

## **FORMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DAS HABILIDADES RELATIVAS AO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA MEDIADO POR SENSORES**

**Alessandro Damásio Trani Gomes**

(alessandro@coltec.ufmg.br)

**Marcus Vinícius Duarte Silva**

(marquinhos@coltec.ufmg.br)

**Antônio Tarciso Borges**

(tarciso@coltec.ufmg.br)

**Oto Neri Borges**

(oto@coltec.ufmg.br)

Colégio Técnico da Universidade Federal de Minas Gerais

### **Resumo**

Apresentamos os resultados preliminares de uma pesquisa em andamento que busca compreender como estudantes do ensino médio se engajam em uma atividade investigativa, utilizando as ferramentas do MBL (Microcomputer-based Laboratories). Fazemos uma comparação desse tipo de atividade com as que são praticadas nos laboratórios tradicionais de física. Defendemos, com base nos resultados, a implementação de Laboratórios Investigativos Centrados em Computador, tentando sistematizar os argumentos que suportam o uso de um ambiente computadorizado para o desenvolvimento de investigações que envolvam os estudantes nos processos de resolução de problemas no laboratório, formulação e teste de hipóteses, definição de procedimentos operacionais e análise e interpretação de resultados.

### **Introdução**

Este trabalho vem sendo desenvolvido dentro do projeto integrado de pesquisa “Inovação e Desenvolvimento de Currículos de Física” no Setor de Física do Colégio Técnico da UFMG, proposto pelos autores ao CNPq. Ele tem por objetivos principais desenvolver uma nova proposta curricular, fazer um levantamento do estado atual das concepções sobre o papel das atividades prático-experimentais do ensino de Física no ensino médio e desenvolver um conjunto de atividades práticas baseadas no uso de sensores e de coleta automática de dados para o currículo em desenvolvimento.

Esse trabalho tem como objetivo observar o comportamento dos estudantes ao utilizar um conjunto de equipamento do tipo laboratórios centrados em computador (MBL) para resolver problemas práticos de natureza mais investigativa. Com isso, esperamos obter subsídios para reformular os laboratórios de ciências para que esses tenham um papel mais relevante para a aprendizagem escolar. Vários autores têm argumentado em favor da adoção de ambientes computadorizados no laboratório, e mesmo na sala de aula.

Porém, a implementação de Laboratórios Investigativos Centrados em Computador (LICC) leva a algumas questões que devem ser debatidas: alunos do ensino médio são capazes de conduzir atividades práticas abertas de Nível 3 (Tamir,1991) e tirar delas conclusões proveitosas?; O software de controle da interface e exibição dos dados oferece algum empecilho à compreensão dos experimentos? ou ainda; a realização de experimentos investigativos com a utilização dos MBLs aumentam a motivação dos alunos?

No presente trabalho, utilizamos as transcrições preliminares com parte das opiniões e dados preliminares sobre o desempenho dos alunos ao realizarem uma atividade experimental de caráter investigativo sobre um assunto, a chama da vela. Analisamos as respostas e iniciativas de cada um aluno na tentativa de responder às questões levantadas.

### **Microcomputer-based Laboratories (MBL)**

O MBL é uma ferramenta inovadora pertencente à nova tecnologia educacional e consiste na integração de dispositivos físicos de controle e interfaceamento de sensores e de programas aplicativos de coleta automática, tratamento e exibição dos dados em diversos formatos, cuja principal característica é a coleta de dados em tempo-real. Normalmente as interfaces permitem o controle simultâneo de alguns poucos sensores, mas isso é suficiente para que possamos controlar e medir várias grandezas físicas na situação de interesse. Simultaneamente à coleta de dados das medidas, podemos apresentar as grandezas em tabelas e gráficos (Gomes, Silva, Borges, Borges, 1999).

Thornton(1990) foi o primeiro a especular sobre as vantagens pedagógicas do uso do MBL. Ele formulou as seguinte hipóteses:

- O MBL muda o foco da atenção dos estudantes;
- O MBL possibilita o controle e desperta o interesse do aluno;
- O MBL desenvolve a habilidade de interpretar as informações científicas e, devido aos dados serem coletados e disponibilizados em gráficos em tempo-real;
- Os estudantes podem examinar as conseqüências de mudanças nas condições experimentais durante a prática;
- O *hardware* e o *software* são genéricos, ou seja, uma variedade de sensores são controlados pela mesma interface e programa podendo ser utilizados por alunos desde o ensino fundamental até o ensino superior;

A partir de então muitos também passaram a defender essas hipóteses e sugerir outras, muito embora sem a apresentação de resultados empíricos para suportá-las. Mas apesar disso, segundo alguns pesquisadores, o MBL tem se demonstrado eficaz para auxiliar os estudantes na construção do conhecimento (Redish, Saul e Steinberg, 1997; Krajcik e Layman; Thornton e Sokoloff, 1997) .

