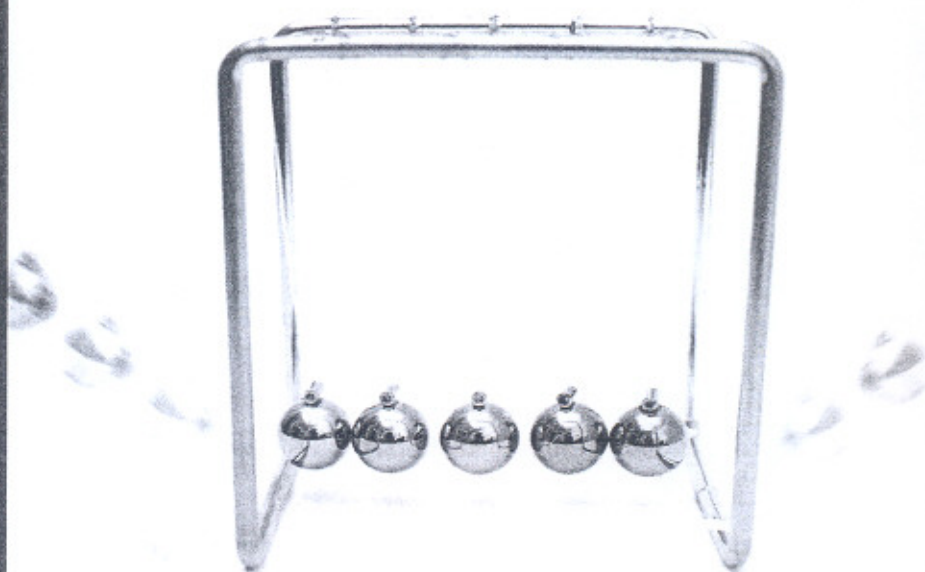


Ensino de

Física



Anna Maria Pessoa de Carvalho

Elio Carlos Ricardo

Lúcia Helena Sasseron

Maria Lúcia Vital dos Santos Abib

Maurício Pietrocola

Anna Maria Pessoa de Carvalho
(Coordenadora da Coleção)

CAPÍTULO 3

As práticas experimentais no ensino de Física

Anna Maria Pessoa de Carvalho

Desde o século XIX as aulas práticas experimentais fazem parte do planejamento do ensino de Física da escola média (Lanetta *et al.* 2007) tendo por objetivo proporcionar aos alunos um contato mais direto com os fenômenos físicos. Os termos “aulas práticas” ou “aulas de laboratórios” ou “laboratório escolar” têm sido utilizados para designar as atividades nas quais os estudantes interagem com materiais para observar e entender os fenômenos naturais. As interações dos estudantes com o material experimental podem ser somente visuais, quando a experiência é feita pelo professor, em aulas que denominamos de demonstração; ou de forma manipulativa, quando, em pequenos grupos, os alunos trabalham no laboratório. Os planejamentos e a condução das aulas de laboratório variam em um grande espectro: desde altamente estruturados e centrados nos guias, com o objetivo principal de comprovar o que o aluno já aprendeu nas aulas teóricas, até um laboratório por investigação, quando o objetivo é introduzir os alunos na resolução de um problema experimental.

Apesar de as atividades experimentais estarem há quase 200 anos nos currículos escolares e apresentarem uma ampla variação nos possíveis planejamentos, nem por isso os professores têm familiaridade com essa atividade. A grande maioria destes laboratórios se

traduz em aulas extremamente estruturadas com guias do tipo “receitas de cozinha”. Nessas aulas, os alunos seguem planos de trabalho previamente elaborados, entrando nos laboratórios somente para seguir os passos do guia, onde o trabalho do grupo de alunos se caracteriza pela divisão das tarefas e muito pouco pela troca de ideias significativas sobre o fenômeno estudado.

Nas décadas de 1960 e 1970, no século XX, a concepção das atividades experimentais no ensino de Física teve, pelo menos parcialmente, uma mudança com o aparecimento dos projetos de ensino de Física – o Physical Science Study Committee (PSSC), que foi traduzido e implementado no Brasil e o Projeto de Ensino de Física (PEF) (Carvalho, 1973). Nesses projetos, as aulas experimentais foram planejadas como um lugar de investigação, visando o desenvolvimento de problemas experimentais.

Muitas pesquisas sobre o ensino e a aprendizagem nos laboratórios didáticos foram desenvolvidas nesta época, e dentre elas podemos destacar a de Pella (1969). Este pesquisador, analisando como o ensino de Ciências (Física, Química e Biologia) estava sendo apresentado aos alunos pelos professores e pelos materiais didáticos, fez uma grande pesquisa nos manuais de laboratório e nas próprias aulas de Ciências do Ensino Médio, procurando determinar o possível grau de liberdade intelectual que os professores proporcionavam a seus alunos. Para a análise de seus dados, Pella construiu uma tabela (veja a seguir) na qual classificava em cinco graus a liberdade intelectual que o professor e/ou o material didático ofereciam aos alunos.

O grau I de liberdade, quando o aluno só tem a liberdade intelectual de obter dados, caracteriza bem a aula tipo “receita de cozinha”. O problema, as hipóteses, o plano de trabalho e as próprias conclusões sobre os dados a ser obtidos já estão propostos. Essas aulas, muito mais comuns do que desejaríamos, são encontradas até hoje em nossas escolas e manuais de laboratórios.

Infelizmente, o que muitas vezes encontramos nos manuais fica aquém da proposta de Pella – seria um grau zero (?) –, pois sequer o problema e as hipóteses são apresentados nos textos. Estes descre-

Tabela 3.1 *Graus de liberdade do professor/aluno em aulas de laboratório*

	GRAU I	GRAU II	GRAU III	GRAU IV	GRAU V
Problema	P	P	P	P	A
Hipóteses	P	P	P	A	A
Plano de trabalho	P	P	A	A	A
Obtenção de dados	A	A	A	A	A
Conclusões	P	A	A	A	A

vem a proposta teórica do experimento e passam diretamente (sem a discussão das hipóteses) para o plano de trabalho que os alunos devem executar. Nesses casos, as conclusões já estão dadas – tem de se provar que a teoria está certa. Parece-nos lógico, para essa prática, que os alunos “cozinhem” os dados. O que realmente os alunos aprendem em anos desse tipo de aulas de laboratório é como dividir tarefa entre os participantes do grupo de trabalho e como “cozinhar” dados para alcançar os resultados esperados e tirar boas notas.

