’ a ser seguido.

Isto é, a observação atenta do aprendiz à forma como o especialista aborda uma situação nova e utiliza os conhecimentos disponíveis para equacioná-la e proceder à sua solução deveria, em princípio, ser suficiente para que o primeiro, dispondo de conhecimento relevante e ‘seguindo o exemplo’ do segundo, tivesse igual sucesso no seu envolvimento com outras situações-problema.

As persistentes dificuldades dos estudantes na resolução de problemas de física têm sistematicamente mostrado que isto não é o que ocorre na prática. Por quê?

Basicamente, porque a resolução de problemas não é vista pelo professor de física como uma atividade que mereça, por si mesma, uma discussão mais específica de sua parte. Paradoxalmente, no entanto, este mesmo professor elege a eficiência na resolução de problemas como condição necessária e suficiente para a aprovação de seu aluno (como atestam as extensas listas de problemas que o estudante recebe para solucionar e as avaliações a que se submete, constituídas quase que exclusivamente de problemas).

Deixando o ceticismo de lado e admitindo-se que há o que aprender em relação à resolução de problemas, tanto da parte do professor, pela mudança de sua postura didática em relação a este tema, quanto do aluno, que melhor orientado pode ter

um desempenho mais consciente e ser menos averso a este importante componente de sua aprendizagem de física, cabe de imediato a pergunta: o que fazer, então, a este respeito?

Pode-se, por exemplo, procurar investigar mais amiúde como o ‘expert’ resolve problemas, e a partir dos dados disponíveis aprofundar algumas discussões neste sentido.

Assim, solicitar a um bom solucionador que ‘pense alto’ enquanto resolve um problema, ou que o solucione sem qualquer manifestação oral e depois exprima o que fez e por que fez, pode trazer informações úteis sobre o processo de resolução. Em qualquer dos casos, contudo, é preciso estar atento para as limitações dos registros feitos.

‘Forçar’ um solucionador a pensar alto durante o seu envolvimento com um problema pode levá-lo, consciente ou inconscientemente, a relatar apenas os passos ou movimentos por ele julgados seguros ou pertinentes. A análise retrospectiva, por outro lado, sem escapar a mesma crítica, torna pouco provável que ‘considerações precisas de comportamento, incluindo todos os processos cognitivos empregados, possam ser reconstituídos pelo solucionador’.⁽¹¹⁾

A observação crítica em sala de aula, que busca contrastar como situações-problema são abordadas por alunos com diferentes graus de sucesso em relação às mesmas, complementada por informações que advêm da comparação entre o desempenho do aluno em testes e verificações de aproveitamento e a forma como resolve os problemas que constam nestas avaliações, também contribui para que se tenha uma melhor compreensão das diferenças existentes entre bons e maus solucionadores e das dificuldades enfrentadas por muitos estudantes em relação a resolução de problemas em física.

As pesquisas desenvolvidas a partir destas e de outras técnicas e metodologias de investigação mostram que existem diferenças significativas em relação a como bons e maus solucionadores, ou especialistas e novatos, resolvem problemas de física⁽¹²⁻¹⁶⁾.

O modelo de Kramers-Pals e Pilot⁽¹⁷⁾ (Fig.1), de aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento, segundo os seus autores, é bastante ilustrativo e sugestivo para os propósitos do presente trabalho. Nele, as dificuldades mais freqüentemente encontradas por estudantes com pouca experiência na resolução de problemas são elencadas em função de quatro etapas bem distintas existentes no processo de resolução de um problema: análise do problema, planejamento do processo de solução, execução de operações de rotina e conferência da resposta e interpretação do resultado.

Além de deixar patente o mau posicionamento do novato frente a uma situação-problema, este modelo também evidencia as limitações, e mesmo a ineficácia,

da ‘aprendizagem por imitação’ do novato pelo ‘expert’, ou do estudante pelo professor, em tarefas de resolução de problemas.

Ocorre que durante o processo de solução de um problema pelo especialista muitos dos ‘passos’ por ele seguidos não se fazem perceptíveis ao observador atento, pois são tomados mentalmente e de uma forma bastante abreviada. Usualmente, a única parte passível de um acompanhamento mais detalhado é a que se refere a execução das operações de rotina (fase 3, na Fig.1), isto é, os cálculos principais do problema. *“Na fase1, a parte escrita limita-se freqüentemente ao ‘rabisco’ de alguns dados. Na fase 2, o loop 2b-2c não é em geral comentado, porque a maioria dos problemas são meras rotinas para o professor (exercícios). A conferência dos resultados, tão usual ao especialista, também é feita mentalmente. Como, então, podem os estudantes aprender a fazerem uma cuidadosa análise do problema, a planejar os passos relativos a solução e a avaliarem os resultados se eles não vêem o professor fazendo isso?”*⁽¹⁷⁾

Assim, não há dúvida de que cabe não apenas ao professor (devidamente preparado para tal) mas também a textos didáticos (mais ‘atentos’ aos resultados das pesquisas educacionais) a tarefa de atuarem como mediadores para capacitar o estudante a ter uma visão mais abrangente e crítica sobre a resolução de problemas em física. Os estudos veiculados na literatura especializada em resolução de problemas fornecem subsídios valiosos para este fim.

Com o objetivo de promover, didaticamente, uma discussão mais pormenorizada sobre a resolução de problemas de lápis e papel no ensino da física geral, apresenta-se, a seguir, a estrutura básica de uma estratégia supostamente adotada por um bom solucionador no processo de resolução de um problema, comentando os seus elementos constituintes na seção 5. Os itens que a compõem são, basicamente, os apresentados por Peduzzi no grupo de trabalho F₂ (‘La solución de problemas y la formación de profesores de Física’) da V Reunião Latino Americana de Ensino de Física⁽¹⁸⁾. A sua aceitabilidade geral, entre os participantes, fez com que constassem no item ‘Algunas recomendaciones al alumno’ das recomendações gerais feitas por este grupo.

