

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS IV:
ESTRATÉGIAS PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS
(Problem solving IV: strategies for problem solving)**

Sayonara Salvador Cabral da Costa [sayonara@puccrs.br]

Instituto de Física, PUCRS

Av. Ipiranga, 6681 90619-900 – Porto Alegre – RS

Marco Antonio Moreira [moreira@if.ufrgs.br]

Instituto de Física, UFRGS

Av. Bento Gonçalves, 9500 91501-970 - Porto Alegre - RS

Resumo

Trata-se de uma revisão de literatura na área de resolução de problemas, particularmente em Física, enfocando estratégias sugeridas para facilitar a atividade de resolver problemas. Foram analisados 28 artigos em termos de base teórica - estratégias/metodologia de pesquisa - resultados, o quais foram organizados em uma tabela que serviu de base para uma síntese feita pelos autores. Este trabalho é o último de uma série de quatro artigos de revisão abordando diferentes aspectos do tema resolução de problemas.

Palavras-chave: resolução de problemas, Física, estratégias.

Resumen

Trata-se de una revisión de la literatura en el área de resolución de problemas, particularmente en Física, enfocando estrategias sugeridas para facilitar la actividad de resolver problemas. Fueron analizados 28 artículos en términos de base teórica - estrategias/metodología de investigación - resultados, los cuales fueron organizados en una tabla que sirvió como base para una síntesis hecha por los autores. Este trabajo es el último de una serie de cuatro artículos de revisión focalizando distintos aspectos del tema resolución de problemas.

Palabras-clave: resolución de problemas, Física, estrategias.

Abstract

This paper presents a review of the literature in the area of problem solving, particularly in physics, focusing only on strategies suggested to facilitate the activity of problem solving. Twenty-eight papers were analyzed in terms of theoretical basis, strategies/research methodology, and findings, which were organized in a table that served as support for a synthesis made by the authors. It is the last of a four-paper series reviewing different aspects of the problem solving subject.

Keywords : problem solving, Physics, strategies.

Apresentação

Este é o último de uma série de quatro artigos de revisão na área de resolução de problemas, enfocando particularmente o campo da Física. Nele apresentamos apenas trabalhos que sugerem estratégias para facilitar a atividade de resolver problemas.

Os outros artigos desta área focalizam, respectivamente, diferenças entre novatos e especialistas, propostas de metodologias didáticas para trabalhar problemas em sala de aula e fatores que influenciam na resolução de problemas em sala de aula.

Para fazer esta revisão consultamos as seguintes revistas, nos períodos indicados: *Studies in Science Education* (1981 a 1990); *Journal of Research in Science Teaching* (1981 a 1994); *European Journal of Science Education* (1979 a 1986) e *International Journal of Science Education* (1987 a 1994); *Enseñanza de las Ciencias* (1983 a 1994); *Science Education* (1980 a 1994); *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (1984 a 1994); *Revista de Enseñanza de la Física* (1985 a 1994). Além destas revistas foram consultados alguns exemplares de *The Physics Teacher*, *Physics Education*, *Cognition and Instruction*.

Alguns exemplares de outras revistas, artigos publicados em livros e trabalhos publicados em atas de encontros educacionais, todos referidos no final deste trabalho, também foram aproveitados por se enquadrarem no tema deste artigo.

Apesar de não termos feito um levantamento completo da literatura, procuramos fazer um trabalho extenso, cobrindo a década de 80 e meados de 90, pesquisando nas principais revistas internacionais de ensino de Ciências que tínhamos acesso.

Justificativa e definição

Uma discussão que permeia o tema resolução de problemas diz respeito à generalidade ou não da tarefa: muitos autores admitem que independentemente do tipo de problema e portanto das diferenças de procedimentos na sua resolução, existe uma série de procedimentos e habilidades que são comuns em todos os problemas. Em outras palavras, para resolver um problema precisamos prestar atenção nele, recordar, relacionar certos elementos entre si, além de que, na maioria dos problemas estas habilidades devem ser utilizadas numa determinada ordem para que atinjamos a nossa meta.

Além disso, ainda que o problema seja bem ou mal definido -- entende-se por problema bem definido ou bem estruturado aquele no qual se pode identificar facilmente se alcançamos sua solução, enquanto que no mal definido ou mal estruturado o ponto de partida ou as normas que estabelecem os passos necessários para resolver a tarefa são muito menos claros e específicos (Pozo, 1994, p. 23) -- a solução do problema exige uma compreensão da tarefa, a concepção de um plano para executá-la, a execução propriamente dita e uma análise que nos permita determinar se alcançamos o nosso objetivo. Esta posição é representada por Polya (1945).

Outra questão refere-se à aceitação pelo aluno da tarefa de R.P.: uma mesma tarefa de qualquer livro texto pode ser percebida pelos alunos como um exercício ou como um problema, dependendo de como percebam sua funcionalidade dentro da aprendizagem, a partir da forma como o professor a apresenta, guia sua solução e a avalia. A realização das atividades e tarefas em contextos muito definidos e fechados fazem com que os alunos realizem de modo mecânico as atividades, sem envolver-se muito no processo. Aqui o papel do professor como mediador desta atividade é fundamental, daí a necessidade, desde a educação primária (1º grau) de expor os alunos a técnicas e estratégias relativamente transferíveis (como leitura de textos e interpretação) mas também promovendo atividades que exijam técnicas e estratégias de soluções diferentes.

Por outro lado a visão de problema para o professor pode não ser a mesma para o aluno: muitas vezes ele não consegue categorizar o problema em relação a um padrão como o professor o faz, então é necessário que este professor faculte ao aluno várias estratégias em R.P., inclusive o raciocínio "para trás" simultaneamente com o procedimento "científico".

Por fim, é abordado o tema se é possível ensinar-se a resolver problemas, que constitui preocupação para qualquer educador, e defendido por vários autores dos trabalhos pesquisados (e.g., Larkin, 1979).

Artigos

Na revisão feita encontramos 28 artigos, sobre resolução de problemas focalizando estratégias específicas sugeridas para facilitar esta tarefa. Estes artigos estão listados ao final e condensados na tabela 4 em termos de autores/país, base teórica, estratégias/metodologia de pesquisa e resultados. Como a tabela é auto-explicativa, passaremos a tentar identificar regularidades, coisas em comum nestes artigos, tanto no domínio conceitual como metodológico.