O grau II de liberdade é caracterizado por dar aos alunos a liberdade para tirarem conclusões a partir de seus próprios dados. Isso, que nos parece lógico, não é fácil de encontrar, pois necessita de uma mudança estrutural na colocação do problema. Não pode haver mais problemas do tipo “Prove que...”, para o qual a conclusão é fechada. Por exemplo, em vez da proposição “Prove que a aceleração da gravidade é $9,8 \text{ m/s}^2$ ”, o problema a ser proposto seria “Qual aceleração você pode obter? E por quê?”. Essa pequena mudança já modificará bastante as aulas, principalmente em termos de objetivos atitudinais a ser alcançados.

No grau III de liberdade, não é mais o professor ou o manual que irá propor aos alunos o que deverá ser feito, mas o aluno – ou cada grupo de alunos – é convidado a elaborar o plano de trabalho para a obtenção dos seus dados que levarão às conclusões de seu grupo. A passagem do grau II para o grau III de liberdade intelectual foi muito explorada nos grandes projetos de ensino de Física elabo-

rados na segunda metade do século XX, como o *Physicae Science Study Committee* (PSSC). Nesse projeto, para cada capítulo, encontramos problemas experimentais propostos no grau de liberdade II seguidos por outros, bem semelhantes, mas que poderíamos classificar como sendo de grau III de liberdade.

O grau IV caracteriza-se pelas atividades em que os alunos só recebem do professor o problema e ficam responsáveis por todo o trabalho intelectual e operacional; e o grau V, quando até o problema deve ser proposto pelos alunos.

Essas duas situações caracterizam os alunos como jovens cientistas; proposta coerente com as feiras de Ciências tão em moda nas décadas de 1970 e 1980. Entretanto, encontrar no ensino de Física do curso médio esse grau de liberdade, ou seja, ter alunos que consigam alcançar essa liberdade intelectual até hoje é o sonho de muitos professores ou mesmo de sociedades científicas, pois em todos os países encontramos programas governamentais como o “Jovens Cientistas”, que valorizam e premiam o aluno pesquisador.

A grande crítica ao ensino de Ciências, feita a partir do final do século XX, e aqui incluímos o ensino de Física, foi justamente esta: o ensino era proposto para aqueles com facilidade para as Ciências, visando formar cientistas. Enquanto achávamos um único “jovem cientista”, deixávamos milhares de estudantes de lado, sem que entendessem nada de Ciências, e, principalmente, detestando Física. Este fato não era só um problema brasileiro, mas mundial, com impacto social muito grande em um mundo cada vez mais influenciado pelas Ciências e suas Tecnologias. Ensinar Ciências para todos passou a ser um objetivo da sociedade contemporânea.

As práticas experimentais em um ensino que vise a enculturação científica dos alunos

São várias as mudanças de diretrizes na concepção do que seja ensinar Física que se consolidaram neste início de século XXI e que influenciaram diretamente as atividades de laboratório. A principal, e

da qual derivam todas as outras, é que o ensino de Física deve ser para todos, e não mais só para aqueles que tenham aptidão para essa disciplina.

Tradicionalmente, o ensino de Física é voltado para o acúmulo de informações e o desenvolvimento de habilidades estritamente operacionais, em que, muitas vezes, o formalismo matemático e outros modos simbólicos (como gráficos, diagramas e tabelas) carecem de contextualização. Na sala de aula, essa prática de ensino, que se fundamenta em um ensino por transmissão, dificulta a compreensão por parte dos alunos sobre o papel que diferentes linguagens representam na construção dos conceitos científicos (Capecchi e Carvalho, 2006). Essa enorme dificuldade de entendimento das diversas linguagens utilizadas no desenvolvimento dos conteúdos científicos leva uma grande parte dos alunos a se identificar com o desabafo de uma aluna em uma entrevista feita por nosso grupo: "... não entendia nada do que o professor de Física falava lá na frente... era como se ele falasse outra língua... por mais que eu me esforçasse....não conseguia entender onde ele queria chegar com tudo aquilo..." (Capecchi, 2004).

Um ensino que tenha por objetivo levar os alunos a se alfabetizarem cientificamente (ver capítulo 1), preparando os nossos jovens para uma participação ativa na sociedade, deve procurar desenvolver novas visões de mundo por parte dos estudantes, considerando o entrelaçamento entre estas e conhecimentos anteriores. No caso da aprendizagem de Física, isto significa, sobretudo, a aquisição pelos alunos de novas práticas e linguagem, sem deixar de relacioná-las com as linguagens e práticas do cotidiano. A aprendizagem como enculturação ou alfabetização científica traz um novo olhar sobre os conteúdos e atividades trabalhados nas aulas de Física, abrangendo aspectos diversos da construção dos conhecimentos científicos, desde seu caráter de produção humana até a importância dos símbolos na construção dos conceitos científicos (Capecchi e Carvalho, 2006).

Importantes perspectivas sobre a natureza das Ciências começaram ser utilizadas para a educação em Ciências, mais fortemente para as atividades de laboratório, influenciando o modo como a Física

poderia ser ensinada para promover uma aprendizagem com entendimento desta ciência.

Temos necessidade de estabelecer o que se deve entender por uma visão aceitável do trabalho científico, estando sempre conscientes da dificuldade de falar em uma “imagem correta” da construção do conhecimento científico, principalmente se levarmos em conta que estamos lidando com o ensino de Física para o Ensino Médio. Entretanto, podemos procurar os pontos comuns das produções da Filosofia das Ciências da segunda metade do século XX, deixando de lado as interpretações diversas e os pontos de divergências (Gil *et al.*, 2001). Nosso objetivo é extrair algumas proposições básicas em torno da atividade científica que possam ser absorvidas em atividades de ensino, incentivando o processo de enculturação científica e que, ao mesmo tempo, sejam tangíveis em aulas de laboratório.