Desde já, contudo, cabe ressaltar que uma dada estratégia, independentemente de como esteja estruturada e de como seja utilizada, não pode ser vista como uma receita-padrão para a solução de qualquer problema por qualquer pessoa.

O número de variáveis envolvidas na resolução de problemas é, como se viu, muito grande, já que o ato de solucionar, propriamente dito, não se relaciona apenas com o conhecimento em si. A intuição, a criatividade, a perspicácia, ansiedades, frustrações etc. do solucionador claramente interferem nesta atividade, contribuindo para diferenciar as pessoas umas das outras.

Repetidas dificuldades de estudantes na resolução de problemas quantitativos

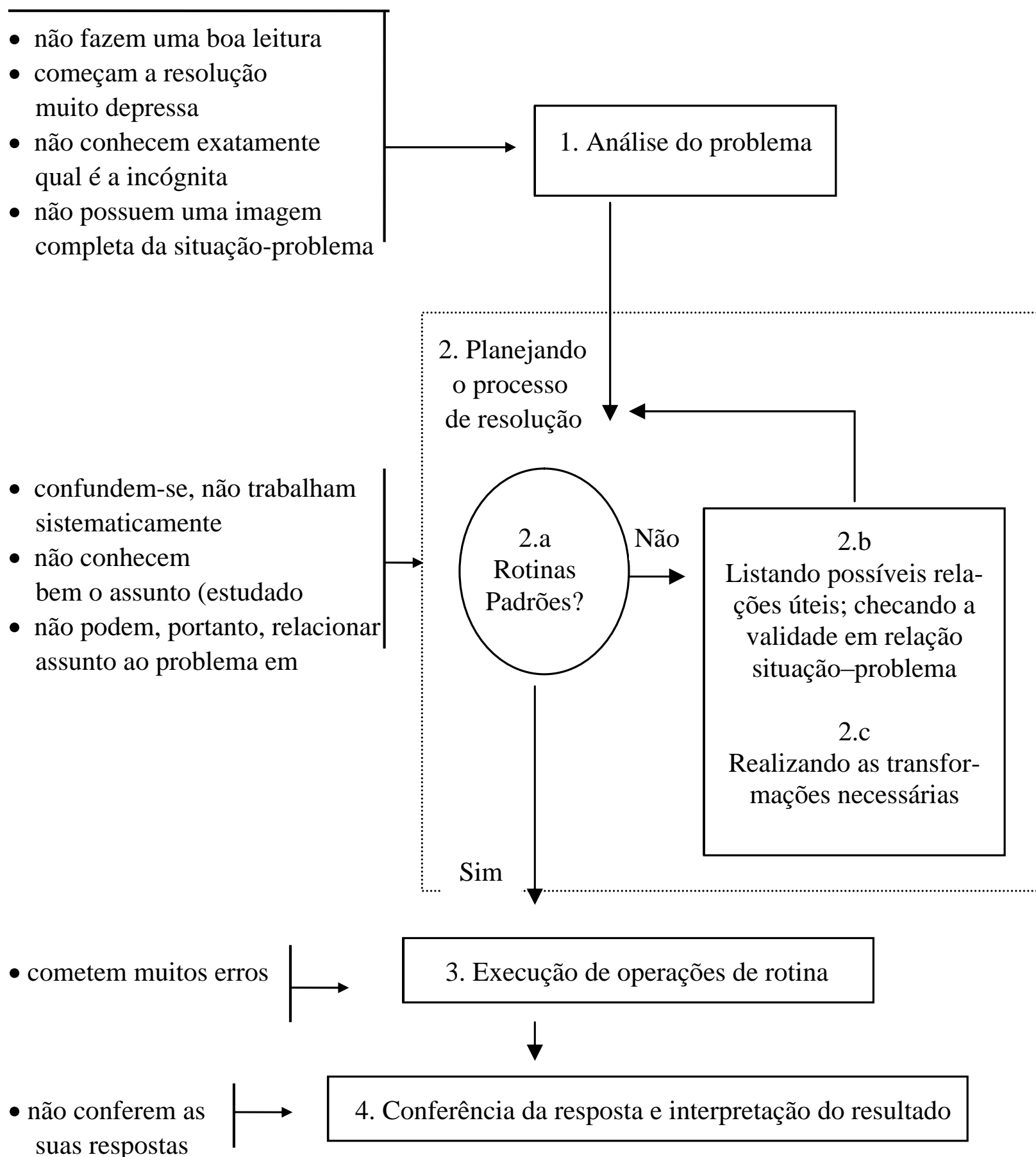


Fig.1 - Um modelo interpretativo para a análise das dificuldades de estudantes em relação a resolução de problemas.

A recusa do cético ao exame dos elementos de uma estratégia, por duvidar de sua eficácia geral, resulta, então, sem sentido, se a estratégia em questão for vista como um elemento desencadeador de dois importantes processos: o de pro-mover, como já foi dito, uma discussão que se faz realmente necessária sobre a resolução de problemas e o de se constituir em uma fonte de possíveis subsídios e inspiração para que o estudante desenvolva estratégias próprias para a resolução de problemas.