Também emerge dos trabalhos que examinamos que o aprendizado é encorajado com a motivação dos estudantes para expressar suas expectativas e discutir resultados inesperados. Num laboratório com o MBL, o controle passa do professor e do roteiro para o estudante, que podem sentir-se senhores de sua própria aprendizagem e achar fácil investigar, com sucesso, todas as coisas que os interessam pois, a utilização do MBL demanda pouquíssimas instruções, e o controle do processo de medida fica sob supervisão do microcomputador. Aqueles estudantes, que têm dificuldade e ansiedade na manipulação de instrumentos de laboratório, podem sentir-se seguros ao lidar com instrumentos de laboratório baseados em microcomputador o suficiente para se disporem a perguntar e responder suas próprias questões. Além disso, como o processo de coleta e exibição de dados é simples e rápido, os estudantes sentem-se encorajados a repetir procedimentos ou modificá-los quando o julgam necessário.

Assim, o MBL fornece aos estudantes a oportunidade de fazer Ciência ao permitir um controle maior sobre o experimento. Porém, apenas a disponibilidade de novas ferramentas não é suficiente. O ganho no aprendizado que o MBL pode fornecer só pode ser alcançado com uma combinação de ferramentas e um currículo adequado, que explore ao máximo suas vantagens.

### **Laboratórios Investigativos**

Nos laboratórios de ciências, é esperado que os alunos participem ativamente durante as aulas. Porém, o que se vê hoje, é que os laboratórios se transformaram em lugares para comprovar a verdade ensinada nas aulas teóricas, lugares para “produzir bons resultados” ou testar uma lei científica. O foco nesses casos está sobre o conteúdo já visto e não sobre o que é importante, o aprendizado do estudante. Assim, os roteiros usados são tradicionalmente verdadeiros “livros de receita”, que prescrevem que passos e em que ordem o estudante deve seguir para realizar a atividade proposta (Redish,1996). Isso refreia sua iniciativa e curiosidade, inibindo seu pensamento próprio. Esse tipo de laboratório, que chamamos de tradicional, tem provocado enorme desinteresse entre os alunos, pois gasta-se muito tempo na coleta dos dados e em cálculos intermediários para se obter “a resposta que o professor pediu”, ou que o estudante já sabe, não contribuindo para que o aluno exercite a tomada de decisões, a avaliação de alternativas de ação de forma crítica e independente e o estimule ao trabalho em equipe. Para mudar esse quadro de descrédito em relação aos laboratórios de ciências, deve-se procurar envolver os estudantes com atividades que desenvolvam suas capacidades de resolução de problemas, com diferentes níveis de orientação.

Acreditamos que investigações, de variados níveis de complexidade, propostas pelos próprios alunos ou pelo professor têm o potencial de engajar e motivar os estudantes, permitindo a superação das dificuldades com as atividades práticas tradicionais. Numa investigação, idealmente espera-se que os próprios estudantes sugiram as formas e/ou procedimentos para desenvolvê-las. É claro que para isso, eles podem necessitar do auxílio do professor, especialmente nas primeiras investigações ou em situações mais complexas. Para o aprendizado do estudante, o tempo gasto na preparação e na elaboração de um método para a resolução de um problema é mais importante do que o tempo gasto na elaboração de relatórios, que acabam tornando-se cópias dos roteiros. Estudos sobre a utilização de laboratórios investigativos sugerem que essa estratégia desperta mais o interesse do estudante, aumenta a responsabilidade na determinação do processo operacional, possibilita uma melhor compreensão do que é o método científico, produz um aumento significativo no ganho educacional se comparado ao tradicional e pode ser utilizado por qualquer estudante, não só os mais talentosos (Leonard,1989).

Tamir(1991) propôs uma classificação para as atividades de laboratório, que iam de Nível 0, para aquelas parecidas com o laboratório tradicional, no qual o objetivo, procedimento e até mesmo a conclusão são dados pelo professor ou pelo roteiro, até o Nível 3, nos quais o aluno é responsável pela elaboração de toda a atividade, conforme mostra a tabela 1. O grande problema dos laboratórios tradicionais é, então, a utilização em excesso de experimentos de Nível 0 e 1. No Nível 3 de investigação, fica a cargo do aluno identificar um problema interessante para a investigação, formular hipóteses para investigação, selecionar os procedimentos, coletar dados e propor uma solução.

