

AS AULAS DE CIÊNCIAS E O DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DA ESTRUTURA DA MATÉRIA

Regina Costa^b [recosta02@hotmail.com]
Shizue Shimizu^c [shizueshimizu@ig.com.br]
Anne L. Scarinci^a [l.scarinci@gmail.com]
Jesuína L. A. Pacca^d [jepacca@if.usp.br]

^a Universidade de São Paulo

^b E. E. Zuleika de Barros

^c E. E. Tarcísio A. Lobo e Colégio Santa Marcelina

^d Universidade de São Paulo

RESUMO

Após uma série de atividades que procuram construir os conceitos fundamentais de eletricidade, a aula expositiva de sistematização dos conteúdos estudados pode resumir os aprendizados dos alunos na seqüência e endereçar as dificuldades conceituais encontradas, procurando solucioná-las. Entretanto, a aula expositiva pode ser vista como uma situação em que os alunos ficam passivos e somente o professor fala, com dificuldade para controle do aprendizado na sala de aula. Nesse trabalho, descrevemos duas estratégias para a aula-síntese sobre corrente elétrica, desenvolvidas por duas professoras que perceberam como dificuldade principal dos alunos, para a compreensão do conceito de corrente elétrica, a visualização de um modelo de estrutura da matéria, de onde sairiam os elétrons, os íons e a estrutura cristalina de um condutor, que dariam significado físico à formalização de $i=dq/dt$. Como auxílio na explicação desses conteúdos, as professoras elaboraram modelos concretos, que demonstrariam a condução e a geração da corrente elétrica abordadas através das partículas que compõem a matéria na pilha e no condutor elétrico. Os modelos elaborados foram diferentes e focalizaram aspectos também diversos na condução de eletricidade: uma das aulas focou o modelo de fio condutor e a outra, as reações que geram os elétrons pela pilha. No entanto, como estratégia, foram semelhantes: os modelos utilizaram materiais de fácil acesso pelas professoras, foram tridimensionais e representaram um comportamento dinâmico de partículas invisíveis, indo ao encontro da preocupação de assegurar maior proximidade entre a explicação que o professor dá e aquilo que o aluno compreende. Como resultado, as professoras conseguiram controlar melhor o espaço de aprendizagem e promover a compreensão dos conceitos pelos alunos.

PALAVRAS CHAVE

Ensino de eletricidade, construtivismo na sala de aula, modelos na física.

INTRODUÇÃO

Esse trabalho apresenta duas aulas diferentes sobre a corrente elétrica, de duas professoras que tiveram como objetivo a conexão entre os fenômenos macroscópicos observados em um circuito elétrico com uma compreensão microscópica do que ocorre no interior de um fio condutor ou de uma pilha, quando há passagem de corrente. Essas aulas na forma de exposição das

professoras procuravam dar significado ao conteúdo apresentado, respeitando as concepções previamente construídas pelos alunos e adotando modelos adequados dos conceitos em construção.

As professoras envolvidas neste trabalho desenvolveram, na sequência anterior a essa aula apresentada, uma série de atividades com o intuito de envolver o aluno nesse tema. Estas atividades procuraram explorar a fenomenologia (acendimento da lâmpada, de um LED, corrosão ou aumento de massa dos eletrodos em uma pilha eletrolítica) e explicá-la através da construção dos conceitos científicos envolvidos (condutor elétrico, elétrons livres, movimento de íons, etc.).

Uma das maiores dificuldades que o aluno encontra está na abstração desses modelos. A “visualização” mental do que ocorre no interior do fio, da pilha e da lâmpada exige que se imagine uma estrutura atômica que não é observável empiricamente. Daí a necessidade, percebida pelas professoras, de lançar mão de modelos concretos, que pudessem servir como uma ferramenta intermediária para que o aluno chegasse a essa abstração.

O conhecimento científico tem base empírica, ou seja, é constrangido por como o mundo é. No entanto, não é uma cópia do mundo. Os conceitos científicos são construídos pela mente humana, a partir da observação e interação com o empírico. A construção dos conceitos se dá derivando modelos a partir de teorias sobre como a natureza se comporta (Driver et al., 1994).

Uma parte importante do trabalho do professor de ciências é ensinar os alunos a pensar usando os modelos da ciência – para que, a partir deles, o aluno compreenda a teoria científica, que seria a meta mais ampla do processo de ensino.

Por outro lado, a bibliografia construtivista sobre o aprendizado afirma que as “teorias” e modelos espontâneos que os indivíduos constroem ao longo da sua interação com o mundo são freqüentemente diferentes dos científicos. Por conseguinte, os modelos novos que o professor ensina são a princípio frágeis (o aluno não os compreende totalmente e não sabe aplicá-los para explicar um fenômeno) e incertos (o professor não tem controle sobre como o seu aluno os compreendeu).