IV - Uma estratégia para a resolução de problemas em física básica

A implementação da estratégia reúne as seguintes ações (que não estão ordenadas por hierarquia ou ordem de importância) na abordagem de um problema de física básica:

1. Ler o enunciado do problema com atenção, buscando à sua compreensão;
2. Representar a situação-problema por desenhos, gráficos ou diagramas para melhor visualizá-la;
3. Listar os dados (expressando as grandezas envolvidas em notação simbólica);
4. Listar a(s) grandeza(s) incógnita(s) (expressando-a(s) em notação simbólica);
5. Verificar se as unidades das grandezas envolvidas fazem parte de um mesmo sistema de unidades; em caso negativo, estar atento para as transformações necessárias;
6. Analisar qualitativamente a situação problema, elaborando as hipóteses necessárias;
7. Quantificar a situação-problema, escrevendo uma equação de definição, lei ou princípio em que esteja envolvida a grandeza incógnita e que seja adequada ao problema;
8. Situar e orientar o sistema de referência de forma a facilitar a resolução do problema;
9. Desenvolver o problema literalmente, fazendo as substituições numéricas apenas ao seu final ou ao final de cada etapa;
10. Analisar criticamente o resultado encontrado;
11. Registrar, por escrito, as partes ou ‘pontos chave’ no processo de resolução do problema;

12. Considerar o problema como ‘ponto de partida’ para o estudo de novas situações-problema.

V - Comentários sobre a estratégia apresentada na seção anterior

Para fins didáticos, examina-se, agora, os componentes da estratégia apresentada na seção anterior sob a ótica do especialista (professor), que, concordando com a sua estrutura geral, tenta sensibilizar o novato (no caso, o estudante iniciante e interessado) à consideração de seus itens.

O primeiro quesito da estratégia enfatiza a importância da leitura cuidadosa do enunciado de um problema. É através dele que o solucionador toma contato com as ‘condições de partida’ do problema e tem conhecimento das metas a serem atingidas. Por isso, o enunciado deve ser objeto de toda a atenção possível para não serem desconsideradas informações relevantes nele contidas. A sua compreensão é portanto fundamental. De fato, *“é uma tolice responder a uma pergunta que não tenha sido compreendida”*⁽¹⁹⁾. Tolicie ainda maior é abordar um problema sem querer, de fato, resolvê-lo.

A leitura do enunciado deve ser acompanhada, naturalmente, das primeiras tentativas de visualização e de delineamento do problema. Deste modo, o item dois da estratégia sugere ao solucionador que esboce um desenho ou diagrama da situação física considerada com o objetivo de evitar abstrações desnecessárias que podem ser prejudiciais ao desenvolvimento do problema. Fazer desenhos, gráficos ou diagramas na fase inicial ou de formulação de um problema é uma praxe que se mostra muito mais freqüente entre bons solucionadores do que entre aqueles que não detêm igual sucesso na resolução de problemas.^(12,14)

Na forma convencional, em geral apresentada pelos livros de texto e utilizada pelo professor, um problema de física encontra-se especificado em termos de um conjunto bem estruturado de informações - os dados do problema - juntamente com o que se deseja atingir com as informações disponíveis - os objetivos ou metas do problema. Assim, no que diz respeito a organização do problema, pode ser conveniente listar os dados e as grandezas incógnitas (itens 3 e 4 da estratégia), expressando-os em notação pertinente, para se ter fácil acesso, em qualquer etapa da resolução, acerca do que se dispõe e do que se necessita determinar. Inserir dados, e mesmo incógnitas, nos diagramas apresentados pelo problema ou naqueles elaborados pelo solucionador pode ser de grande utilidade.

A partir dos dados, explicitamente apresentados nos problemas numéricos, isto é, não literais, verifica-se a vantagem de trabalhar neste ou naquele sistema de unidades, caso as grandezas envolvidas não possuam unidades expressas

em um mesmo sistema. Algumas vezes pode ser interessante efetuar, de imediato, as transformações necessárias para se ter uma idéia mais clara das intensidades relativas das grandezas envolvidas ou, mesmo, para evitar possíveis esquecimentos quando da substituição das mesmas pelos seus correspondentes valores numéricos nas equações do problema. Muitas vezes, contudo, simplificações de termos ou de unidades podem tornar desnecessária esta tarefa de transformação.

Estes primeiros itens da estratégia, que dependendo da natureza do problema exigem uma maior ou menor aplicação do solucionador para a sua implementação, procuram incentivar o estudante a dar início ao problema, auxiliando-o na sua formulação. Um começo, mesmo incipiente, representa, por si, uma mudança significativa em relação à atitude de leitura e desistência que se apodera de muitos alunos quando se envolvem com a resolução de problemas em física. Este procedimento inicial, enfim, pode e deve direcionar a atenção do solucionador para o que propõe o próximo item da estratégia.

O item seis da estratégia sugere uma análise qualitativa do problema, a fim de delineá-lo o mais claramente possível, antes de passar à sua quantificação, isto é, antes de se lidar com as equações que permitirão resolvê-lo. Considerações sobre a constância desta ou daquela grandeza, as aproximações envolvidas, a aplicabilidade de leis e princípios implicados, etc., exemplificam aspectos de um problema que, levados em conta em uma discussão inicial, contribuem para que se desenvolva uma melhor clareza e compreensão da situação tratada.

Esta discussão qualitativa, em nível mais aprofundado, é a que se busca, propositadamente, em problemas não convencionais, de enunciados abertos ou semi-abertos. Nestes casos, o enunciado não se constitui em uma fonte completa de informações, isto é, não apresenta os ‘dados usuais’ de que se necessita para resolver o problema, como ocorre nos de enunciados fechados - os tradicionais.