Nível de Investigação	Problemas	Procedimentos	Conclusões
Nível 0	Dados	Dados	Dados
Nível 1	Dados	Dados	Em aberto
Nível 2	Dados	Em aberto	Em aberto
Nível 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Tabela 1 – Níveis de investigação no laboratório de ciências.

Para se obter laboratórios de Níveis 2 e 3, propomos a utilização do MBL como ferramenta quase imprescindível. Nele, como argumentamos, o aluno possui mais liberdade de pensar e criar soluções para os problemas propostos possibilitando dessa forma um maior aprendizado. Segundo A. T. Borges(1997), o uso de computadores combinados com sensores de vários tipos é uma alternativa que tem o potencial de propiciar aos estudantes atividades relevantes e motivadoras, que os desafiem a utilizar suas habilidades cognitivas para construir modelos mais robustos capazes de dar sentido às suas experiências com o mundo.

## Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho, selecionamos um tópico para a investigação dos alunos - chama de uma vela. No entanto, a escolha de que aspecto da situação investigar ficou a cargo dos estudantes. Uma vez que as atividades seriam feitas fora do horário normal de aula, decidimos abrir uma lista de inscrição para os alunos do 1º Ano do Colégio Técnico – UFMG, interessados e com disponibilidade de tempo. Dentre os inscritos, selecionamos, de forma aleatória, cinco alunos, que foram entrevistados enquanto faziam experimentos sobre a chama da vela.

Todos os experimentos foram filmados por duas câmeras, uma centrada na tela do computador e outra, no aluno. Os registros em vídeo constituem o material que analisamos. Fizemos uma transcrição inicial que serviu como base para os resultados preliminares. Uma análise mais detalhada das situações e episódios está sendo preparada. Embora estudem no Colégio Técnico, de longa tradição no ensino experimental, os estudantes, por serem do primeiro ano, têm pouco domínio dos procedimentos e técnicas experimentais.

É importante ressaltar que os estudantes não tiveram acesso ao assunto do experimento (a chama da vela) até a sua realização. Perguntas preliminares foram feitas para verificar o conhecimento prévio do aluno sobre chamas e velas e motivar novas investigações, indicando assuntos interessantes para a pesquisa sem, no entanto, induzi-lo a definir que aspectos investigar. No início de cada sessão, o entrevistado recebeu instruções sobre o uso e funcionamento dos sensores, da interface e do software de controle por cerca de 10 minutos. O objetivo era que ele aprendesse, minimamente, como operar o sistema e que entendesse as possibilidades que se abriam para ele. Neste treinamento inicial, apresentamos um “sensor exemplo”. Para isso, escolhemos um sensor que não tivesse ligação com o que iríamos estudar, no caso o sensor de aceleração. Com isso, pretendemos evitar, ao máximo, qualquer forma de influenciar na escolha dos alunos. Chamamos a atenção deles para que levassem em consideração os intervalos de medidas e os erros de cada sensor.

Pedimos, então, ao aluno para escolher a investigação que ele iria fazer, citando o objetivo e os procedimentos que iria realizar. Apresentamos a ele, quatro sensores disponíveis para a investigação da chama da vela, dentre os quais haviam três de temperatura, com

intervalos de medidas variáveis, e um sensor de intensidade luminosa. O aluno tinha a liberdade de escolher qual(is) o(s) sensor(es) que ele iria trabalhar.

A partir daí, quando se inicia a parte prática (coleta e análise dos dados), todo o controle do experimento passa para as mãos do aluno. Sempre que necessário, dávamos algumas orientações. A cada gráfico, era pedido ao aluno para falar sobre o que chamava sua atenção e como ele interpretava os resultados obtidos.

Terminada a parte prática a entrevista continuou, tratando agora da utilização dos sensores e do programa, de forma a termos um conhecimento sobre o que os alunos acharam da utilização do MBL nessa prática investigativa e sobre as dificuldades que sentiram. Foram essas respostas, principalmente, que apresentamos nos resultados preliminares a seguir.