Assim, as atividades experimentais para o ensino de Física, que tenham por base uma proposta pedagógica de enculturação científica, precisarão atender aos seguintes pontos:

1. Superação das concepções empírico-indutivistas da Ciência

Desejamos que essas atividades deem oportunidade para que os alunos, mesmo não conscientemente, superem as concepções empírico-indutivistas da Ciência. Podemos observar esse ponto tão importante observando se os alunos, ao procurarem resolver as questões (experimentais) propostas pelos professores, levantam hipóteses a partir de seus conhecimentos prévios, submetendo essas hipóteses a provas. Apesar de muitas investigações em ensino de Ciências indicarem que o ensino costuma transmitir visões empírico-indutivistas da Ciência, muito distantes do processo de construção dos conhecimentos científicos (Mathews, 1991; Koulaidis, V. e Ogborn, J., 1995), outras apontam que, como mostram Peluzzi e Peluzzi (2004), são “estruturadas em bases educacionais e epistemológicas claras e bem conduzidas: aguçam a curiosidade; minimizam a abstração; suscitam discussões e elaborações de hipóteses, demandam reflexão, espírito

crítico e explicações...”. Podemos citar alguns artigos de pesquisadores brasileiros que, utilizando atividades experimentais, levaram os alunos a superarem as concepções empírico-indutivistas: Moreira e Ostermann (1993); Borges (2004); Capecchi e Carvalho (2006).

2. Promover a argumentação dos alunos

Outro ponto importante para a superação das concepções empírico-indutivistas da Ciência é observar como as argumentações são desenvolvidas nessas aulas. A linguagem das Ciências é argumentativa, sendo necessário apresentar uma argumentação com justificativa para transformar fatos em evidências. (Latour e Woolgar, 1997; Toulmin, 1958; Lemke, 1998, 2000, 2003; Driver *et al.*, 2000; Jiménez-Aleixandre, 2005). Uma consequência importante para o ensino, principalmente para as aulas de laboratório, é o entendimento de que as observações e o experimento não são a rocha sobre a qual a Ciência está construída; essa rocha é a atividade racional de geração de argumentos com base em dados obtidos. E é essa a meta de nosso ensino: criar um ambiente de aprendizagem de modo que nossos alunos adquiram a habilidade de argumentar a partir dos dados obtidos, procurando a construção de justificativas (exemplos de artigos que analisam as argumentações dos alunos em aulas experimentais: Azevedo, 2004; Capecchi, 2004; Couto e Aguiar, 2009).

3. Incorporar as ferramentas matemáticas

Devemos observar se as aulas estão oferecendo a oportunidade de incorporar o papel essencial das matemáticas no desenvolvimento científico. Podemos constatar se o ensino está promovendo a enculturação dessa vertente do conhecimento científico se o professor leva seus alunos a trabalharem com dados, utilizando primeiramente uma “análise qualitativa” em relação às principais variáveis do fenômeno, e se expressam essa relação utilizando o raciocínio proporcional que é a base da linguagem matemática nas Ciências (Lawson,

1994, 2000a, 2000b). Ver exemplos de aulas de Física no Ensino Fundamental em que são analisados esses pontos: Locatelli, 2006; Locatelli e Carvalho, 2005.

Além disso, no Ensino Médio, se, ao utilizarem as ferramentas matemáticas (gráficos, equações, fórmulas), os professores propõem questões sobre a utilização dessas ferramentas, relacionando-as com as explicações científicas e fazendo a tradução da linguagem conceitual da física para a linguagem matemática e vice-versa¹.

4. Transpor o novo conhecimento para a vida social

Precisamos observar se as atividades experimentais estão proporcionando a transposição do conhecimento aprendido para a vida social, procurando buscar as complexas relações entre ciências, tecnologia e sociedade, procurando generalizar e/ou aplicar o conhecimento adquirido, relacionando-o com a sociedade em que vivem.

Pesquisas feitas em aulas de laboratório de ensino de Ciências (Lunetta *et al.* 2007) mostraram que os estudantes são incapazes de adquirir um bom entendimento sobre a natureza das Ciências simplesmente tomando parte de um laboratório investigativo. Para que esse objetivo de tornar explícita a natureza das Ciências seja alcançado, é preciso que os estudantes examinem, argumentem sobre e discutam a natureza de boas evidências e decidam sobre alternativas (Driver *et al.*, 2000; Duschl, 2000; Jiménez-Aleixandre, 2005).

O papel do professor em aulas de laboratório que vise a enculturação científica de seus alunos

As aulas de laboratório que visam alcançar os objetivos de uma enculturação científica, em que os alunos têm um engajamento efetivo, pensando e tomando suas próprias decisões, e construindo suas argumentações sobre os fenômenos estudados, somente acontecem

¹ Artigos nos quais as aulas de laboratório de Física são analisadas sob esse ponto de vista: Capecchi e Carvalho, 2006; Carmo e Carvalho, 2008, 2009.

quando os professores reformulam o seu papel: de transmissor do conhecimento já estabelecido para um orientador de seus alunos, ajudando-os na construção de seus novos conhecimentos.

Para introduzir em suas aulas atividades inovadoras nas quais se espera que os alunos tenham participação intelectualmente ativa, é necessário que os professores adotem práticas nada habituais para os professores formados “no” e “para” o ensino tradicional.

As estratégias de ensino empregadas pelos professores para guiar seus próprios comportamentos nas interações com os alunos precisam ser bem planejadas, pois existe uma forte relação entre o comportamento do professor e o de seus alunos. Em outras palavras, podemos dizer que existe uma relação de causa e efeito entre a *sequência de ensino* planejada pelo professor e o *ciclo de aprendizagem* de seus alunos.

Nossa proposta de sequência de ensino para as atividades experimentais, seja em uma aula de demonstração, seja em um laboratório investigativo, compreende cinco etapas:

1. A proposta do problema experimental pelo professor

O problema precisa ser compreendido pelos alunos. O professor não deve ter medo de repeti-lo com outras palavras. Redefini-lo. Se for uma demonstração para a classe, podem ser feitas perguntas do tipo: “Qual questão estamos investigando?”, procurando observar as expressões dos alunos. Se for um laboratório, onde os alunos estão divididos em pequenos grupos, o professor deve interagir com os grupos, para se certificar de que todos entenderam o problema experimental, mas sempre tomando o cuidado de não dar as respostas nem indicações de como resolver o problema.