Assim, um enunciado do tipo “*Calcule o tempo em que se dará o encontro entre um automóvel e um carro de polícia que se lança em sua perseguição*” exemplifica um enunciado aberto, em contraste com um enunciado fechado que, envolvendo situação análoga, apresentaria uma descrição completa da mesma, especificando, para o cálculo do tempo de encontro dos veículos, a separação inicial entre eles, suas respectivas velocidades e os tipos de movimentos. “*Os problemas sem dados no enunciado obrigam os alunos a fazer hipóteses, a imaginar quais devem ser os parâmetros pertinentes e de que forma intervêm. São as hipóteses que focalizam e orientam a solução.*”⁽³⁾ Já a estrutura rígida de um enunciado fechado dá pouca, ou nenhuma, margem para a emissão de hipóteses por parte do solucionador.

Com problemas de enunciados abertos, Gil Perez, seu grande incentivador, propõe uma mudança radical na didática habitual da resolução de

problemas em física. Além de propiciarem uma resolução de problemas necessariamente mais participativa e consciente, pelo estudante, estes problemas mostram-se potencialmente úteis para familiarizar melhor o aluno com alguns aspectos da metodologia científica, que aparece distorcida nos problemas tradicionais, segundo este pesquisador espanhol.

Ocorre que a estrutura usual dos problemas de lápis e papel, em física, calcada na busca de uma conexão entre dados e incógnitas, induz o estudante a considerar o conhecimento como resultado de um processo indutivo de inferência a partir de dados conhecidos, isto é, a uma visão empirista da ciência.

De acordo com Gil Perez, uma autêntica resolução de problema deve, necessariamente, possibilitar ao solucionador a emissão de hipóteses e a elaboração de estratégias de solução, a partir do repertório teórico de que dispõe, bem como uma cuidadosa apreciação da resposta obtida, em termos de sua viabilidade física à situação desenvolvida.⁽²⁰⁾ Neste sentido, ao mesmo tempo que ressalta a importância dos problemas de enunciados abertos para alcançar estes objetivos, ele se posiciona contra o uso de ‘problemas-tipo’, que provocam fixação e tornam mais difícil o engajamento do aluno dentro de uma concepção de problema que privilegia o caráter de investigação que esta atividade deve ter.

É importante ressaltar que a metodologia proposta por Gil Perez para a abordagem de problemas sustenta-se, teoricamente, no desenvolvimento de um ensino em conformidade com certos aspectos consensuais da moderna filosofia da ciência (Kuhn, Popper, Lakatos, Toulmin, Hanson etc.). Isto é, em um ensino que deve destacar o papel central da hipótese e do conjunto de pressupostos teóricos do cientista na proposição, delineamento, articulação e seleção de teorias. A ‘transformação’ de um problema fechado em um problema de enunciado aberto não demanda maiores dificuldades^(21,22), o que sem dúvida facilita a sua utilização pelo professor em classe.

A análise qualitativa (e a elaboração de hipóteses) presente em maior ou menor intensidade em um problema, dependendo de seu ‘tipo’, conduz de forma natural à busca por equações que se ajustem às condições do problema e que relacionem as grandezas nele envolvidas (item sete da estratégia).

Os itens seis e sete da estratégia deixam claro que é necessária uma adequada fundamentação teórica para que seja viável uma resolução de problema bem sucedida. Uma boa compreensão das equações de definição, leis e princípios é essencial para uma aplicação correta dos mesmos. *“A posse de um conhecimento relevante na estrutura cognitiva, especialmente se claro, estável e discriminável, facilita a solução de problemas. De fato, sem tal conhecimento nenhuma solução de problemas é possível, apesar do grau de habilidade do aprendiz na aprendizagem*

pela descoberta; sem este conhecimento ele não poderia nem começar a compreender a natureza do problema com que se defronta.”⁽²³⁾

Vê-se, assim, o quanto é imprópria a atitude, bastante comum, de estudantes que se lançam à resolução de problemas sem antes terem desenvolvido ao menos uma compreensão básica do quadro conceitual em que eles se inserem. Isto, certamente, em nada favorece o intercâmbio entre teoria e problemas, nos termos de Kuhn. O que acontece, então, nesses casos, via de regra, é que o estudante fica perdido e ou desiste do problema ou incorre em erro, utilizando, indiscriminadamente, equações que nada têm a ver com a situação considerada.

O item oito da estratégia salienta a importância do sistema de referência na resolução de problemas. O caráter vetorial de inúmeras grandezas físicas, bem como especificações de energia potencial, de posição etc., exigem do solucionador uma particular atenção para definir convenientemente o referencial que vai orientar as suas ações, já que uma escolha apropriada do mesmo pode simplificar bastante o equacionamento de um problema.

A instrução nove da estratégia incentiva o desenvolvimento literal de um problema, já que este procedimento, amplamente utilizado por bons solucionadores de problemas, se constitui em um fator diferenciador entre especialistas e novatos.⁽¹⁴⁾ As vantagens em se obter uma expressão algébrica para a grandeza incógnita e, somente após, nela inserir valores numéricos são, entre outras, as seguintes⁽²⁴⁾:

- a) a expressão obtida pode ser checada dimensionalmente;
- b) o cancelamento de termos na derivação da expressão é exato;
- c) o significado físico do resultado é frequentemente mais claro;
- d) problemas similares, com diferentes valores para as variáveis, podem ser resolvidos sem que se tenha que recorrer a uma nova derivação;
- e) quando a resposta não está correta, pode-se verificar se o erro está na física, na álgebra ou na aritmética;
- f) em verificações de aprendizagem, a obtenção correta de uma expressão poderá merecer a maior parte dos pontos da questão, em que pese erro de aritmética no resultado encontrado.