Regularidades

- Repetindo o observado nas outras tabelas, o domínio conceitual majoritário dos autores continua sendo o do processamento de informação (16 artigos), seguido pela teoria de Piaget (4), construção do conhecimento científico através da R.P. (2) e a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel-Novak (2). Quatro artigos não definem ou citam suas bases teóricas.
- Física (16 artigos), Biologia (5), Matemática (4), Ciências (3) e Química (2) foram os conteúdos específicos enfocados. Dois artigos envolveram duas disciplinas e por isso foram citados duas vezes.
- Os estudos foram feitos nos EUA (18 artigos), na Espanha (3), Brasil (2), na Colômbia (1), na Venezuela (1), na Holanda (1), na Índia (1) e no Canadá (1).
- As metodologias de pesquisa para gerar ou testar as estratégias foram, principalmente, a análise de protocolos verbais, ainda, observação de como novatos e especialistas resolvem problemas; uso de simulações computacionais baseadas nestes mesmos modelos (HAT, EST, MENDEL, CATLAB, ICAI e ABLE), treinamento intensivo em R.P. e testes escritos (descritivos, de escolha múltipla, etc). Dez artigos, de caráter descritivo ou prescritivo, não apresentaram metodologias.
- As estratégias em R.P. referidas nos trabalhos parecem concordar com o ensino de heurísticas (gerais ou específicas), mas após o diagnóstico das dificuldades apresentadas pelos alunos nos seus

processos de R.P.; uma das formas de detectar estas dificuldades é através de protocolos verbais ou mesmo testes escritos. Sucedendo esta etapa, alguns trabalhos sugerem a construção de um guia de conhecimento básico e auxiliar que contenha informações sobre o conteúdo específico a ser trabalhado além de condições e ações derivadas do mesmo. Este guia pode ser suprido por simulações computacionais, como o HAT ("Hierarchical Analysis Tool") ou pode ser apresentado na forma de sumários ou mapas que compreendem o conhecimento conceitual e condições de uso do mesmo.

- A proposta de uma heurística geral (Polya, 1945), pretendendo dotar os alunos de códigos ordenados de conduta para desempenhar em qualquer situação do dia-a-dia, não parece ser facilmente aplicável para quaisquer domínios. Aparentemente este tipo de estratégia encontra melhor aplicação quando confrontado com heurísticas de conteúdo específico (Stewart, 1988), que assumam o papel de guiar o processo de R.P. ajudando o aluno a tomar decisão sobre o caminho que o conduzirá à solução num certo contexto.

- Prevalecem nos trabalhos heurísticas que enfatizam a análise detalhada qualitativa do problema que permita descrevê-lo e relacioná-lo com um conteúdo específico. Nesta fase, alguns autores sugerem que os alunos redescrevam o problema com suas próprias palavras, usem diagramas ou figuras representando a situação e reconhecendo o seu objetivo.

A seguir, o aluno deverá determinar que informações podem ser relevantes na análise do problema, relacionando hipóteses caso necessário. Nesta etapa ele pode ter condições para reconhecer a situação como um problema padrão entre categorias de problemas ou um problema que possa ser reduzido a um deste tipo. É a busca de relações chaves (princípios) que permitirão os passos seguintes da resolução. Esta busca parece ser facilitada pela organização do conhecimento na memória de longo prazo, possibilitando a sua recuperação com mais eficiência.

Escolhido o caminho para resolver o problema, a execução deste é realizada, alcançando um resultado que exige uma análise e questionamento que deverá envolver todo o processo novamente - - é a avaliação do processo em si, que representa um passo a mais no sentido da promoção de auto-avaliação (Simon, 1980).

A reflexão crítica do processo de R.P. e a sua prática, segundo alguns autores, só podem ser concretizadas se o aluno receber demonstrações de como elas são feitas; a demonstração de diferentes estratégias de R.P., inclusive as que "trabalham para trás" num problema, permitirão que o conhecimento do processo seja considerado ao lado do conhecimento do conteúdo.

Práticas como trabalhos em duplas, onde um executa em voz alta e o outro escuta e discute (Kramers-Pals e Pilot, 1988), ou a obrigação de "explicar" o problema durante o processo de resolução (por escrito ou oralmente) permitem um refinamento no processo, à medida que ele vai sendo discutido e realimentado.

Conclusão

O que se pode concluir dos trabalhos categorizados nas 4 tabelas, i) relacionando e diferenciando como novatos e especialistas resolvem problemas, ii) propondo uma metodologia didática para trabalhar problemas em sala de aula, iii) focalizando fatores que influenciam na resolução de problemas e iv) estratégias sugeridas ao aluno para facilitar a atividade de resolver problemas, é que há uma convergência de posturas e resultados, enfatizando:

- o processamento de informação como domínio conceitual da maioria dos trabalhos;
- os protocolos verbais como meio de se obter informações mais ricas sobre o processamento de R.P.;
- a proposta de "verdadeiros" problemas ou, pelo menos, problemas que tenham significado para quem vai resolvê-los;
- a necessidade de coerência entre a metodologia empregada na resolução de problemas em sala de aula, promovendo o conhecimento conceitual e o procedimental, e a proposta de problemas e de estratégias que requeiram e utilizem estes conhecimentos;
- a organização do conhecimento na memória de longo prazo e a recuperação deste conhecimento para realização de tarefas que exijam um nível de raciocínio adequado ao desenvolvimento cognitivo do aluno;
- a prática em R.P. que, modelada pelo sistema de produção, pode transformar um novato em especialista;
- a necessidade de conhecimento das idéias prévias dos alunos, tanto para projetar as tarefas, quanto para avaliar as dificuldades durante o processo.
- a utilização de um sistema de avaliação que identifique estas dificuldades e permita uma nova "chance" ao aprendiz através de uma realimentação do processo.

Esperamos, enfim, que esta revisão bibliográfica possa ser útil para uma reflexão e, quem sabe, uma reavaliação da nossa ação como docentes, que utilizam a todo momento a atividade de resolução de problemas. Almejamos também que ela tenha utilidade como ponto de partida para novas pesquisas sobre resolução de problemas.