2. A resolução do problema pelos alunos

Nessa etapa, o professor exerce um papel diferente tanto na aula de laboratório, onde os alunos trabalham em pequenos grupos, quanto na aula de demonstração.

Quando os alunos estão trabalhando em grupos, em um laboratório investigativo, procurando caminhos para investigar sua questão de pesquisa, o principal papel do professor é observar o trabalho dos grupos, procurando não interferir, lembrando que o erro é importante na construção do conhecimento – aprendemos mais quando erramos e conseguimos superar esse erro do que quando acertamos sem dificuldades. É nessa etapa, na interação aluno-aluno, que as hipóteses serão propostas – e as manipulações serão planejadas para testá-las. Existirá uma negociação de significados entre os alunos muito importante para a construção do conhecimento.

Quando a aula é demonstrativa, a estratégia utilizada pelo professor poderá levar os alunos a *predizer – observar – explicar*. O professor precisa engajar os alunos no problema que evidencia o fenômeno que será apresentado. E este engajamento deverá ser feito por meio de questões à classe e por trabalhos com suas respostas. Agora, na interação professor-turma, as hipóteses precisam aparecer antes da explicação do fenômeno e, se possível, essa explicação deverá ser construída com os alunos e não para os alunos.

3. A etapa de os alunos apresentarem o que fizeram

Essa é uma etapa muito importante na construção do conhecimento científico, pois, ao demonstrarem o que fizeram para seus colegas e para o professor, como resolveram o problema, os alunos desenvolvem um raciocínio metacognitivo que os leva a tomarem consciência de suas ações e o porquê destas. É nessa etapa que se solidificam as discussões realizadas nos grupos, levando-os a tomarem consciência das relações entre as variáveis do fenômeno físico estudado, o que se traduz, nas falas dos alunos, em apresentação de análises qualitativas dessas relações. Essas análises qualitativas são os primeiros passos para a introdução da linguagem matemática no ensino de Física – tabelas, gráficos e equações.

Existe uma série de questões na literatura (Rivard, 1994) que, feitas pelos professores, auxiliam comportamentos metacognitivos

consistentes. Exemplos destas questões são: O que vocês estavam pretendendo? O que fizeram? Quais foram as evidências? Como suas ideias se modificaram? O que aconteceu quando vocês...? O que estes procedimentos têm em comum?

4. Etapa da procura de uma explicação causal e/ou de sistematização

Em muitos casos, as experiências terminam na etapa anterior, mas nossa proposta de ensino é ir além. Os alunos precisam entender que a Ciência, e a Física em particular, não é apenas descritiva, mas principalmente propositiva. Ela propõe conceitos novos para o seu entendimento e esses conceitos são construídos justamente para dar sentido à realidade. As principais experiências levaram os cientistas, e devem levar os alunos, a construir esses conceitos. Os novos conceitos exprimem novas relações. É na passagem da etapa de explicar o *como* fizeram para o *porquê* deu certo, na passagem das relações qualitativas entre as variáveis para a sistematização em uma fórmula, que o conceito se estabelece. Essa passagem não é fácil, e muitas vezes poderíamos chamar esta etapa de aula teórica.

5. A escrita individual do relatório

Ensinar a escrever Ciências é também uma das etapas da enculturação científica que deve ser trabalhada na escola. A escrita é uma atividade complementar à argumentação que ocorre nas etapas anteriores – primeiramente em grupos pequenos e, depois, na relação professor/turma –; ambas são fundamentais em um ensino de Ciências que procura criar nos alunos as principais habilidades do mundo das Ciências. Baseamo-nos no trabalho de Rivard e Straw (2000) para incentivar que cada aluno escreva seu próprio relatório, uma vez que os autores mostram que “o discurso oral é divergente, altamente flexível, e requer pequeno esforço de participantes enquanto eles exploram ideias coletivamente, mas o discurso escrito é convergente, mais focalizado, e demanda maior esforço cognitivo do escritor”.

Nossas pesquisas já demonstraram que discussões entre alunos e professor são importantes para gerar, clarificar, compartilhar e distribuir ideias entre o grupo, enquanto o uso da escrita como instrumento de aprendizagem realça a construção pessoal do conhecimento (Oliveira e Carvalho, 2005). Escrever analiticamente requer uma posição lógico-reflexiva que estimula os estudantes a refinar seu pensamento, aumentando assim seu entendimento do tema estudado (Oliveira, 2009).

Alguns exemplos para discussão

1. Demonstração investigativa

Uma aula de demonstração pode simplesmente mostrar um fenômeno natural (físico, químico ou biológico), o que realmente é melhor do que falar sobre o que acontece na natureza. Nesses casos, as demonstrações têm o único objetivo de ilustrar o que foi falado, de comprovar um conteúdo já ensinado, ou seja, demonstrar, aos alunos, que o professor estava certo. Esse é um objetivo bem pequeno para um curso de Física e leva os alunos, mesmo os bons, a não sentirem necessidade deste tipo de aula.

A demonstração deve apresentar não só o fenômeno em si, mas criar oportunidade para a construção científica de um dado conceito ligado a esse fenômeno e esse é o primeiro grande cuidado que temos de tomar quando preparamos uma *demonstração investigativa*: estar consciente da epistemologia das Ciências e saber diferenciar entre um fenômeno e o(s) conceito(s) que o envolve(m).

O fenômeno pode ser mostrado, pois é um acontecimento da natureza; entretanto, o conceito não está diretamente visível, é uma abstração, quase sempre uma explicação para o fenômeno, e precisa ser construída logicamente. Essa construção pode ser feita primeiramente em uma interação fenômeno-discurso de professor e alunos e, depois, esse discurso já sistematizado precisa ser traduzido em lin-

guagem matemática (quase sempre em outra aula, quando o material experimental já não é mais necessário).

Um cuidado no planejamento das demonstrações investigativas é buscar uma questão problematizadora que, ao mesmo tempo, desperte a curiosidade e oriente a visão dos alunos sobre as variáveis relevantes do fenômeno a ser estudado, fazendo com que eles levanten suas próprias hipóteses e proponham possíveis soluções. É preciso lembrar sempre do fato que Osborne *et al.* (2001) chamam bastante atenção: a Ciência escolar geralmente apresenta mais argumentos de autoridade do que aqueles embasados em justificativas, ignorando aspectos da argumentação científica.