Ao se desenvolver um problema literalmente e encontrar uma expressão geral para a quantidade procurada em função de parâmetros especificados pelo enunciado (problemas fechados) ou indicados pelo próprio solucionador (problemas abertos) se obtém, especificamente, a relação de dependência da incógnita sobre outras quantidades (independente desta ou daquela grandeza, proporcional a esta ou aquela quantidade, etc.). Isto possibilita contrastar a análise qualitativa previamente realizada pelo solucionador com o resultado do problema, além de viabilizar o exame de casos limites (atribuir a uma grandeza valores muito grandes ou muito

pequenos e verificar o seu efeitos sobre a grandeza incógnita). “A *consideração de casos limites não é apenas útil para detectar resultados incorretos, mas também para modificar delineamentos qualitativos, fixar limites de validade das expressões obtidas, etc.*”⁽²⁵⁾

A análise crítica do resultado de um problema (item dez da estratégia) é, sem dúvida, uma importante e imprescindível tarefa a ser executada pelo solucionador. Além do que já foi dito a este respeito, deve-se ainda mencionar que o exame da viabilidade física de uma resposta pode sugerir a existência de incorreções na ‘fase de execução’ do plano estabelecido: é comum, por exemplo, erro no desenvolvimento literal de um problema, ou quando da substituição das grandezas por seus valores numéricos. Por outro lado, em situações onde a aritmética proporciona mais de um resultado (como ocorre em certos problemas envolvendo o movimento de projéteis e também em situações que demandam o cálculo do tempo de encontro de dois corpos), a interpretação e seleção da resposta pertinente faz-se presente como uma ação indispensavelmente obrigatória.

Registrar os ‘pontos-chave’ no processo de solução (item onze da estratégia), como aspectos relativos à análise qualitativa, possíveis hipóteses, adequação de equações, leis e princípios e a análise do resultado, além de tornar o problema mais compreensível para quem o lê (professor ou colega), pode ser útil ao próprio solucionador em uma leitura ou estudo posterior do mesmo. ‘Uma resolução fundamentada e claramente explicada, previamente ou à medida que se avança’, como adverte Gil Perez⁽³⁾, exige verbalização, o que a coloca longe ‘dos tratamentos puramente operativos, sem nenhuma explicação, que se encontram muito comumente nos livros de texto’ e em situações de sala de aula.

Há sempre alguma coisa a se fazer em relação a um problema, mesmo depois de resolvido. Assim, considerar as perspectivas abertas pelo problema para o estudo de novas situações-problema é o que propõe o item doze da estratégia. O estudo de uma (ou mais) variante do problema recém resolvido pode e deve levar o solucionador a uma compreensão mais abrangente do quadro teórico em que ele se situa. Quando dar realmente por finalizado um problema é, portanto, uma interessante questão que se coloca ao solucionador⁽²⁶⁾.

Todo este conjunto integrado de ações contribui, enfim, para que o estudante proceda à resolução significativa de um problema, incorporando a solução à sua estrutura cognitiva. Com isso, afasta-se o ‘fantasma’ da solução mecânica, que tão incansavelmente acompanha a resolução de problemas de muitos estudantes. Esta última ocorre quando se obtém a solução de uma dada situação sem entendê-la bem^(27,28). Uma fonte geradora deste mecanismo é o que o pesquisador americano Clement⁽²⁹⁾ denomina ‘conhecimento’ centrado em fórmula. Isto sucede quando o solucionador utiliza corretamente uma equação, princípio, etc. chegando ao

resultado, mas a idéia que tem da situação física envolvida é pouca ou nenhuma. Neste caso, ele pode utilizar um tipo de representação com sucesso (por exemplo uma fórmula) mas ter muita dificuldade com uma outra forma de representação da mesma situação (um gráfico, por exemplo). Pode, também, ter bastante dificuldade em explicar o quê, e por quê, fez.

Às vezes, por mais que se tente, e dispondo de conhecimento específico para tal, não se consegue resolver um problema. Nestes casos, pode ser interessante utilizar o processo de ‘incubação’, mencionado por Wallas (seção 2). Deixar o problema temporariamente de lado, envolvendo-se em outros afazeres, parece contribuir no sentido de dissipar idéias confusas sobre o mesmo. Ao retornar novamente ao problema, depois de passado um certo tempo, o solucionador, por vezes, consegue obter a solução correta do mesmo. Um exemplo bastante comum deste fato provém de relatos de estudantes que afirmam ter resolvido em casa um problema que durante a prova não haviam conseguido solucionar.

Uma versão mais dramática do processo de incubação seguido por iluminação, nos termos de Wallas, sucede quando vem à mente do indivíduo, de repente, a resposta, a chave para a resolução, num contexto em que, curiosa e caprichosamente, o solucionador não está diretamente envolvido com o problema em si. Isto foi exatamente o que se passou com o notável matemático francês J. Henri Poincaré (1854-1912), quando deixou Caen, onde vivia, para realizar uma excursão geológica. Conforme ele mesmo relata, *“...a sensação e o motivo da viagem fizeram-me esquecer meu trabalho matemático. Tendo atingido Countances, dirigimo-nos ao ônibus que nos levaria a nosso destino. No momento em que pus o pé no estribo veio-me a idéia, sem que nada em meus pensamentos anteriores tivesse pavimentado o caminho para isto, de que as transformações que usei para definir as funções fuchsianas eram idênticas às da geometria não-euclidiana. Não verifiquei de imediato a idéia; não teria tempo, eis que, assentando-me no ônibus, prossegui numa conversa que já tinha começado - mas eu sentia uma certeza absoluta. Quando de meu retorno a Caen, verifiquei o resultado...”*⁽³⁰⁾.