### **Resultados Preliminares**

A conversa inicial sobre a chama da vela deixa claro que os alunos, de um modo geral, conheciam sensores e citaram algumas de suas aplicações, como nas entradas de lojas, sensores de incêndio e alarmes de carros. Porém, não sabiam da aplicação dos sensores na educação e nem de seus princípios de funcionamento. Além disso, há evidências de que os alunos têm diferentes concepções relativas ao fogo. Ao perguntarmos sobre o que é o fogo, eles o associaram à alguma forma de energia, a reações químicas ou com gases:

“O fogo é a queima de alguma coisa que produz calor.” (aluno 3)

“Fogo é forma de energia.” (aluno 5)

“Seria tipo de um gás, a tendência dele é ficar em cima do ar.” (aluno 3)

“O fogo é reação de gases liberando calor.” (aluno 2)

Os sensores mais utilizados foram o Thermocouple (uma espécie de termopar que tem um intervalo de medida de  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $1400^{\circ}\text{C}$ ) e o Light Sensor (sensor de intensidade luminosa). Os alunos ficaram mais interessados em investigar a distribuição de temperatura ao longo da chama da vela e poucos se interessaram em investigar a intensidade luminosa. Os alunos souberam conectar bem os sensores utilizados à interface e configurar o programa para controlá-los.

Iniciando a parte experimental, o primeiro passo tomado foi, seguindo o procedimento que os alunos escolheram, definir os parâmetros do experimento (tempo de duração e taxa de coleta de dados). Alguns deles se mostraram confusos quanto a diferença entre taxa de coleta e precisão dos sensores ou, ainda, tempo do experimento. Este ponto foi importante, pois propiciou uma discussão sobre as características da coleta de dados em tempo-real e sua análise. Foi interessante notar que os alunos entenderam logo como ajustar os parâmetros.

Os alunos estimaram que a temperatura máxima, independente da cor da chama, seria de 1000, 600, 300, 150 e  $50^{\circ}\text{C}$ . Baseando-se no valor máximo, cada um determinou a escala do gráfico para a coleta dos dados da temperatura da chama. Foi interessante observar a surpresa com que os alunos viam que a escala escolhida era insuficiente. Chegamos a obter frases como: “o meu primeiro chute foi muito longe” ou “não esperava que a chama fosse tão alta”.

Depois de alterar a escala até um valor adequado (alguns mudaram até 3 vezes a escala), os alunos realizaram a coleta de dados visando solucionar o problema proposto por eles mesmos. O procedimento escolhido, na maioria das vezes, foi colocar a ponta de prova do termopar fixa em uma das cores da chama da vela. Feito isso, repetia-se o procedimento porém em outra região da chama. Quanto à investigação sobre luminosidade, o procedimento foi semelhante, direcionando o sensor para cada parte da chama da vela separadamente.

Para cada gráfico obtido pedimos ao aluno que o analisasse, com a ajuda das ferramentas exibidas pelo programa. Perguntamos a cada um deles se o resultado obtido foi surpreendente, se ele esperava tal medida e quais as conclusões que poderiam ser tiradas. Obtivemos, como exemplo, as seguintes respostas:

“É mais quente na ponta dela.” (aluno 2)

“Na chama amarela, tudo é mais forte.” (aluno 1)

“Contradizendo o que eu falei em cima é mais quente.” (aluno 4)

“Eu acho que eu estava errado mesmo, em cima deve ser mais quente.” (aluno 2)

“Eu achava que a temperatura deveria ser bem menos.”(aluno 3)

A maioria dos alunos relacionou temperatura com a intensidade luminosa da chama embora poucos quisessem utilizar o sensor de intensidade luminosa para verificar suas suposições. Os alunos que utilizaram o sensor de luminosidade o fizeram para testar as hipóteses e verificaram que: “quanto mais quente a chama, maior a luminosidade”, “quem emite mais luz, emite mais calor”, “onde a luz é mais forte, a chama é mais quente”. Esse resultado não surpreendeu aos alunos que já esperavam tal relação porém, mesmo sem a surpresa, os resultados geraram discussão.

A análise do vídeo revelou a facilidade dos alunos em trabalhar com os sensores mesmos sem nunca ter nenhum contato com eles. Os alunos tiveram uma desenvoltura semelhante à dos laboratórios tradicionais.

Conforme o objetivo do trabalho e baseando-se nas respostas dos alunos, tentamos responder à três perguntas levantadas durante o desenvolvimento dessa pesquisa:

*1- Alunos do ensino médio são capazes de conduzir atividades práticas abertas de Nível 3 e tirar delas conclusões proveitosas?*

Dos cinco alunos entrevistados, todos investigaram a distribuição da temperatura nas diferentes partes da chama da vela, quatro investigaram a temperatura ao redor da vela e dois deles também se interessaram em investigar a intensidade luminosa e comparar os resultados. Quatro alunos, após as questões iniciais, tiveram interesse imediato e espontâneo de investigação. O outro aluno insistiu na necessidade de se estudar previamente o assunto, porém, ele também realizou a investigação e, como todos, se surpreendeu com os resultados obtidos.