Isso é verdade especialmente quando se trata de um modelo abstrato – como o modelo de estrutura da matéria. A teoria da eletricidade é baseada na compreensão da carga elétrica e do movimento ou disposição de cargas em um material. O professor que quer ensinar a corrente elétrica, a diferença de potencial, a resistividade, deve concomitante a esses objetivos desenvolver estratégias para que o aluno compreenda a aplicação do modelo de estrutura da matéria na formulação de cada um desses conceitos.

Percebemos que quando o professor simplesmente fala para o aluno que através de um fio ligado a uma pilha passa uma corrente elétrica e a define como sendo a quantidade de carga que passa por uma seção transversal do fio por unidade de tempo ($i = q/\Delta t$), isso não é suficiente para que o aluno compreenda o conteúdo. A compreensão adequada de cada uma das grandezas físicas envolvidas nessa definição requer a construção de um modelo físico bastante complexo, que é o modelo da estrutura da matéria, sem o qual a “definição” perde o sentido físico.

Explicar o átomo (novamente!) em uma aula de física não é útil a não ser que o contexto dessa explicação seja significativo para o aluno; por exemplo, quando o átomo se torna necessário para solucionar um problema ou dar conta de explicar um fenômeno.

As aulas que procuramos descrever e analisar, e que fazem parte desse trabalho¹, tiveram esse propósito: levar ao aluno o modelo de átomo e o modelo de estrutura da matéria como ferramentas que os auxiliariam a explicar e pensar o circuito elétrico.

As dificuldades dos alunos – os modelos espontâneos e o modelo científico

Os metais são condutores de eletricidade *porque* a organização dos **átomos** nos metais forma uma **rede cristalina**, em que os elétrons que deixaram a **camada de valência (elétrons livres)** apresentam um **movimento aleatório** e livre através da estrutura e, por este motivo, pertencem a todos os átomos de cobre e a nenhum ao mesmo tempo. São eles os responsáveis pelo transporte da energia elétrica fornecida pela pilha. Nessa singela explicação, percebemos que a compreensão da condução metálica necessita de uma série de conceitos relacionados a um sofisticado modelo físico sobre a estrutura da matéria.

A primeira explicação dos alunos ao fenômeno de acender uma lâmpada em um circuito elétrico é de que há uma “energia” (ou uma “força” ou outra “coisa”) que sai da pilha. Quando o professor dá a explicação de que o que “sai da pilha” são elétrons, e que há um circuito fechado para que isso ocorra (ou seja, há elétrons saindo por um pólo, mas há também elétrons entrando pelo outro), o aluno deixa de compreender detalhes do fenômeno que seu modelo ingênuo dava conta de explicar, como por exemplo, por que a pilha descarrega (o modelo da “energia” dava conta dessa explicação, porque a “energia” somente saía da pilha). Ou seja, toda uma estrutura de pensamento precisa ser modificada ou não há aprendizagem significativa.

Então há uma primeira dificuldade, que é de visualizar esta movimentação de cargas, e uma segunda dificuldade, que é o *obstáculo verbal* (Bachelard, 1996) da palavra *energia* (ou *força* ou outra *coisa*). A energia do aluno não corresponde ao conceito científico de energia elétrica, pois “flui” como se fosse um líquido da pilha até a lâmpada. Ademais, nas explicações de muitos alunos, a pilha fornece *energias positiva e negativa*, que se encontram e “explodem” para a produção de luz a lâmpada (Pacca *et al*, 2003). Por isso, o que se busca, no início de um curso de eletricidade, é passar dessa explicação empirista ingênua de *energia-fluido* para uma “movimentação de cargas elétricas num sentido preferencial”.

A construção de uma modelagem física que permita a compreensão da corrente elétrica é muito importante porque é utilizando este modelo que o aluno terá condições de compreender e interpretar os conceitos mais aprofundados da eletricidade e do eletromagnetismo (*e.g.* ddp, resistência, domínios magnéticos, indução, são todos fundamentados em um modelo sobre a estrutura da matéria).

DESCRIÇÃO DO TRABALHO DESENVOLVIDO

O planejamento e o modelo – a seqüência pedagógica necessária

Serão relatados os trabalhos de duas professoras, que tiveram como eixo norteador, em seus planejamentos, o desenvolvimento modelos capazes de explicar a corrente elétrica. Os planejamentos eram referentes ao primeiro bimestre do trabalho de eletromagnetismo e as atividades incluíam o trabalho com o circuito elétrico simples. Nos três casos, o modelo de estrutura

¹ Fazemos parte de um grupo que estuda e pesquisa o ensino de eletromagnetismo para a escola básica, coordenado pela Profa. Dra. Jesuína Pacca e com apoio da FAPESP.

da matéria apareceu na aula-síntese (uma aula expositiva de fechamento e sistematização dos conteúdos).