Um outro exemplo, bastante interessante, vem do historiador e tradutor galileano Stillman Drake. Profundo conhecedor da obra e da vida de Galileu, surge a este conceituado pesquisador, ‘repentinamente’, uma nova e ‘perturbadora’ hipótese que tem a força de redirecionar todo o planejamento de um trabalho já em andamento. Assim, no capítulo introdutório de seu livro “Galileu” ele relata: *“Só quando escrevia este livro, e depois de ter redigido parte dele de maneira bastante diferente, é que me ocorreu, muito repentinamente, tentar a hipótese de que Galileu*

tinha falado não convencional mas sinceramente no seu zelo pela Igreja⁺, e que, na verdade, o zelo católico o motivara a correr certos riscos pelos quais, finalmente, não foi recompensado mas castigado. Tendo lido anteriormente, e muitas vezes, os documentos relevantes, tinha-os, por assim dizer, simultaneamente presentes com palavras de Galileu em várias ocasiões relacionadas com elas. O efeito que esta nova hipótese me provocou foi como um choque elétrico, como encontrar por acaso um documento esquecido, que resolve velhas confusões.”⁽³¹⁾

Naturalmente, é condição necessária para a ocorrência de situações análogas as acima descritas o empenho do indivíduo em reinteradas tentativas de resolução de seu ‘problema’. Não é de forma alguma eficaz deixar temporariamente de lado um problema “*sem termos a impressão de que já conseguimos alguma coisa, de que pelo menos um pequeno ponto foi estabelecido, de que algum aspecto da questão ficou de certo modo elucidado, quando paramos de trabalhar nele. Somente voltam melhor delineados aqueles problemas cuja resolução desejamos ardentemente ou para o qual tenhamos trabalhado com grande intensidade. O esforço consciente e a tensão parecem necessários para deflagrar o trabalho subconsciente. De qualquer modo, tudo se passaria com grande facilidade se assim não fosse: poderíamos resolver difíceis problemas simplesmente indo dormir ou esperando o aparecimento de uma idéia brilhante.*”⁽³²⁾

VI - Observações e comentários finais

Em um levantamento informal realizado pelo autor deste trabalho no segundo semestre de 1995, em consulta a dez professores do Departamento de Física da UFSC em atuação (ou recentemente envolvidos) na disciplina Física I (Mecânica), cursada por estudantes de diversas áreas do conhecimento (Física, Química, Matemática, Engenharias etc.), sobre as possíveis causas do fracasso dos estudantes em relação à resolução de problemas nesta disciplina, houve, como era de se esperar, quase que uma unanimidade no diagnóstico destes docentes em relação a dois pontos básicos:

a) falta de um adequado embasamento teórico, isto é, pouca compreensão dos conceitos e princípios subjacentes aos problemas, o que conduz, do ponto de vista cognitivo, a dificuldades na descrição física e na própria interpretação e compreensão do enunciado do problema; a pouca visão física da

⁺ O tratamento formal, em comunicação oral ou escrita mantido com autoridades exigia, ao tempo de Galileu (e ainda hoje), o uso de palavras de estima e apreço que não tinham, necessariamente, compromisso com a sinceridade.

situação apresentada; ao não entendimento do que as equações expressam, o que resulta na aplicação incorreta de conceitos e leis físicas, favorecendo a resolução mecânica; a dificuldades na análise do problema e aplicação dos conceitos e princípios pertinentes etc. e

b) insuficientes conhecimentos de matemática elementar (deficiências em trigonometria básica, na análise de gráficos, na manipulação das variáveis de uma equação, na resolução de equações de 1^o e 2^o graus, e na solução de um sistema de equações), que impedem uma adequada formalização e tratamento ‘sem erros’ da situação-problema.

Foram também destacados:

♠ a falta de uma metodologia para a abordagem de problemas, pelo aluno; (Professores R e S)

♠ a falta de raciocínio lógico; (Professores R, S e ML)

♠ o desinteresse do aluno pela disciplina, manifesto pelo pouco empenho na resolução dos problemas propostos, pela frequência irregular em sala de aula, por uma rotina assistemática de trabalho e pelo seu descrédito quanto a ‘utilidade’ da disciplina em seu currículo. (Professores T, ML, PC, H e W)

Cabe ainda registrar algumas observações isoladas que, no conjunto das respostas às causas das dificuldades dos alunos recém ingressos na universidade com a resolução de problemas de física, ajudam a mostrar a dimensão do problema em que se insere esta questão.

♣ *“Um operativismo mecânico. Os alunos são condicionados, a partir do 2^o grau, a verem os ‘problemas’ como uma questão de aplicação da ‘fórmula correta’, a qual eles devem encontrar no seu repertório decorado. Desta forma, não se preocupam, ou mesmo não desenvolvem, as habilidades de interpretação do enunciado e de análise teórica da situação-problema. Deve-se notar que as formas como os problemas são apresentados nos textos do 2^o grau e mesmo universitários induzem a este tipo de atitude por parte do aluno (e do professor, muitas vezes).”* (Professor A)

♣ *“Atitude de apatia frente a um problema - o aluno conclui que não sabe (ou não quer) fazer e portanto nem tenta, espera que o professor faça.”* (Professor S)

♣ *“Os alunos não se interessam pela resolução de um problema, apenas pela sua solução.”* (Professor ML)

♣ *“O imediatismo. Nossos estudantes permanecem em aula se a gratificação for imediata (uma dica importante, um bom humor em classe, uma brincadeira etc.). A noção de que a verdadeira gratificação é cumulativa e muito*

pouco estimulante do ponto de vista emocional parece ser estranha aos alunos. Talvez isso seja infantilismo intelectual.” (PC)

♣ *“A existência de inúmeras ‘edições’ de problemas resolvidos, que funciona como um mecanismo que desmobiliza o estudante a dar a devida atenção ao trabalho de resolver os problemas” (Professor PC)*

♣ *“Os alunos manipulam variáveis físicas como se fossem meras variáveis matemáticas. Também lêem o enunciado com pouca atenção, o que os impede de captar a mensagem do problema.” (Professor W)*

♣ *“Os alunos não estão acostumados a estudar de forma correta, o que impede uma associação pertinente entre teoria e problemas. Os problemas são estudados de forma aleatória e não como exemplares paradigmáticos de certos aspectos teóricos.” (Professor A)*

A opinião destes professores, de modo geral, vem reforçar o que se procurou mostrar nas considerações feitas ao longo deste trabalho. Ou seja, que além da ênfase no conteúdo teórico (físico e matemático) em que se fundamenta a resolução de problemas sobre um determinado assunto, de capital importância para uma resolução significativa de problemas e à sua subsequente incorporação à estrutura cognitiva do solucionador, é preciso, igualmente, se investir na resolução de problemas como um tema também suscetível de uma aprendizagem, por parte do aluno.