TABELA 4
Pesquisas sobre estratégias para resolução de problemas

AUTORES/ PAÍS	BASE TEÓRICA	ESTRATÉGIAS/METODOLOGIA DE PESQUISA	RESULTADOS
1. Dean (1978) (Física) EUA	Taxonomia de resolução de problemas (T.R.P.)	* Propõe o uso intensivo de exemplos e tarefas de R.P. envolvendo os 5 elementos descritos pela Taxonomia de R.P.: rotinas, diagnósticos (de rotinas particulares), estratégias (entre rotinas cor-retas), interpretação (suposição e resultados) e geração (de rotinas novas ao problema). * Observação e análise de alguns problemas resolvidos por estudantes de engenharia.	A T.R.P. foi desenvolvida para prover "insight" em R.P. e em como ensinamos os alunos a resolver esta tarefa; por outro lado, ela ajuda a entender os problemas enfrentados pelos alunos na realização da tarefa.
2. Larkin (1979) (Física) EUA	Processamento da informação	* Procedimentos recomendados: 1. observe em detalhes como especialistas resolvem problemas; 2. abstraia destas observações os processos que parecem mais úteis; 3. ensine estes processos explicitamente a seus alunos. * Alunos de um curso de Física (N=10) foram treinados para aplicar certos princípios em problemas de circuitos DC; um treinamento adicional foi dado a 5 deles, em análise qualitativa das situações e princípios organizados em "pacotes", através de sumários ou mapas. Nenhum recebeu qualquer prática em R.P. Depois, os 10 resolveram 3 problemas, individualmente e em voz alta.	* Ensino dos processos utilizados pelos especialistas afeta bastante o sucesso em R.P.: 1. estudantes mostram evidências de planejar mais a solução de problemas, além de usar princípios relevantes ao invés de "becos sem saída"; 2. usam mais diagramas e álgebra antes de substituir os números; 3. têm um sucesso relativamente maior em obter soluções corretas.

<p>3. Larkin e Reif (1979) (Física) EUA</p>	<p>Processamento da informação</p>	<p>* Podem ser ensinados: 1. uso de métodos coerentes, cada um incluindo um número de princípios; 2. uso de descrições qualitativas detalhadas para explorar dificuldades potenciais e planejar a execução de um método.</p> <p>* Estudantes universitários (N=10) de um curso introdutório de Física receberam instrução específica em aplicações de princípios e definições em circuitos elétricos; um grupo (N=5) foi treinado em análise qualitativa dos princípios; o outro, na descrição matemática, minimizando a organização dos conteúdos em métodos coerentes. Após treinamento, resolveram 3 problemas envolvendo o uso de vários princípios estudados, na presença do pesquisador e em voz alta.</p>	<p>* Parece particularmente importante ensinar a R.P.hierarquicamente, por um processo de refinamento progressivo, do aspecto mais geral até o mais detalhado. * É vantajoso ensinar como integrar princípios em métodos coerentes, úteis na R.P. * Do primeiro grupo (descrição qualitativa), 3 estudantes resolveram os 3 problemas e 2 resolveram 2 problemas. * Do segundo grupo, 4 resolveram 1 problema e 1 resolveu os 3 problemas.</p>
--	------------------------------------	--	--

<p>4. Peduzzi e Moreira (1981a) (Física) Brasil</p>	<p>Gagné, Ausubel e resultados de alguns trabalhos Reif et al.(1976); Burge (1971)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ler o problema com atenção. 2. Listar os dados fornecidos (expressando em notação simbólica). 3. Listar as grandezas incógnitas (em notação simbólica). 4. Verificar a homogeneidade das unidades das grandezas envolvidas. 5. Representar a situação-problema por desenhos ou diagramas. 6. Colocar e orientar o sistema de referência para facilitar a solução do problema. 7. Escrever uma equação que represente lei ou princípio envolvendo a grandeza incógnita, adequada à situação-problema. 8. Obter grandezas que não são conhecidas e das quais depende a determinação da incógnita. 9. Desenvolver o problema literalmente, fazendo as substituições numéricas só ao final. 10. Desenvolver as etapas do problema com clareza. 11. Analisar o resultado (se é fisicamente aceitável). <p>* Duas turmas do curso de Engenharia (uma de Civil e outra de Elétrica), sob a tutela de um mesmo professor, foram avaliadas por um pré-teste de conhecimentos e uma escala de atitudes em relação ao curso. Para o grupo experimental (Engenharia Civil) foram introduzidos os itens da estratégia durante aulas específicas de R.P. - pequenos grupos.</p>	<p>A avaliação constou de 4 verificações comuns aos dois grupos e um opiniário referente à R.P.</p>	<p>* Aparentemente, a estratégia, em termos de avaliação estatística, não se mostrou eficaz para auxiliar os alunos na R.P.</p> <p>* Algumas habilidades mais simples parecem ser passíveis de treinamento; outras não (raciocínio, improvisação, astúcia, tática, etc.), ou requerem técnicas mais complexas.</p>
--	--	--	---	--

<p>5. Reif (1981)</p> <p>(Física)</p> <p>EUA</p>	<p>Processamento da informação</p>	<p>1. Decompor o processo de R.P. em etapas de complexidade manipulável.</p> <p>2. Construir uma descrição inicial do problema utilizando conceitos "chaves".</p> <p>3. Avaliar e revisar o resultado.*</p> <p>Observação de como especialistas resolvem problemas de Física.</p>	<p>Ao aluno inexperiente deve ser ensinado explicitamente o método sucessivo de refinamento (e.g. análise qualitativa, diagrama de fluxo em programação computacional); separadamente, componentes importantes de estratégia em R.P.; a exigência de descrição qualitativa e quantitativa, durante a R.P., completa a tarefa.</p>
<p>6. Reif e Heller (1981)</p> <p>(Física)</p> <p>EUA</p>	<p>Processamento da informação</p>	<p>1. Elaboração de um guia de conhecimento básico e conhecimento auxiliar para ser acessado, para cada assunto, com suas dificuldades e sugestões;</p> <p>2. Descrição do problema (utilizando a base de conhecimento específico para a situação);</p> <p>3. Construção da solução (utilizando métodos que satisfaçam condições do problema como análise de meio-e-fim);</p> <p>4. Exploração de decisões (escolher uma entre as alternativas; caso inconveniente, retomar o processo);</p> <p>5. Métodos de solução (fundamentados na disponibilidade de uma base de conhecimento bem estruturada).</p> <p style="text-align: center;">* Não houve experimentação: modelo prescritivo.</p>	<p>Não basta prover o aluno com exemplos e prática para torná-lo bom solucionador de problemas: um método instrucional deve explicitar-lhe as bases dos "insights" derivados de um modelo efetivo de R.P. (onde a estruturação do conhecimento e os diversos passos da tarefa devem ser explicitados separadamente).</p>