Nas aulas de demonstrações, esse fato é bastante comum, pois, muitas vezes, o fenômeno mostrado é apresentado de forma autoritária, quando a argumentação científica relativa a construções conceituais é esquecida pelo professor. Assim, se quisermos que os alunos construam os conhecimentos científicos, devemos criar situações por meio de questionamentos intermediários que os levem pouco a pouco a se expressarem em uma linguagem científica, pois, como mostram Kress *et al.* (2001), o aprendizado da linguagem científica contribui para a formação do conceito do que é Ciência por parte dos alunos. E a construção desse aprendizado passa por situações nas quais os alunos tenham de pensar e justificar suas ideias, esclarecendo intencionalmente o raciocínio feito.

Algumas vezes, quando o professor consegue propor uma “boa” questão, as previsões ou antecipações elaboradas pelos estudantes, a partir de seus esquemas conceituais espontâneos ou baseados em outros referenciais, são contrariadas pelos resultados experimentais. Esses fatos podem criar o que foi denominado na pesquisa em ensino de Ciências de conflitos cognitivos, isto é, quando as ideias espontâneas dos alunos ou as explicações deles sobre determinados fenômenos são colocadas em conflito com os observáveis. É da superação destes conflitos cognitivos que nascem as aprendizagens efetivas, e as demonstrações investigativas são as melhores atividades de ensino

para que eles apareçam, em forma de hipótese dos alunos, sendo discutidos e superados pela visão da realidade do fenômeno.

Exemplo 1 – Reflexão total

Vamos apresentar uma aula de demonstração investigativa em Óptica Geométrica em que o professor tem por objetivo construir o conceito de ângulo limite. Ao ensinar refração, o professor pode falar que, ao passar de um meio mais refringente para um menos refringente, a luz sofre, a partir de determinado ângulo, uma reflexão total. Mas ele pode facilmente, com uma lanterninha e um bloco de vidro em forma de um semicírculo, mostrar a luz passando do vidro para o ar e demonstrar o fenômeno da reflexão total. Quem já viu a luz refratada no ar mudar bruscamente de direção, passando a se refletir para dentro do vidro, realmente não se esquece desse fenômeno nem dessa aula. Mas daí, entre ver o fenômeno (o professor precisa repetir o experimento várias vezes para que os alunos consigam perceber o que acontece) e entender o conceito de ângulo limite vai uma boa distância.

Um problema simples seria pedir aos alunos que pensassem o que aconteceria quando a luz passasse do ar para o vidro e, depois, do vidro para o ar. A refração seria a hipótese mais plausível, por ser um conceito cotidiano ou mesmo já estudado anteriormente. Quando os alunos vissem a reflexão total – no momento da passagem da luz do vidro para o ar –, o professor perguntaria sobre as possíveis explicações, levando-os a argumentarem e a procurarem “olhar” novamente o fenômeno para observar o fenômeno que não haviam notado. Eles quase nunca “veem” os raios refletidos de pouca intensidade. A discussão precisa ser aberta, e as respostas do professor não podem ser avaliativas, e sim elicitativas, levando os alunos a pensarem sobre todos os pontos de vistas. O ângulo limite aparecerá, sem dúvida alguma, como um marco lógico de separação entre o ângulo de incidência, em que pode ainda haver a refração, daquele em que esse fenômeno não pode mais ocorrer.

A partir desse ponto, não só a conceituação de ângulo limite foi feita com ou pelos estudantes, como as sentenças de que eles se utilizaram para descrever o ângulo limite podem agora ser retomadas pelo professor para, primeiro, fazer a sistematização conceitual, isto é, a passagem da linguagem cotidiana usada pelos alunos à linguagem científica da definição correta de ângulo limite e, segundo, fazer a tradução da linguagem oral para a linguagem matemática expressa pela fórmula do ângulo limite.

Essa passagem é necessária, mas extremamente difícil de os alunos realizarem sozinhos. Ensinar Física é ensinar os estudantes a se expressarem na linguagem matemática e entenderem essa linguagem, e o melhor caminho é fazê-los compreender o significado físico e matemático de cada sentença falada. O ir e vir do fenômeno à matemática, e desta ao fenômeno, é um dos principais e mais complexos objetivos do ensino de Física.

Exemplo 2 – Dilatação volumétrica dos gases

Vamos relatar uma demonstração investigativa gravada em vídeo durante um curso de Termologia e Termodinâmica (Carvalho *et al.*, 1999) para o nível médio, na qual um conflito cognitivo foi criado, ou seja, as ideias espontâneas ou explicações sobre o fenômeno apresentadas pelos alunos entraram em conflito com os observáveis. Em outras palavras, as previsões ou antecipações elaboradas pelos estudantes dentro de um esquema conceitual espontâneo ou baseadas em outros referenciais foram contrariadas pelos resultados experimentais.

A professora já tinha ensinado unidades que propunham: a diferenciação entre os conceitos de temperatura e calor, a de propagação de calor e uma sequência de aulas em que, utilizando a história da Ciência, foi introduzida a Teoria Cinético Molecular como um dos possíveis modelos explicativos dos fenômenos estudados. Iniciavam-se os fenômenos de dilatação, e a professora propôs uma demonstração bastante simples de dilatação volumétrica, com uma bexiga acoplada a um erlenmeyer, sendo o conjunto aquecido por uma lamparina.

Foi feita a seguinte questão para a classe: "O que acontecerá com a bexiga ao aquecermos o sistema aqui apresentado?"².

A classe sugeriu que a bexiga iria se encher, entretanto, se houve consenso na previsão do fenômeno (bexiga encher), não houve em relação à explicação.

Aluno 5: "O que acontece é que o ar quente sobe."

Aluno 12: "Por causa do ar quente."

Aluno 5: "Porque o ar quente é mais leve e sobe [abre os braços no ar]."

Aluno 12: "Porque ele se expande."

Estes são alguns exemplos de falas dos alunos que mostram que a busca por uma explicação para o fenômeno está aparecendo; contudo, os alunos apresentam argumentos isolados e sem justificativas. Podemos notar duas classes de explicações ("o ar está quente e sobe" e "o ar se expande") iguais ou complementares do ponto de vista dos alunos. A professora procurou chamar a atenção deles para a existência de ideias diferentes, porém os estudantes continuaram transitando entre elas, sem considerar conflito algum.