As atividades que precederam essa aula, embora não sendo exatamente as mesmas e na mesma ordem para cada professora, em geral versaram sobre: montagem de circuito simples, montagem de pilha eletrolítica, estudo dos componentes do circuito e do circuito interno da lâmpada.

Na aula-síntese, o objetivo das professoras foi o de abordar de forma integrada todos os elementos do circuito elétrico e de chegar à definição e formulação matemática da corrente elétrica.

As descrições das aulas, a seguir, foram extraídas de trabalhos das professoras.

Aula 1: A estrutura cristalina com aquário e massa de modelar

Nas aulas iniciais do planejamento, os alunos tiveram oportunidade de expressar suas explicações espontâneas sobre circuitos, debatê-las e encontrar respostas para problemas levantados sobre o circuito simples. Através de atividades experimentais planejadas com construções de circuitos usando uma lâmpada, fios e pilha, os alunos responderam perguntas, expressando suas idéias sobre a estrutura macroscópica e microscópica envolvidas no estudo da eletricidade. Estas informações serviram para fazer discussões, comparações e debates entre os próprios alunos e principalmente com as idéias científicas. Todo esse processo aconteceu com um envolvimento muito grande e participação dos alunos nas aulas de física, o que resulta num processo ensino-aprendizagem muito gratificante tanto para o aluno quanto para o professor.

O objetivo da aula síntese foi fazer uma sistematização de todo o conteúdo estudado para chegar o conceito de corrente elétrica e levar os alunos a entender a sua definição e formulação matemática, de modo a perceber aplicações desse fenômeno em seu dia-a-dia e resolver exercícios de física, conseguindo interpretar e dar sentido físico aos resultados encontrados.

Com o objetivo de conceituar a corrente elétrica, foi considerado o resultado de um exercício de eletricidade em que a quantidade de cargas que atravessavam uma seção transversal do condutor, por segundo, era de $3,8 \cdot 10^{15}$. Uma das metas seria, então, entender o significado físico deste número, o que significaria responder a algumas questões, como por exemplo:

Que cargas são essas? Por que são os elétrons que se movimentam (e não as cargas positivas)? De onde são estes elétrons? Como é esse movimento? O que acontece com a movimentação destes elétrons quando não tem corrente elétrica? Como se deve imaginar o movimento ordenado dos elétrons num fio com corrente? Para que servem os pólos da pilha?

Ao encontrar respostas para estas perguntas, o aluno conseguiria imaginar o que acontece no fio de cobre quando o circuito está fechado, dentro do filamento da lâmpada quando está acesa e dentro da pilha quando esta faz parte do circuito, em suma, entender o fenômeno da corrente elétrica.

A construção de um modelo concreto da estrutura da matéria deveria também se mostrar capaz de materializar o que não conseguimos “enxergar” nos fenômenos, quando estudamos eletricidade.

A aula constou de quatro partes. Para organizar os conteúdos e desenvolvê-los em uma aula de 50 minutos, cada parte contou com o auxílio de um painel em papel pardo. A utilização do painel foi importante para chamar a atenção dos alunos sobre o conteúdo que estava em jogo e fazer com que eles pensassem sobre o que estava sendo apresentado.

1ª Parte - Apresentação das concepções dos alunos sobre como a lâmpada acende:

O primeiro painel continha as seguintes expressões dos alunos:

“A carga da pilha chega na lâmpada. São cargas positivas que chegam na lâmpada.”

“A lâmpada acende com a energia da pilha que é conduzida pelo fio de cobre.”

“Carga positiva e carga negativa se unem e se transformam numa só energia e acende a luz.”

“Elétron positivo e elétron negativo produz a luz.”

“A corrente flui da pilha para a lâmpada.”

É interessante notar como os alunos já apresentam alguma visão microscópica da questão de eletricidade, mesmo sem consciência disso e muitas vezes com pouca coerência.

2ª Parte – Apresentação das idéias dos alunos em comparação com as idéias científicas:

Foram traçados comentários a partir do conteúdo do segundo painel, que apresentou o quadro abaixo:

Visão macroscópica dos alunos	Visão da ciência	Visão microscópica do aluno	Semelhança entre idéias dos alunos e conteúdo científico
Arame ou cobre conduz energia	Materiais condutores de eletricidade (cobre)	Setas nos desenhos dos alunos indicam movimento	Algo circula
Uso da pilha para acender a lâmpada	Fonte de energia	Partículas em movimento a partir da pilha	Cargas circulam em conseqüência da ddp provocada pelos pólos da pilha
Destacaram os pontos de contato nos desenhos dos alunos	Pontos de contato da pilha e lâmpada para fechar o circuito	Partículas atômicas em movimento com o caminho fechado: carga, carga negativa, elétron e energia	Algo circula no mesmo sentido num circuito fechado
Representam o circuito fechado (sem o filamento da lâmpada)	Precisamos ter circuito fechado para ter corrente elétrica		

Esses dois painéis mostram que os alunos já apresentavam alguma visão microscópica da estrutura da matéria para dar explicações sobre o que acontece o interior do fio quando a lâmpada está acesa num circuito simples; entretanto muitos alunos não sabem com precisão o significado dos termos que utilizaram para explicar suas idéias.