Os cinco então, definiram bem os objetivos de cada um. Quanto aos procedimentos, dois alunos tiveram dificuldades em defini-los, mas com orientações de nossa parte, conseguiram progredir. Devemos ressaltar, no entanto, que os cinco alunos ignoravam certos cuidados experimentais como o de controlar a variável distância do sensor até a chama, mantendo-a constante, quando se media a intensidade luminosa nas diversas regiões próximas da vela. Quando isso ocorria, os entrevistadores chamavam a atenção para a importância

desses cuidados. Além disso, notamos algumas dificuldades naturais na execução dos procedimentos, devido à pouca experiência em atividades em laboratórios e manuseio dos sensores.

Todos alunos chegaram a conclusões semelhantes com grande facilidade, mesmo se estas contrariavam suas expectativas. Alguns chegaram até a tentar desenvolver algum raciocínio que explicasse tais resultados.

*2- O software de controle da interface e exibição dos dados oferece algum empecilho à compreensão dos experimentos?*

Ao final, a entrevista continuou, tratando das reações dos estudantes e das dificuldades que eles enfrentaram. Apenas um argumentou que, pelo fato do programa estar em inglês, poderia haver alguma dificuldade. Mas os cinco alunos não demonstraram tal dificuldade. Ao manusear o programa, os alunos não tiveram problema em selecionar o sensor que iriam trabalhar, em determinar os parâmetros do experimento e usar a ferramenta de análise apresentada (estatística, que fornece média, desvio padrão e valores máximos e mínimos), fazendo isso de forma fácil e ágil, especialmente o aluno 4. Thornton(1990) previa tal resultado pois já havia notado que os estudantes não precisariam de conhecimento algum sobre computadores para utilizar as ferramentas do MBL, já que o programa é de ambiente Windows, amplamente disseminado, sendo auto-explicativo e amigável.

Um ponto questionável é o fato das curvas exibida pelo programa terem muitas variações abruptas, devido ao processo de conversão analógico-digital. O aluno é obrigado a saber discernir entre o que é variação da medida e o que é erro do instrumento. Os alunos, mesmo sabendo do erro do sensor, acreditavam que as variações eram devidas à oscilações da chama, tremores de mãos e posicionamento do sensor. Três alunos, em especial, demonstraram essa dificuldade mas, conseguiram, mesmo assim, compreender e analisar os gráficos.

*3- A realização de experimentos investigativos com a utilização dos MBLs aumenta a motivação dos alunos ?*

Ao analisar, no vídeo, o comportamento dos alunos durante a realização do experimento, notamos que eles se mostraram interessados, dispostos e extremamente atuantes. Quando estimulados a comparar esse tipo de atividade utilizando os sensores, com os laboratórios tradicionais que eles costumam ter ou tiveram, os alunos reforçaram nossas observações. Eles se sentiram motivados em utilizar o MBL principalmente pela praticidade, pela coleta em tempo-real e pela forma de exibição dos dados:

“Com os sensores é mais fácil porque tá mostrando mais a realidade.” (aluno 3)

“É mais interessante, você já tem o gráfico mais fácil e rápido e tem mais tempo para discutir o que interessa mais, o que aconteceu.” (aluno 2)

“Com os sensores é mais preciso.” (aluno 4)

“O mais legal é ficar só observando. Fica mais ligado na experiência.” (aluno 5)

“A análise gráfica ajuda muito.” (aluno 1)

“É mais interessante porque tem mais dados e é mais fácil de trabalhar.” (aluno 2)

“Interessante fazer atividades assim. É tão simples, pouca gente chega em casa e pergunta porque que a vela é assim.” (aluno 4)

“É melhor fazer sem saber e depois debater os resultados obtidos.” (aluno 5)

“Se você soubesse antes o que daria, muitos perdem o interesse.” (aluno 4)

Um aspecto importante, levantado por alguns alunos e que demonstra a descaracterização do laboratório tradicional, é que suas principais preocupações são as de obter respostas “corretas”, previstas na teoria, nem que para isso seja necessário alterar as medidas efetuadas, como demonstra as opiniões abaixo:

“Você não quer saber se vai dar certo ou se vai dar errado, tem que dar a resposta que o professor pediu.” (aluno 4)

“Os ajustes ocorrem devido à insegurança, pois o aluno pensa que está errado, o que tá na teoria é que está certo.” (aluno 5)

Assim, os Laboratórios Investigativos Centrados em Computador (LICC) podem criar ambientes que forneçam oportunidades para o aluno propor e refinar questões, fazer e testar previsões, formular planos para experimentos, coletar e analisar dados, além de contribuir para reforçar a habilidade em interpretar gráficos e resultados (Linn, Layman e Nachmias, 1986) levando os alunos a se envolverem com investigações verdadeiras simulando as etapas do processo científico.

### **Considerações Finais**

Dentro do projeto “Inovação e Desenvolvimento de Currículos de Física”, esse trabalho possibilitou o primeiro contato direto dos estudantes com o MBL e atividades de caráter investigativo. A pesquisa está em andamento, de forma que os resultados apresentados são preliminares. Faremos ainda um trabalho mais completo aplicando atividades como esta na tentativa de se inovar as atividades práticas para o ensino de física, peças fundamentais no currículo em desenvolvimento.

Mesmo sendo preliminares, os resultados sugerem que os LICCs exigem do aluno não só um maior envolvimento com o experimento, como também exigem dos professores uma melhor preparação, pois, esses devem estar cientes dos reais objetivos das atividades que desenvolvem. É dentro desse objetivo que ressaltamos a enorme importância na construção do conhecimento que esses LICCs proporcionam visto que, mesmo considerando que os alunos pudessem ter tido uma conclusão incorreta do ponto de vista conceitual, é notório o aumento da percepção crítica e das habilidades de investigações exigidas (formulação de questões, predição de resultados, formulação e teste de hipóteses, observação, interpretação, explicação e aplicação (Tamir, 1991)) nos eventos ocorridos no laboratório. Essa diferença entre o "ponto de vista da ciência" e a conclusão do aluno deve ser levada em consideração e, se trabalhada de forma adequada, aumenta as possibilidades de discussão e o ganho educacional do estudante.

Os cinco alunos apreciaram a realização do experimento com a utilização dos sensores, conseguindo conduzir bem a atividade do Nível 3, obtendo resultados satisfatórios ao tirarem conclusões e responderem suas próprias questões. Eles se desenvolveram bem, não tendo problemas em conectar os sensores à interface, em configurar o programa, em analisar os gráficos obtidos e retirar deles as informações necessárias. Todos afirmaram que não tiveram dificuldades em trabalhar com os sensores e se sentiram estimulados a fazerem novas descobertas.

## Referências

- BORGES, A.T. “O papel do laboratório no ensino de Ciências” Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2-11. Águas de Lindóia, SP, 27 a 29 de setembro de 1997.
- GOMES, A.D.T, SILVA, M.V.D, BORGES, Oto N, BORGES, A.T. “Laboratórios Centrados em Computador” .Apresentado no XIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Brasília, 25 a 29 de janeiro de 1999.
- KRAJCIK, J. S. e LAYMAN, J.W, “ Microcomputer-based laboratories in the Science Classroom” . <http://science.coe.uwf.edu/narst/research/microcomputer.htm>.
- LEONARD, W.H. (1989) “Using Inquiry Laboratory Strategies in College Science Courses” Research Matters-to the Science Teacher. <http://www.narst.org/research/inquiry.htm>
- LINN, M.C., LAYMAN, J.W. e NACHMIAS, R. (1986). “Cognitive consequences of Microcomputer-based Laboratories: Graphing skills development”. *Contemporary Education Psychology*, 12(3), 244-253.
- REDISH, E.F. (1996) "New models of physics instruction based on physics education research". <http://www.physics.umd.edu/rgroups/ripe/papers/jena/jena.html>.
- REDISH, E.F., SAUL, J.M e STEINBERG, R.N. (1997). “On the effectiveness of active-engagement microcomputer-based laboratories” *Am. J Phys.* 65, 45-54.
- TAMIR, P. (1991) “Practical work at school: an analysis of current practice” In B.Woolonough (ed.) *Practical Science*. Milton Keynes: Open University Press.
- THORNTON, R.K. e SOKOLOFF, D.R. (1990). “Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools” *Am. J. Phys.* 58, 858-867.
- THORNTON, R.K. e SOKOLOFF, D.R. (1997). “Assessing student learning of Newton’s laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula ” *Am.J. Phys.* 66, 338-352.