A análise crítica de estratégias (como a aqui apresentada e/ou de outras existentes na literatura especializada^(24,33-35)), inserida num contexto de discussão geral sobre a importância e os objetivos da resolução de problemas de lápis e papel no ensino da física, pode ser de grande utilidade para que o estudante, mais consciente e com uma melhor compreensão do assunto, desenvolva metodologias mais eficientes para a abordagem dos problemas que lhe são propostos.

Problemas de enunciados abertos, pelo impacto inicial que causam e interesse que logo despertam no estudante, devidamente explorados pelo professor em sala de aula e nas usuais listas de problemas, mostram-se, da mesma forma, indubitavelmente úteis no delineamento de um conjunto articulado de ações que visa mudar o perfil do tradicional ‘aluno resolvidor de problemas’, origem de tantos insucessos.

Quanto aos problemas fechados, no qual se incluem os problemas-exemplo ou problemas-tipo, de amplo uso na didática usual da resolução de problemas, não é preciso e nem se deve rechaçá-los, ou buscar, necessariamente, transformá-los em problemas abertos equivalentes. Eles também têm a sua função no aprendizado do estudante. *“Não há nada de errado, naturalmente, com a solução de problemas, identificando-os genuinamente como exemplos de uma classe mais*

extensa à qual certos princípios e operações podem ser aplicados - desde que se compreenda os princípios em questão, porque eles se aplicam a este caso em particular, e a relação entre os princípios e as operações manipulativas usadas na aplicação. Com demasiada freqüência, porém, isto não é o caso. Na maioria das salas de aula de matemática ou de ciências, a solução de problemas-tipo envolve pouco mais do que a memorização de rotina e aplicação [mecânica] de fórmulas.”⁽³⁶⁾ Cabe, portanto, ao professor, estar atento à esta importante observação ao fazer uso destes problemas em classe.

Neste contexto de ‘transformação’, a postura coerente do professor que valoriza em suas avaliações o registro dos pontos-chave no processo de resolução de um problema (análise qualitativa, hipóteses feitas, justificativa de leis e princípios utilizados, análise do resultado e comentários gerais) aparece como um incentivo (com as duas interpretações que lhe cabem) de fundamental importância para que o aluno reveja a sua prática usual de abordar problemas.

Também não se pode deixar de constatar que a rotina da resolução de problemas, seja em grande grupo (professor + classe, geralmente com ênfase em problemas-tipo) ou em grupos menores (aluno-aluno, aluno-professor-aluno), que se formam espontaneamente ou com o auxílio do professor, em sala de aula e também em situações extra-classe, caracteriza esta atividade como um empreendimento eminentemente coletivo. Estruturado convenientemente, certamente estimula a colaboração entre diferentes indivíduos.

Visto estritamente sob esta ótica, contudo, parece procedente a crítica de que as dificuldades individuais dos estudantes em relação a resolução de problemas são absolutamente normais, pois em avaliações de aprendizagem, notadamente, exige-se do aluno uma competência para o qual não foi apropriadamente preparado e/ou estimulado - resolver problemas sozinho: “*Se observarmos o comportamento de alunos numa sala de aula, envolvidos na resolução de um problema, vamos notar que a interação social e os comportamentos cooperativos predominam. Os alunos trocam idéias e informações entre si; o professor freqüentemente intervém dirigindo-se a alguns grupos ou à toda sala fazendo sugestões, chamando a atenção para determinados detalhes ou cuidados a serem tomados, até que, aqui e ali, aos poucos, a solução aparece. Logo ela é compartilhada e a maioria dos alunos consegue resolver o problema.... No entanto, nas avaliações, é isso que se exige do aluno: fazer o que não aprendeu, mostrar uma competência que ainda não adquiriu. Ele, então, fracassa, é claro.*”⁽³⁷⁾

Por isso, é também muito importante alertar o estudante para que invista parte do seu tempo de estudos à reflexão individual, visando o aprofundamento teórico do quadro conceitual e a resolução de problemas por esforço próprio. Neste caso, todo o contexto de discussão ocorrido nos grupos de trabalho certamente

contribuirá para o seu posicionamento mais crítico e envolvimento mais produtivo com novas situações-problema.

A resolução de problemas em pequenos grupos também pode e deve ser explorada pelo professor em suas avaliações da aprendizagem, até como forma de espelhar melhor a realidade dos trabalhos desenvolvidos em sala de aula. Não há porque ser contra esta idéia. Os problemas abertos de Gil Perez são bastante propícios para este fim.

O tema resolução de problemas de lápis e papel no ensino da física é abrangente, complexo, sutil,...desafiador, também, pelas possibilidades de investigação e de opções que abre ao professor e das perspectivas de mudança que traz ao aluno.