<p>7. Reif (1982) (Física) EUA</p>	<p>Não cita</p>	<p>* Modelo da descrição efetiva do problema:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identifique os objetos de interesse em cada momento que for necessário; 2. Descreva o movimento de tal(is) objeto(s) utilizando um diagrama, com informações sobre posição, velocidade e aceleração; 3. Descreva a interação deste(s) objeto(s) desenhando todas as forças sobre ele(s): a) identifique os objetos que exercem forças de longo alcance e b) os objetos que o(s) toca(m) - forças de curto alcance; 4. Verifique se estas descrições são consistentes com princípios de movimentos conhecidos. <p>* Universitários do curso de Física, tendo finalizado a disciplina de Mecânica com bastante sucesso, resolveram 3 problemas: um grupo foi guiado pelo modelo de descrição; um outro por um modelo menos detalhado; um terceiro não recebeu orientação.</p>	<p>* Mesmo tendo completado com sucesso um curso em Mecânica, muitos estudantes não conseguem descrever problemas efetivamente.</p> <p>* O mero conhecimento de conceitos e princípios individuais é insuficiente para gerar descrições e soluções satisfatórias.</p> <p>* O modelo proposto é suficiente para atingir descrições completas; quando guiados externamente os alunos puderam descrever todos os problemas.</p> <p>* As várias componentes do modelo são indispensáveis para o desempenho completo.</p> <p>* É possível com este modelo prevenir erros durante o processo.</p>
---	-----------------	---	---

<p>8. Arons (1983)</p> <p>(Física)</p> <p>EUA</p>	<p>Piaget</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Discutir a interpretação da razão de dois números. 2. Atentar para enunciados de problemas em raciocínio aritmético. 3. Acoplar raciocínio aritmético à construção de gráficos. 4. Praticar uso de escalas e raciocínio funcional. 5. Contestar com exemplos as idéias intuitivas. 6. Traduzir símbolos e fenômenos em palavras. 7. Reverter a linha de raciocínio. 8. Tomar decisões - o que calcular no problema. 9. Reconhecer inaplicabilidade de fórmulas e fatos. 10. Comparar e atentar para ordens de grandeza. 11. Estimar e lidar com ordens de grandeza. 12. Discutir mudanças na situação proposta, sem cálculo. 13. Discriminar entre observação e inferência. 14. Reconhecer falta de informação necessária. 15. Fazer suas perguntas a outros. <p>* Baseado na observação qualitativa de respostas verbais de alunos.</p>	<p>* Através do "diálogo socrático" é possível investigar as dificuldades de raciocínio, aprendizagem e pensamento dos alunos em Física; as estratégias propostas foram listadas numa ordem mais ou menos hierarquizada para serem discutidas e utilizadas por professores e alunos.</p>
---	---------------	---	--

<p>9. Mohapatra (1987) (Física) Índia</p>	<p>Cita Piaget, estudos de Gil Pérez e Torregrosa (1983) e Gagné (1962)</p>	<p>* Hipóteses: 1. Alunos resolvem alguns problemas: a) mecanicamente; b) aplicando métodos fracos (meio-e-fim); c) pedindo ajuda a seus pares ou ao professor; d) aplicando métodos fortes (e.g. procurando problemas similares em outros livros). 2. Trabalhando muitos problemas, o aluno desenvolve a habilidade de saber o que fazer e o que não fazer; este "conhecimento do processo é, portanto, autoeducativo. * Alunos do 2º ano do 2º estágio (N=20) na Índia e cursando bacharelado (N=20) foram submetidos a um problema sobre movimento (estudado no 1º ano do 2º estágio), utilizando "pensamento em voz alta".</p>	<p>* Análise dos procedimentos adotados pelos alunos na R.P. pode dar indicações definidas de seus "conhecimentos do processo". * O grupo dos "bacharéis" mostrou maior "conhecimento do processo" mesmo sem uma revisão do conteúdo, sugerindo que o modelo proposto é efetivo. * Proposta de problemas num nível mais profundo, em relação ao domínio do processo, minimiza a condição de um exercício mecânico, desenvolvendo o conhecimento específico do processo ao enfatizar a observação, identificação e análise.</p>
---	---	---	--

<p>10. Krajcik, Simmons e Lunetta (1988)</p> <p>(Física)</p> <p>EUA</p>	<p>Inteligência Artificial</p>	<p>* Estratégia para estudar interação entre estudantes, microcomputadores e "softwares" na aprendizagem de conceitos e habilidades em R.P.: são usados diálogos interativos em que o aluno é incitado a responder questões de predição, ao mesmo tempo que recebe instruções para lidar com o computador (e.g., 1. gere suas próprias dúvidas; 2. decida que variáveis controlar ou investigar, etc.).</p> <p>* Interface com um VCR permite gravar interação do aluno com o micro.</p> <p>* Estudo piloto foi feito com pequeno número de universitários do curso de Química e outro envolveu Genética (CATLAB).</p> <p>CATLAB: "software" que permite ao estudante uma interação maior no estudo de Genética e Hereditariedade ao simular acasalamento de gatos e observar as características de seus descendentes.</p>	<p>* Estudantes com êxito em R.P. distinguiram-se pela habilidade em selecionar e empregar estratégia específica para confirmar ou refutar hipóteses e organizar/extrair informações relevantes sobre os dados relativos aos fatores analisados; os com menos êxito em R.P. não foram felizes em alguns destes aspectos (ou em todos).</p> <p>* Estratégia permite informações sobre comportamentos cognitivos mas também afetivos dos estudantes engajados num "software" instrucional.</p> <p>* O entendimento, através desta estratégia, de como os estudantes desenvolvem habilidades em R.P. e resolvem problemas dá margem a novos projetos de "software" instrucionais.</p>
---	--------------------------------	--	--

<p>11. Mestre e Touger (1989) (Física)EUA</p>	<p>Processamento da informação</p>	<p>* Baseados em como especialistas resolvem problemas:1. descrevam um problema em detalhe antes de tentar uma solução;2. determinem que informação relevante pode prosseguir na análise do problema;3. decidam que procedimentos podem ser usados para gerar a descrição e análise do problema.</p> <p>* Estudantes universitários resolveram 25 problemas de Mecânica Clássica usando HAT ("Hierarchical Analysis Tool"); outros dois grupos, de controle, utilizaram (um deles) o livro-texto e (o outro) o EST ("Equation Sorting Tool").</p>	<p>O uso do HAT como sistema especialista parece permitir que se conclua que o desenvolvimento do conhecimento em Física e a habilidade em R.P. podem ser facilitados em atividades em que os sujeitos estejam ativamente engajados em problemas estruturados, que evidenciem a interação entre conceitos e procedimentos.</p>
---	------------------------------------	---	--