A professora propôs uma nova questão desafiadora: "se continuarmos aquecendo, mas virarmos o erlenmeyer de tal jeito que a bexiga fique para baixo, então ela vai se esvaziar?".

Aluno 15: "Ela ia esvaziar... Se o ar estivesse subindo, ela ia esvaziar."

Professora: "... Se o ar estivesse subindo, ela deveria estar esvaziando..."

Aluno 15: "Mas o ar não está subindo... Ele está se expandido... Então ela não vai esvaziar..."

A professora fez a demonstração.

Alunos: "Ahn..."

Vemos agora a argumentação do aluno 15 já completamente estruturada, apresentando justificativa e um pensamento hipotético-dedutivo, depois, confirmado pela experiência empírica.

² A transcrição e a análise completa dessa aula estão publicadas em Cappechi, 2004.

Professora: "A gente viu que o ar quente sobe, mas por que ele está descendo? Agora o de cima está empurrando o de baixo, por quê? Porque ele quer...?"

Aluno 2: "Se expande."

Aluno 6: "Tá expandindo."

Professora: "E por que ele se expande?"

Aluno 2: "Porque ele está sendo aquecido."

Professora: "Por que quando ele está sendo aquecido se expande?"

Aluno 5: "Porque se agita."

Professora: "Aquece mais, agita mais, ocupa mais espaço e mantém o ar lá embaixo. Como é que chama isso aqui?"

Aluno 10: "É isso que a gente queria saber."

Professora: "Então, não é a mesma coisa que a gente viu na outra aula?"

Aluno 8: "Não."

Professora: "Nós vimos, agora, o que nós chamamos de dilatação volumétrica...". Continua a sistematização do novo conhecimento.

Essa parte da transcrição da aula mostra os alunos como participantes intelectualmente ativos durante o ensino, exibindo apreensão dos conteúdos ensinados em aulas anteriores e vislumbrando a diferenciação dos fenômenos. Levados pela argumentação do professor a participarem da elaboração dos "porquês" e sentirem necessidade de criar um novo conceito (na verdade, uma nova expressão) – dilatação volumétrica – para dar conta dessa nova explicação causal.

2. Laboratório investigativo

A diferença do laboratório investigativo, quando apresentamos um problema experimental para os alunos em grupo resolverem, é que, com essa atividade, pretendemos alcançar alguns objetivos bem específicos. Pretendemos que os alunos aprendam a resolver problemas experimentais, isto é, que sejam capazes de organizar um plano

de trabalho, do qual consigam extrair dados confiáveis, e que saibam interpretar tais dados. Esses não são objetivos fáceis de serem alcançados, e para isso é necessária uma interação construtiva entre professor e alunos.

Os laboratórios investigativos são também importantes para aprendizado das diferentes linguagens da Física. Nessas atividades, quando os alunos manuseiam os materiais na busca de solução do problema, a linguagem oral e cotidiana vai sendo utilizada pelo grupo na procura das variáveis importantes na descrição do fenômeno. Essa linguagem oral e cotidiana vai se transformando em uma linguagem oral mais científica, quando o grupo se organiza para explicar à classe o modo de resolução do problema. Nessa etapa, alguns conceitos científicos podem (e devem) ser sistematizados. Os dados obtidos em um laboratório investigativo vão sofrer várias modificações – são colocados em tabelas e muitas vezes transformados em gráficos e equações. A interação entre a linguagem oral científica e a linguagem matemática empregada vai sendo construída pelos alunos. Esse é, também, um objetivo muito importante no Ensino Médio.

Exemplo 1 – Descrevendo o movimento do tatu-bola

Essa aula de laboratório investigativo foi proposta para iniciar um curso de Cinemática tendo por objetivo introduzir os alunos nas linguagens matemáticas utilizadas na Física – tabelas, gráficos e equações. O conteúdo prévio necessário para a aula é o conceito espontâneo de velocidade que os alunos trazem.

O material experimental para cada grupo de alunos consta de um tubo de PVC oco, transparente, de aproximadamente um metro de comprimento e dois centímetros de diâmetro, uma régua, um relógio que marque os segundos e um tatu-bolinha (pequeno bicho que pode se deslocar pelo tubo).

ETAPA 1 – O problema dado para a classe é: Como vocês podem descrever o movimento do tatu-bolinha dentro do tubo?

Nessa etapa, o professor deve ter certeza de que os alunos entenderam o problema.

ETAPA 2 – A resolução do problema pelos grupos.

Dividir a classe em grupos de 4 a 5 alunos e distribuir o material. É interessante deixar os alunos brincarem um pouco com o tatuzinho para que eles sintam o problema de como descrever o seu movimento. Depois, algumas perguntas devem ser feitas para que os estudantes não se percam e para que comecem a estruturar suas hipóteses. Os grupos devem responder a algumas perguntas: Como vamos descrever o movimento do tatu-bolinha? Quais as variáveis que mostram o movimento do tatu-bolinha? Como medi-las? E se o tatuzinho não andar, podemos descrever o seu não movimento?

Nessa etapa o professor deve acompanhar os grupos, estando atento à discussão dos alunos. Eles precisam fazer a experiência, sentir o que dá certo e o que dá errado. É preciso deixar os alunos errarem, pois as pesquisas em aprendizagem têm mostrado que é a partir do entendimento da causa do erro em seu próprio raciocínio que os alunos melhor compreendem o raciocínio correto (Macêdo, 1994).

Entretanto, há um erro que eles não conseguem superar sozinhos. Quando os alunos começam a tirar os dados, uma parcela significativa dos grupos fixa o espaço (por exemplo, dois centímetros) e procura ver em quanto tempo o tatuzinho o percorre.

Agora é hora de o professor interferir e refazer a pergunta: “e se o tatuzinho resolver parar no meio do caminho, como vocês vão fazer?”. É importante que eles percebam a impossibilidade de obter respostas e a necessidade de se fixar o tempo e medir o quanto o animal anda nesse intervalo. Esse é um aprendizado essencial para todas as Ciências. É importante que os alunos sintam que, nos fenômenos da natureza, o tempo é sempre a variável independente, e isso se reflete nas fórmulas matemáticas que descrevem a natureza – elas sempre são escritas como funções do tempo, por exemplo: $e = f(t)$ ou $v = f(t)$ etc.