VII - Referências Bibliográficas

1. ECHEVERRÍA, M.P.P. & POZO, J.I. Aprender a resolver problemas y resolver problemas para aprender. In: POZO, J.I. (Coord.) La solución de problemas. Madri, Santillana, 1994. p.17.
2. ECHEVERRÍA, M.P.P. & POZO, J.I. Referência 1, p.18.
3. GIL-PEREZ, D., MARTINEZ-TORREGROSA, J., RAMIREZ, L., DUMAS-CARRÉ, A., GOFARD, M. & CARVALHO, A.M.P. Questionando a didática de resolução de problemas: elaboração de um modelo alternativo. Caderno Catarinense de Ensino de Física, 9 (1): 7-19, 1992.
4. ECHEVERRÍA, M.P.P. & POZO, J.I. Referência 1, p.20.
5. WALLAS, G. The art of thought. Nova York, Harcourt, 1926. Citado por MAYER, R.E. Cognição e aprendizagem humana (Tradução de Thinking and problemsolving, 1977). São Paulo, Cultrix. p.86.
6. DEWEY, J. How we think. Boston: Heath, 1910. Citado por AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. & HANESIAN, H. Psicologia Educacional (Tradução de Educational Psychology, 1968). Rio de Janeiro, Interamericana, 1980. p.478.
7. POLYA, G. A arte de resolver problemas (Tradução de How to solve it, 1945). Rio de Janeiro, Interciência, 1995.
8. POLYA, G. Referência 7, pp.3-4.

9. REIF, F., LARKIN, J.H. & BRACKETT, G.C. Teaching general learning and problem-solving skills. American Journal of Physics., 44(3): 212-217, 1976.
10. KUHN, T.S. A estrutura das revoluções científicas. São Paulo, Editora Perspectiva, 1987.pp.232-233.
11. LESTER, F.K. A procedure for studying the cognitive processes used during problem-solving. Journal of Experimental Education, 48(4): 323-327, 1980.
12. LARKIN, J.H. & REIF, F. Understanding and teaching problem-solving in physics. European Journal of Science Education, 1(2): 191-203, 1979.
13. LARKIN, J.H. & McDERMOTT, J. Expert and novice performance in solving physics problems. Science, 208(4450): 1335-1342, 1980.
14. ROSA, P.R.S., MOREIRA, M.A. & BUCHWEITZ, B. Alunos bons solucionadores de problemas de Física: caracterização a partir de um questionário para análise de entrevistas. Revista Brasileira de Ensino de Física, 14(2): 94-100, 1992.
15. ZAJCHOWSKI, R. & MARTIN, J. Differences in the problem solving of stronger and weaker novices in physics: knowledge, strategies, or knowledge structure? Journal of Research in Science Teaching, 30(5): 459-470, 1993.
16. POZO, J.I. (Coord.) La solución de problemas. Madri, Santillana, 1994.
17. KRAMERS-PALS, H. & PILOT, A. Solving quantitative problems: guidelines for teaching derived from research. International Journal of Science Education, 10(5): 511-521, 1988.
18. RECOMENDAÇÕES DOS GRUPOS DE TRABALHO DA V RELAEF.
Caderno Catarinense de Ensino de Física, 9(3): 258-276, 1992.
19. POLYA, G. Referência 7, p.4.
20. GIL-PEREZ, D. & MARTINEZ-TORREGROSA, J. La resolución de problemas de Física una didáctica alternativa. Madrid/Barcelona, Ediciones Vicens-Vives, 1987. p.10.
21. GIL-PEREZ, D. & MARTINEZ-TORREGROSA, J. Referência 20, Capítulo 3.

22. GARRET, R.M., SATTERLY, D., GIL-PEREZ, D. & MARTINEZ-TORREGROSA, J. Turning exercises into problems: an experimental study with teachers in training. International Journal of Science Education, 12(1): 1-12, 1990.
23. AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. & HANESIAN, H. Psicologia Educacional (Tradução de Educational Psychology, 1968). Rio de Janeiro, Interamericana, 1980. pp.476-477.
24. BURGE, E.J. How to tackle numerical problems in physics. Physics Education, 6(4): 233-237, 1971.
25. GIL-PEREZ, D. & MARTINEZ-TORREGROSA, J. Referência 20, p.54.
26. BLAKESLEE, D. & WALKIEWICZ, T. A. When is a problem finished? The Physics Teacher, 29(7): 464-466, 1991.
27. PEDUZZI, L.O.Q. O movimento de projéteis e a solução mecânica de problemas. Caderno Catarinense de Ensino de Física, 1(1): 8-13, 1984.
28. PEDUZZI, L.O.Q. Solução de problemas e conceitos intuitivos. Caderno Catarinense de Ensino de Física, 4(1): 17-24, 1987.
29. CLEMENT, J. Solving problems with formulas: some limitations. Engineering Education, 72(-): 158-162, 1981.
30. MAYER, R.E. Cognição e aprendizagem humana (Tradução de Thinking and problem solving, 1977). São Paulo, Cultrix. p.87 (Adaptado).
31. DRAKE, S. Galileu. Lisboa, Publicações Dom Quixote, 1981. p.21.
32. POLYA, G. Referência 7, p.156.
33. WRIGHT, D.S. & CLAYTON, D.W. A wise strategy for introductory physics. The Physics Teacher, 24(4): 211-216, 1986.
34. PADGETT, W.T. The long list and the art of solving physics problems. The Physics Teacher, 29(4): 238-239, 1991.

35. MESTRE, J.P., DUFRESNE, R.J., GERACE, W.J. & HARDIMAN, P.T. Promoting skilled problem-solving behavior among beginning physics students. Journal of Research in Science Teaching, 30(3): 303-317, 1993.
36. AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. & HANESIAN, H. Referência 23, p.474.
37. GASPAR, A. A teoria de Vygotsky e o ensino de física. Trabalho apresentado no IV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis, maio, 1994.