<p>12. Zalamea e París (1989) (Física)Colô mbia</p>	<p>Não cita</p>	<p>* Discussão das questões propostas de forma preditiva em pequenos grupos; após, realização do experimento e reavaliação das hipóteses ou previsões iniciais; finalmente, exposição das concepções científicas dos coordenadores do curso e aplicação às situações estudadas.</p> <p>* Professores (N=273) do nível médio, em curso de capacitação, foram expostos a dois problemas sobre leis de Newton, utilizando a estratégia referida acima.</p>	<p>Questões de reflexão: * Professores sabem a física que ensinam? Resolver problema "típico" serve para interpretar uma situação concreta? * Professores mostraram uma acentuada inclinação de valorizar a "fórmula" acima da lei ou princípio. * A causa pela qual uma pessoa não processa ou assimila um determinado aspecto das ciências naturais apóia-se na falta de reflexão crítica sobre estas informações.</p>
--	-----------------	---	--

<p>13. Grupo de Trabalho em R.P. (1992) (Física)</p> <p>Brasil e outros países latino-americanos</p>	<p>Construção do conhecimento científico através da R.P</p>	<p>Recomendações:</p> <ul style="list-style-type: none"> * ler o problema com atenção; * representá-lo através de desenhos, gráficos; * extrair dados e incógnitas e representá-los por símbolos; * homogeneizar o sistema de unidades, caso necessário; * analisar qualitativamente a situação do problema elaborando hipóteses, se necessário; * quantificar o problema evocando lei ou princípio relacionado; * procurar desenvolver literalmente o problema e só substituir valores numéricos no final; * analisar o resultado encontrado; * registrar em forma escrita os pontos-chaves da R.P.; * questionar a solução. <p>* Propostas na V Reunião Latino-Americana sobre Educação em Física, Gramado, Brasil.</p>	<p>* Pretende-se, com estas recomendações, que o estudante tenha uma visão mais ampla e crítica da R.P. e possa ser orientado para um maior sucesso no processo.</p>
--	---	---	--

<p>14. Mestre, Dufresne, Gerace, Touger e Hardiman (1993) (Física) EUA</p>	<p>Processamento da informação</p>	<p>* Uso de um programa de computador incorporado a uma abordagem conceitual em R.P. - HAT ("Hierarchical Analysis Tool") que facilita construir uma solução para o problema. Por exemplo: 1. Que princípio aplica esta parte da solução do problema? 2. Descreva o sistema em termos da sua energia mecânica. 3. Descreva as trocas da energia mecânica. Considere apenas a energia de um corpo no instante inicial e final, etc. Para cada pergunta há várias possibilidades de respostas com comentário.</p> <p>* Estudantes universitários voluntários (N=42), egressos de um curso de Mecânica, foram divididos em 3 grupos: um utilizou o HAT, outro o EST ("Equation Sorting Tool"), contendo 178 equações retiradas de um texto e acessadas por assunto; o último utilizou o livro-texto para resolver 25 problemas. No pré e pós-teste a tarefa foi de categorização: um problema-modelo era comparado com outros dois para saber qual deles teria a solução mais semelhante a do primeiro.</p>	<p>* A prática de uma análise qualitativa, por um curto espaço de tempo (no caso, 3 semanas) provocou uma mudança positiva no comportamento em R.P. - atividades que envolvem a integração do conhecimento conceitual e procedimental (HAT) favorecem mais esta mudança do que o ensino tradicional. * Ainda que o uso do HAT favoreça a R.P., parece que o nível de dificuldade dos problemas afeta a habilidade dos sujeitos em usar e assimilar a abordagem do HAT. * Categorização do problema é uma boa sugestão para iniciar a discussão em aula de como extrair a estrutura profunda de um problema. * Incentivar o aluno a uma avaliação qualitativa e a planejar uma solução antes de executar o plano permite que o aluno estruture melhor o seu conhecimento.</p>
---	------------------------------------	---	---

<p>15. Larkin e Rainard (1984)</p> <p>(Física e Química) EUA</p>	<p>Psicologia do Processamento da Informação</p>	<p>* Baseada no modelo de sistema de produção, onde são considerados:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. a representação do conhecimento do solucionador sobre o problema; 2. regras que descrevem o que o solucionador faz enquanto resolve o problema; 3. um "intérprete" que seleciona estas regras numa seqüência particular para produzir uma série de passos que formam a solução do problema. <p>* Foram utilizados "protocolos" de R.P. de estudantes de Física para 3 problemas de Hidrostática, após leitura de um livro-texto.</p> <p>* Após estudarem o método de conversão de unidades em mol, estudantes ingressantes do curso de Química tentaram fazer conversões idênticas, em forma. Seus "protocolos" foram a base deste estudo.</p>	<p>As falhas (e sucesso) dos alunos podem ser explicadas pelo modelo do sistema de produção: em problemas de Hidrostática, apesar de o sujeito proceder corretamente a leitura, parece que falta conhecimento extra (e.g., relação espacial entre objetos reais - nível do fluido e tubo em U - e objetos físicos, como vetores força).</p>
<p>16. Kramers-Pals, Wolff e Lambrechts (1983) (Química) Holanda</p>	<p>Citam trabalhos de outros pesquisadores (e.g., Mettes e Pilot, 1980)</p>	<p>* Baseados no Programa de Ações e Métodos [(PAM, Mettes e Pilot (1980)] e na Abordagem Sistemática para R.P. (SAP):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. leia o problema; analise cuidadosamente os dados e represente-os; 2. estabeleça se o problema é padrão; transforme-o em um, se não for o caso (nesta etapa, os autores incluem a busca de "relações chaves", específicas do conteúdo e ponto de partida para a R.P.); 3. execução; 4. verificação da resposta; interpretação dos resultados. <p>* O artigo é descritivo, não cita uma metodologia.</p>	<p>* Problema padrão para o professor pode ser problema real para o aluno, daí a necessidade de o professor demonstrar várias estratégias em R.P., inclusive o raciocínio "para trás"; simultaneamente, ensinar ao aluno a conscientizar a estratégia escolhida para reduzir o problema a um padrão.* Como as "relações chaves" aumentam enquanto o curso avança, é proposto que sejam feitos mapas de relações chaves de versões expandidas dos anteriores.</p>