O professor, porém, não deve propor com detalhes a sistematização dos dados, isto é, como os grupos farão a tabela entre as variáveis: espaço e tempo. As diferentes tabelas elaboradas pelos grupos irão, na próxima etapa da aula, proporcionar discussões contextualizadas de outros conceitos da Cinemática, como, por exemplo, espaço inicial, velocidade média, sentido do movimento etc.

Depois de os alunos terem extraído os dados, o professor pode pedir para cada grupo traçar o gráfico ($e \times t$).

ETAPA 3 – Os alunos apresentam o que fizeram.

Postos na lousa os gráficos dos diferentes grupos, o professor deve propor uma série de questões para promover o total entendimento dessa linguagem. Por exemplo: como descobrir, por meio dos gráficos dos grupos, qual dos tatuzinhos andou mais depressa? Onde, no gráfico, está representada a velocidade do animal? Qual é o gráfico do tatuzinho que não quis andar? Qual parte do gráfico representa quando o tatuzinho parou? Por que o gráfico de um grupo é diferente dos outros?

Ao se discutirem essas questões, os conceitos vão sendo contextualizados e a interação entre a linguagem gráfica e a fenomenológica vai sendo construída pelos alunos.

ETAPA 4 – A sistematização dos resultados.

Como mostramos anteriormente, essa etapa pode ser feita em outra aula, que chamaríamos de teórica, mas que deveria iniciar com questões do tipo: Como se escreve a função matemática para descrever o movimento de cada tatuzinho? Como verter a linguagem gráfica para a equação?

A construção social desses conhecimentos, fundamentais para a compreensão da Física, pode ser conduzida por meio de uma interação professor-grupos, na qual cada grupo de alunos passa a construir a equação matemática do movimento de seu próprio tatuzinho. Nessa condição, o discurso dos alunos, a tabela, o gráfico e a equação são diferentes linguagens de um mesmo fenômeno.

ETAPA 5 – Relatando por escrito.

Após essa série de aulas – às vezes duas, às vezes três, dependendo do conhecimento prévio da classe –, é bom que cada aluno sistematize, com suas próprias palavras, o entendimento do processo desde o problema inicial – “Como descrever o movimento do tatinha dentro do tubo?” – até a equação do espaço em função do tempo do tatinho. Esse exercício de sistematização é importante tanto para os alunos, que tomam consciência do que aprenderam, como para o professor, para verificar o que conseguiu ensinar.

Essa é uma aula de laboratório bastante divertida, lembrada pelos alunos após anos, e uma das melhores para que os alunos construam amigavelmente a relação da Física com as outras linguagens utilizadas nas ciências.

Outros exemplos de laboratório investigativo podem ser encontrado em Carvalho *et al.* (1999) e no site www.lapef.fe.usp.br, tanto para o Ensino Médio como para o Ensino Fundamental.

Problemas enfrentados nas atividades experimentais

Apesar de todos os professores estarem cientes da importância das atividades experimentais no ensino de Física para todos os níveis de ensino, não é difícil encontrar alunos que nunca entraram em um laboratório didático! Muitos são os problemas enfrentados pelos professores na organização destas atividades. Vamos aqui discutir os mais frequentes.

O tempo – As atividades experimentais consomem um tempo considerável, já muito limitado nos currículos atuais, principalmente na rede pública, quando o professor conta com duas ou três aulas semanais. Assim, o professor precisa selecionar com muita clareza a experiência que será tratada como um laboratório investigativo. Essa deve ser uma experiência crucial para o desenvolvimento do conteúdo a ser ensinado. Outros fenômenos podem ser tratados menos profundamente, utilizando aulas de demonstração,

pois, quando bem conduzidas e engajando mentalmente os alunos, sempre podem ser eficientes e utilizam menos tempo.

O material experimental – O material selecionado para a atividade experimental sempre tem um papel fundamental para promover o que os alunos vão observar e aprender, ou para confundir. A simplicidade ou complexidade, a novidade ou a familiaridade dos materiais do laboratório tornam-se uma importante variável, que os professores precisam considerar para promover uma aprendizagem significativa.

A utilização de equipamentos e materiais de baixo custo, usados com frequência pelos alunos em seu cotidiano, pode ajudá-los no entendimento dos fenômenos e em suas aplicações. Por outro lado, é importante introduzi-los aos *softs* e aos equipamentos mais sofisticados, mas, nesses casos, é preciso levar em consideração que os estudantes focam suas atenções primeiramente no novo material e em seu funcionamento, para, depois, prestarem atenção no conceito científico. E isso leva tempo! Quando os estudantes utilizam os *softs* para a elaboração de gráficos pela primeira vez, eles prestam mais atenção no procedimento que envolve sua utilização do que na representação gráfica das relações e conceitos que esta ferramenta produziu.

Temos de tomar cuidado quando o material necessário para uma experiência é de manipulação perigosa ou muito caro. Então, é melhor que sejam manipulados pelo professor em uma aula de demonstração.

Existem muitos artigos em revistas nacionais que relatam experiências interessantes, identificando o material experimental utilizado.