<p>17. Larkin (1981)</p> <p>(Matemática e Física)</p> <p>EUA</p>	<p>Processamento da informação</p>	<p>* Simulação dos processos utilizados por novatos (estudantes universitários de Berkeley) e especialistas (professores ou estudantes mais avançados) por meio de um Sistema de Produção - ABLE, versões simples e mais sofisticadas).</p> <p>ABLE: sistema de produção que decodifica o conhecimento numa coleção de pares "condição-ação" chamados produção.</p> <p>* Após receberem instrução e prática num curso introdutório de Física (8 semanas), os sujeitos resolveram 1 problema prático e 5 de lápis e papel, envolvendo força, trabalho e energia.</p>	<p>* O modelo do Sistema de Produção provê, de forma satisfatória, como os princípios físicos são selecionados por solucionadores mais hábeis e menos hábeis.</p> <p>* Modelo é consistente com o fato que novatos gastam muito tempo aplicando muitos princípios, enquanto o especialista gasta um mínimo de tempo para aplicar um princípio.</p> <p>* Modelo confirma dificuldades em aprender certos princípios difíceis para humanos (e.g., adição vetorial, conservação de energia).</p>
<p>18. Polya (1945)</p> <p>(Matemática)</p> <p>EUA</p>	<p>Não cita</p>	<p>* Heurística de R.P.:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. entenda o problema: qual é a incógnita, os dados, a(s) condição(ões)? Desenhe uma figura, etc.; 2. faça um plano: ache uma conexão entre os dados e a incógnita; se difícil, procure problemas auxiliares; 3. execute o plano: revise cada passo enquanto executar seu plano; 4. revise e discuta: examine a solução obtida. <p>* Não cita uma experimentação</p>	<p>* Apresenta exemplos e soluções baseadas nesta heurística, pretendendo diminuir a impopularidade da matemática entre os estudantes</p>

<p>19. Contreras (1987) (Matemática)</p>	<p>Psicologia e Epistemologia Genética</p>	<p>* Expansão do método de R.P. de Polya (1945): Como buscar a solução? 1. compreender a questão; 2. encontrar um caminho que vá do desconhecido aos dados, passando, se for preciso, por muitos problemas intermediários. Sugere elaboração, por parte dos alunos, de problemas para serem resolvidos pelos professores, sem preparação prévia, com o objetivo de aprender como eles os resolvem. * Não cita experimentação.</p>	<p>* O resgate da heurística de Polya tem a pretensão de dotar os alunos de conhecimentos, mas, fundamentalmente, de códigos ordenados de conduta para desempenhar em qualquer situação do dia-a-dia. * O processo de aprendizagem deve ser gerado a partir da construção ativa do sujeito; cabe ao professor ajudá-lo a utilizar os recursos que dispõe (Schoenfeld, 1985).</p>
<p>20. Alonso Garcia, Gonzáles Carmona e Saénz Barrio (1988) (Matemática) Espanha</p>	<p>Não cita</p>	<p>* Resultados (em ordem) de condutas que prevaleceram em R.P.: 1. cálculos operatórios; 2. desconcerto; 3. leitura do problema; 4. escrita dos dados; 5. formulação de hipóteses; 6. resolução; 7. ausência de conduta; 8. retificação; 9. utilização de dados irrelevantes; 10. representação dos dados; 11. antecipação do resultado; 12. comprovação. * Foram utilizadas entrevistas clínicas para investigar como alunos do 5º ano de 4 escolas espanholas resolvem problemas matemáticos; de 102 alunos, 20 foram escolhidos (4 por escola) e resolveram 5 problemas (de um total de 20).</p>	<p>"O problema se resolve praticando"; uma abordagem racional que inclui leitura inteligente, formulação de hipóteses, planificação de solução e comprovação se o caminho escolhido foi correto, estabelece as bases para operar a R.P. em Matemática.</p>

<p>21. Ross e Maynes (1983)</p> <p>(Ciências) Canadá</p>	<p>Processamento da informação</p>	<p>* Estratégia baseada em: "alunos aprendem ciência agindo como os cientistas agem":</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. desenvolva um foco para investigação (ou formule uma hipótese); 2. estabeleça uma estrutura para a investigação (ou organize uma coleção de dados); 3. grave os dados; 4. julgue a adequação dos dados; 5. observe relações entre eles; 6. retire conclusões; 7. extrapole a conclusão (generalize). <p>Programa instrucional, baseado nas diferenças novatos-especialistas, foi aplicado a 265 estudantes de 6º ano, consistindo de R.P. experimentais, organizadas para envolver, cronologicamente, processos utilizados por cientistas bem sucedidos; a avaliação foi feita por testes de escolha múltipla e questões abertas/fechadas de transferência específica.</p>	<p>* Programa foi mais efetivo em melhorar o desempenho na tarefa de desenvolver uma questão (etapa 1) do que, mais complexo, estabelecer uma estrutura para o experimento.</p> <p>* Efeitos mais visíveis ocorreram nas respostas de problemas fechados e abertos do que nas dos de escolha múltipla.</p> <p>* Apesar dos ganhos modestos, o programa é recomendado para utilização nas sextas séries.</p>
--	------------------------------------	---	---

<p>22. Good (1987) (Ciências) EUA</p>	<p>Inteligência Artificial</p>	<p>* Proposta do uso da inteligência artificial (I.A.) em trabalhos de simulação cognitivas - ICAI: "Intelligent Computer - Assisted Instruction" - especificamente no diagnóstico da "situação" do aprendiz em R.P.</p> <p>* Não apresenta experimentação.</p>	<p>* Baseado no paradigma da Ciência Cognitiva/Inteligência Artificial é apresentado um modelo revisado do ciclo de aprendizagem de Karplus/Renner (em Good e Lavie, 1986), refletindo a Teoria dos Esquemas.</p> <p>* O processamento da informação "de cima para baixo" e "de baixo para cima" ajuda o indivíduo a dar melhor sentido à nova informação (realimentação contínua).</p> <p>* Vantagens da estratégia: instrução individualizada (tutor-máquina × aprendiz); resultados com sistemas diagnósticos em medicina (MYCIN) sugerem que o diagnóstico da "situação" do aprendiz é a chave do tutoriamento exitoso. MYCIN foi desenvolvido para prover informações a médicos sobre tratamento de doenças infecciosas.</p>
--	--------------------------------	---	---