Referências bibliográficas

- AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por Investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: Carvalho, A. M. P. *Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Cadernos Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, Edição Especial 2004, p. 9-30
- CAPECCHI, M. C. M. *Aspectos da Cultura Científica em Atividades de Experimentação nas Aulas de Física*. São Paulo, 2004. Tese (Doutorado). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CAPECCHI, M. C. M.; CARVALHO A. M. P. Atividades de laboratório como Instrumentos para a abordagem de aspectos da cultura científica em sala de aula, *Por-Posições*, v. 17, n. 1 (49), p. 137-153, 2004.
- CAPPECHI, M.C.M.. Argumentação numa aula de Física. In: Carvalho, A. M. P. *Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- CARMO A. B.; CARVALHO, A. M. P. Construindo a linguagem matemática em uma aula de Física. In: Nascimento, S.S.; Plantin, C. *Argumentação e Ensino de Ciências*. p. 93-117. Curitiba: Editora CRV, 2009.
- CARMO A. B.; CARVALHO, A. M. P. Construindo a linguagem gráfica em uma aula experimental, *Ciência e Educação*, v. 15, n. 1, p. 61-84, 2009.
- CARVALHO, A. M. P; SANTOS, E. I.; AZEVEDO, M. C. P. S.; DATE, M. P. S.; FIJIL, S. R. S.; NASCIMENTO, V. B. *Termodinâmica: um ensino por investigação*. São Paulo: USP, 1999.
- COUTO, F. P.; AGUIAR JUNIOR, O. Sustentando o interesse e engajamento dos estudantes: análise do discurso em atividade demonstrativa de Física. *Atas do VII ENPEC, Encontro nacional de Ensino de Física*, ABRAPEC, Florianópolis, 2009.
- DRIVER, R.; NEWTON, P. e OSBORNE, J. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*. v. 84, n. 3, p. 287-312, 2000.
- DUSCHL, R. A. (2000) Making the nature of science explicit. in MILLAAR, J. L. & OSBORNE (ed.). *Improving science education: the contribution of Research*. Philadelphia: Open University Press, 2000.

GIL, D. FERNANDES; I., CARRASCOSA; J. CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, v. 7 (2), p. 125-153, 2001.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. A argumentação sobre questões sócio-científicas: processos de construção e justificação do conhecimento na aula. *ATAS do ENPEC*, Bauru, 2005.

KRESS, G.; JEWITT, C.; OGBORN, J.; TSATSARELIS, C. *Multimodal teaching and learning: the rhetorics of the science classroom*. Londres: Continuum, 2001.

KOULAIDS, V.; OGBORN, J. Science Teacher Philosophical assumptions: how well do we understand them? *International Journal Science Education*, n. 177, v. 3, p. 2733-2833, 1995.

LATOUR B.; WOOLGAR, S. *A vida de laboratório: a produção de fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

LAWSON, A. E. Epistemological foundations of cognition. In: D. Gabel (Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Londres: MacMillan, 1994.

LAWSON, A. E. How do humans acquire knowledge? And what does that imply about the nature of knowledge? *Science & Education*, n. 9, v. 6, p. 577-598, 2000a.

LAWSON, A. E. The generality of hypothetico-deductive reasoning: Making scientific reasoning explicit. *The American Biology Teacher*, 62 (7), p. 482-495, 2000b.

LEMKE, J. Multimedia literacy demands of the scientific curriculum. *Linguistics and Education*, n. 10, v. 3, p. 247-271, 2000.

LEMKE, J. Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In: MARTIN, J. e VEEL, R. (Eds.) *Reading Science*. Londres: Routledge, 1998.

LEMKE, J. Teaching all the languages of Science: words, symbols, images and actions. (no prelo, a ser publicado em *Metatemas*, Barcelona). Disponível em: <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/sci-ed.htm>.

LOCATELLI, R. J.; CARVALHO A. M. P. Como os alunos explicam os fenômenos físicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 2005.

LOCATELLI, R. J. *Uma análise do raciocínio utilizado pelos alunos ao resolverem os problemas propostos nas atividades de conhecimento físico*. São Paulo, 2006. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

LUNETTA, V. N.; HOFSTEIN, A.; CLOUGH, M. P. Learning and Teaching in the School Science Laboratory: an Analysis of Research, Theory and Practice. In: Aabell, S. K.; LEDERMAN, N. G. *Handbook of Research on Science Education*. Londres: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2007.

MACEDO, L. *Ensaio Construtivistas*. São Paulo: Casa do Psicólogo, 1994.

MATTHEWS, M. R. Un lugar para la historia y la filosofia en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, v. 11, n. 12, p. 141-155, 1991.

NEWTON, P.; DRIVER, R.; OSBORNE, J. The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, n. 21, p. 553-576, 2000.

OLIVEIRA, C. M. A.; CARVALHO, A. M. P. Escrevendo em Aulas de Ciências. *Ciências e Educação*, v. 11, n. 3. P. 347-366, 2005.

OLIVEIRA, C. M. A. *Do discurso oral ao texto escrito nas aulas de ciências*. São Paulo, 2009. Tese de doutorado. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

OSBORNE, J.; ERDURAN, S.; MONK, M. Enhancing the quality of arguments in school science. *School Science Review*, v. 83, n. 301, 2001.

PEDUZZI, S.; PEDUZZI, L. Editorial. *Cadernos Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, Edição Especial, p. 7, 2004.

PELLA, M. O. The Laboratory and Science Teaching. In: ANDERSEN, H. O. *Reading in Science Education for the Secondary School*. Londres: The Macmillan Company, 1969.

RIVARD, L. P.; STRAW S. B. The Effect of Talk and Writing on Learning Science: An Exploratory Study. *Science Education*, 84, p. 566-593, 2000.

RIVARD, L. P. A Review of Writing to Learn in Science: Implications for practice and research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, p. 969-204, 1994.

TOULMIN, S. *The uses of argument*. Cambridge: Cambridge University Press, 1958.

Exercícios para serem resolvidos em um curso de formação de professores

1. Escolha um tópico do currículo de Física do curso médio que deve ser ensinado em um semestre letivo. Mesmo com duas ou três aulas por semana não temos tempo para um grande número de laboratórios investigativos, e devemos dar pelo menos duas destas atividades por semestre. Escolha quais os fenômenos a serem ensinados que você proporia desenvolver em um laboratório investigativo e quais seriam ensinados em uma aula de demonstração.
2. Planeje essas aulas tendo em vista o papel que o professor deve desempenhar nas atividades, isto é, procure pensar nas questões a serem feitas aos alunos nas cinco etapas.
3. Analise as atividades experimentais de um livro didático utilizando a tabela que reproduz os graus de liberdade intelectual professor-alunos em uma aula de laboratório.
4. Transforme uma das atividades do exercício 3 em um laboratório investigativo.
5. Imagine a seguinte situação: seu diretor o chamou para comunicar que tinha recebido uma verba, limitada, para montar um laboratório na escola. Prepare uma lista de materiais para entregar ao diretor.
6. Discuta, como se fosse outro professor da mesma escola, a lista organizada por seus colegas. Verifique se a lista dos materiais é capaz de abranger as atividades experimentais – demonstrações e laboratórios investigativos – organizadas por você no primeiro exercício.