<p>23. Andrés (1991) (Ciências) Venezuela</p>	<p>Ausubel e Novak e a teoria do processamento da informação</p>	<p>* Estratégias cognitivas: Ver o problema 1. identificar palavras-chaves; 2. categorizar o problema em uma área de conteúdo; 3. formar imagens mentais. Representar em um esquema/desenho o planejamento. Gerar expressões matemáticas segundo esquema conceitual. Realizar o plano de solução proposto. Avaliar o resultado em termos de seu significado físico e consistência. *Estratégia metacognitiva: revisar cada procedimento anterior para controle e avaliação do trabalho. * Não cita experimentação.</p>	<p>Ensinar a R.P. em Física de maneira efetiva e eficiente implica dirigir o processo de solução e não só visar o resultado final: deve-se ensinar explicitamente estratégias cognitivas e metacognitivas.</p>
<p>24. Stewart (1982-a) (Biologia) EUA</p>	<p>Processamento da informação</p>	<p>* Proposta de um modelo de conhecimento conceitual e procedimental para resolver significativamente problemas de Genética; modelo inclui informações sobre o conteúdo (de textos e sobre estratégias (em forma de rede semântica), e.g.:</p> <ul style="list-style-type: none"> ? objetivo: resolver um problema ? leia o problema ? sub-objetivo: construa chave simbólica para (certo conceito) ? etc. <p>* Projeto piloto utilizou a R.P. de estudantes para construir o modelo; a análise de textos utilizados e níveis secundários e universitários e gravações de como professores ensinam R.P. validaram o modelo.</p>	<p>* Modelo permite detectar concepções errôneas e modificá-las. * Construção de um modelo como este permite guiar entrevistas clínicas ou analisar seus resultados.</p>

<p>25. Smith e Good (1984)</p> <p>(Genética) EUA</p>	<p>Processamento da informação</p>	<p>* Estratégia (heurística) baseada em como novatos e especialistas pensam em Genética:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. procure padrões comuns; 2. quando inapto para resolver determinada parte passe para outra; 3. entre várias possibilidades escolha a mais próxima; 4. compare trabalho em várias partes do problema procurando coerência; 5. se inapto para usar uma estratégia mude para uma menor e extrapole. 6. elimine variáveis confusas; trabalhe com uma de cada vez; 7. procure evidências que falsifiquem suposições prévias; 8. verifique a acurácia de seu trabalho; 9. verifique se o resultado responde à questão proposta. <p>* Através da gravação da R.P. de 11 estudantes pós-graduados e 9 professores de Biologia, foram obtidas as heurísticas (no espírito de Polya) que são consistentes com o desempenho de bons solucionadores de problemas.</p>	<p>* R.P. necessita prática.</p> <p>* Valorizar mais o processo de R.P. do que o produto ajuda o aluno a reconhecer a abordagem apropriada para diferentes problemas.</p> <p>* A comparação dos "passos" do problema, resolvidos por especialistas, ajuda a incrementar os esquemas mentais de novatos.</p> <p>* Erros de interpretação de conceitos podem ser sanados imediatamente (e detectados através de pré-testes).</p>
--	------------------------------------	--	--

<p>26. Stewart (1988) (Genética) EUA</p>	<p>Apenas faz referência a autores com trabalhos na área de aprendizagem e R.P.</p>	<p>* Ensino de heurísticas gerais exemplificadas em conteúdo específico de Genética:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Redescreva os dados no enunciado do problema. Redescreva em termos do nº de particularidades e de variação por particularidade. 2. Divida o problema em subproblemas. Num problema híbrido, resolva para uma particularidade de cada vez. 3. Use memória externa auxiliar. Use informações de indivíduos com genótipos conhecidos. 4. Selecione passos que sejam mais produtores de conhecimento. Use indivíduos que tenham fenótipos específicos no 1º cruzamento. <p>* Não cita experimentação.</p>	<p>* Do mesmo modo como são aplicados problemas de "causa e efeito", há uma promoção muito tímida do conhecimento conceitual e da heurística independente do conteúdo; a menos que ela seja especificamente ensinada é difícil generalizá-la para outras áreas.</p> <p>* A heurística tem o papel de guiar o processo em R.P., ajudando o aluno a tomar decisão sobre qual caminho chegará à solução.</p>
<p>27. Stewart, Streibel, Collins e Jungck (1989) (Genética)EUA</p>	<p>Inteligência Artificial (Ciência Cognitiva)</p>	<p>* Apresentação de um tutor computacional inteligente, MENDEL, para escolas secundárias e universidades de Biologia como ferramenta para aprender conceitos e estratégias de R.P. em genética de transmissão. Inclui: redescricao dos dados; geração de hipóteses e testagem; confirmação consistente entre mecanismos causais e dados empíricos; abandono de hipóteses alternativas.</p> <p>* Este software é resultado de estudos de desempenho de novatos e especialistas em R.P., estratégias de tutoriamento de professores de Genética, uso das notações (símbolos) utilizados no programa e estratégias esclarecedoras para entender o modelo de R.P.</p>	<p>Espera-se com o uso do MENDEL:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. capacitar o aluno para resolver problemas mais complexos e reais de Genética; 2. desenvolver um conhecimento teórico e prático mais integrado. 3. internalizar processos de R.P. que sejam transferíveis para outras áreas.

<p>28. Sigüenza e Saéz (1990) (Biologia) Espanha</p>	<p>Cita resultados da Ciência Cognitiva (processamento da informação) e períodos piagetianos de desenvolvimento</p>	<p>* Estratégia apropriada para o período de "operações concretas" - 7 a 11 anos, baseada na definição de problema e R.P.:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. redefinição do problema em aula, pelos alunos, envolvendo experiência, discrepâncias e perguntas; 2. planejamento da estratégia de resolução (que informação possui? que informação necessito? como saber quando o problema foi resolvido). Nesta etapa ressalta-se a organização do conhecimento para ser recuperado com eficiência; 3. interpretação dos dados e obtenção da conclusão; 4. avaliação dos resultados e métodos na R.P. <p>* Não cita experimentação.</p>	<p>* Superada a etapa de "operações concretas", estratégias que envolvam processos de avaliação em distintos níveis - modelos cíclicos de R.P. - aproximam a R.P. a um processo de investigação científica.* R.P. supõe uma concepção dinâmica da educação baseada na compreensão.</p> <p>* Como componente vital do ensino da Biologia, o problema poderia ser definido como uma situação cuja solução requer que o sujeito analise dados, desenvolva racionalmente uma estratégia que lhe permita obter dados, processá-los, interpretá-los e chegar a uma conclusão.</p>
---	---	--	---

Referências

ALONSO GARCIA,A., GONZALEZ CARMONA,A. e SAENZ BARRIO, O. (1988). Estrategias operativas en la resolución de problemas matemáticos en el ciclo medio de la E.G.B. Enseñanza de las Ciencias, 6(3):251-264.

ANDRES, M. (1991). Resolver problemas de física; como enseñar? Boletín CENAMEC 4. (Centro Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de la Ciencia) Caracas,Venezuela: 89-103.

ARONS.A.B.(1983). Cultivating cognitive processes conducive to the learning of physics. Trabalho apresentado no International Seminar on Physics Education, Centro de Educação, Instituto Internacional de Estudios Avanzados, Caracas, Venezuela, agosto de 1983.

BURGE, E.J. (1971). How to tackle numerical problems in physics. Physics Education, 6(4):233-237.

CONTRERAS,L.C. (1987). La resolución de problemas, una panacea metodológica? Enseñanza de las Ciencias, 5(1):49-52.

DEAN,R.K. (1978). Some applications of the problem solving taxonomy. Artigo discutido no International Workshop on Physics Education, La Londe Les Maures, jun.26-jul.13,1983.

GAGNÉ, R.M. (1962) The acquisition of knowledge. Psychological Review, 69: 355-365.

GIL PÉREZ, D. e TORREGROSA, J. (1983). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. European Journal of Science Education, 5(4):447-455.

GOOD, R. e LAVOIE, D. (1986) The importance of prediction in a science learning cycle. Pioneer - Journal of the Florida Association of Science Teachers, 1(4):24-35.

GOOD,R. (1987). Artificial intelligence and science education. Journal of Research in Science Teaching, 24(4):325-342.

GRUPO de TRABALHO em RESOLUÇÃO de PROBLEMAS.(1992).Recomendações dos grupos de trabalho da V Reunião Latino-Americana sobre Educação em Física. A solução de problemas e a formação do professor de Física.Caderno Catarinense de Ensino de Física, 9(3):269-274.

KRAJCIK,J.S., SIMMONS,P.E. e LUNETTA,V.N. (1988). A research strategy for the dynamic study of student's concepts and problem solving strategies using science software. Journal of Research in Science Teaching, 25(2):147-155.

KRAMERS-PALS,H., LAMBRECHTS,J. e WOLFF,P.J. (1983). The transformation of quantitative problems to standard problems in general chemistry. European Journal of Science Education, 5(3):275-287.

KRAMERS-PALS,H. e PILOT,A. (1988). Solving quantitative problems:guidelines for teaching derived from research. International Journal of Science Education, 10(5):511-521.

LARKIN,J.H. (1979). Processing information for effective problem solving. Engineering Education, dez.:285-288.

- LARKIN, J.H. e REIF, F. (1979). Understanding and teaching problem solving in physics. *European Journal of Science Education*, 1(2):191-203.
- LARKIN, J.H. (1981). Enriching formal knowledge: a model for learning to solve textbook physics problems. Em Anderson, J.R. (Ed.) *Cognitive skills and their acquisition*: 311-333. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- LARKIN, J.H. e RAINARD, B. (1984). A research methodology for studying how people think. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(3):235-254.
- MESTRE, J. e TOUGER, J. (1989). Cognitive research -- what's in it for physics teachers? *The Physics Teacher*, 27(6):447-456.
- MESTRE, J.P., DUFRESNE, R.J., GERACE, W.J., HARDIMAN, P.T. e TOUGER, J.S. (1993). Promoting skilled problem-solving behavior among beginning physics students. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3):303-317.
- METTER, C.T.C.W. e PILOT, A. (1980). On teaching and learning problem solving in science. Tese de Ph.D., Twente University of Technology, Enschele, Holanda.
- MOHAPATRA, J.K. (1987). Can problem-solving in physics give an indication of pupils' process knowledge? *International Journal of Science Education*, 9(1):117-123.
- PEDUZZI, L.O.Q. e MOREIRA, M.A. (1981). Solução de problemas em Física: um estudo sobre o efeito de uma estratégia. *Revista Brasileira de Física*, 11(4):1067-1083.
- POLYA, G. (1945). *How to solve it -- a new aspect of mathematical method*, (2nd ed.). New Jersey: Princeton University Press.
- POZO, J.I. et al. (1994). *La solución de problemas*. Madrid: Santillana, S. A.
- REIF, F. (1981). Teaching problem solving -- a scientific approach. *The Physics Teacher*, 19(5):310-316.
- REIF, F. e HELLER, J.I. (1981). Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17:102-127.
- REIF, F., LARKIN, J.H. e BRACKETT, G.C. (1976). Teaching general learning and problem solving skills. *American Journal of Physics*, 44(3):212-217.
- REIF, F. (1982). Cognitive processes facilitating problem solving: some systematic studies and educational implications. Artigo publicado pelo Physics Department, Universidade da Califórnia, Berkeley.
- ROSS, J. e MAYNES, F. (1983). Experimental problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(6):543-555
- SIGUENZA, A.F. e SAEZ, M.J. (1990). Análisis de la resolución de problemas como estrategia de enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(3):223-230.

SIMON,H.A. (1980). Problem solving and education. Em Tuma,D.F. e Reif,F. (Eds.). Problem solving and education: issues in teaching and research (p.81-96). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

SMITH,M.U. e GOOD,R. (1984). Problem-solving and classical genetics:successful and unsuccessful performance. Journal of Research in Science Teaching, 21(9):885-893.

STEWART,J. (1982). Two aspects of meaningful problem solving in science. Science Education, 66(5):731-749.

STEWART,J. (1988). Potential learning outcomes from solving genetics problems: a typology of problems. Science Education, 72(2):237-254.

STEWART,J.,STREIBEL,M.,COLLINS,A. e JUNGCK, J. (1989). Computers as tutors: Mendel as an example. Science Education, 73(2):225-242.

ZALAMEA GODOY,E. e PARIS ESPINOSA,R. (1989). Saben los maestros la fisica que enseñan? Enseñanza de las Ciencias, 7(3):251-256.