3ª Parte: Apresentação do modelo de átomo:

Os alunos já sabiam que os fios condutores utilizados eram de cobre, por isso o terceiro painel apresentou um esquema do modelo do átomo cobre, destacando o número atômico desse elemento, a composição do núcleo (prótons e nêutrons) e da eletrosfera (elétrons), as partículas do átomo com suas cargas e a distribuição eletrônica em camadas, com destaque para a camada de valência.

Sobre esse painel foram colocados elementos concretizados por: bolinha de massa de modelar azul para representar o cátion de cobre (quando perde o elétron da camada de valência para a estrutura metálica), bolinha de massa vermelha (menor que a azul) para representar o elétron livre, e palito para representar o sentido e a direção do movimento do elétron. Com isso, foi encaminhada a quarta parte, com a realização da dinâmica que ocorre a nível microscópico.

4ª Parte: A estrutura cristalina do fio condutor

No 4º painel foi montado um circuito, também com elementos concretos representativos, com o objetivo de enfatizar que o modelo (microscópico) de estrutura cristalina que os alunos veriam construído se referia aos elementos (macroscópicos) do circuito.

Os materiais representativos do quarto painel foram: barbante para representar o fio de cobre, caixa encapada fazendo o papel da pilha (com sinais + e – representando os pólos), e um desenho de uma lâmpada. A questão colocada foi: *O que está acontecendo dentro do fio?*

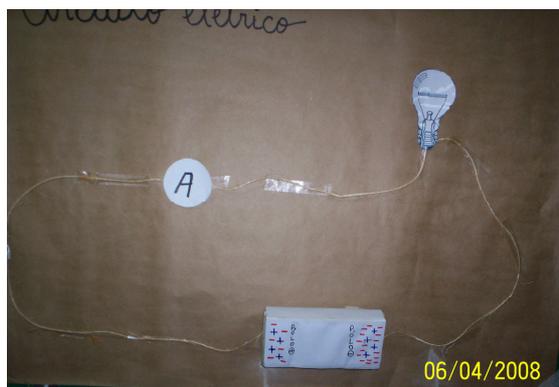


Figura 2: Painel 3 – elementos do circuito

Foi então montado, com o acompanhamento dos alunos, o modelo da estrutura da matéria, utilizando os elementos apresentados no terceiro painel (bolas azuis e vermelhas e palitos).

Aproveitando um aquário cúbico de vidro, com lados de aproximadamente 20 cm, representou-se a estrutura cristalina dos materiais condutores como o cobre (cúbica de faces centradas).

Em cada vértice foi inserido um íon de cobre (bolinha de massa azul), explicando que para participar da estrutura, o cobre perde os elétrons de valência. Esses elétrons (bolinhas vermelhas), dois para cada íon de cobre, foram colocados em posições aleatórias das faces do aquário. Para mostrar os elétrons em movimento pela estrutura, foram colocados palitos nas bolas vermelhas, que indicariam a direção e o sentido do movimento. Os palitos estariam apontando para várias direções, representando o movimento aleatório dos elétrons.

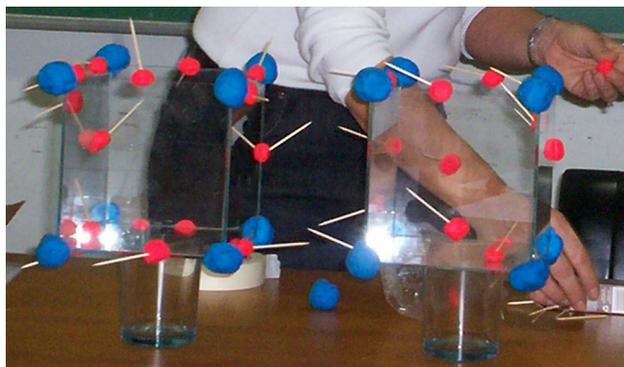


Figura 3: modelo da estrutura cristalina do cobre

Essa montagem foi relacionada ao elemento condutor do circuito representado no painel 4, em uma situação em que o fio de cobre não está conectado à pilha.

Em seguida, no painel 4, o circuito foi fechado, conectando-se o barbante (fio condutor) à pilha (caixa). *O que acontece no fio quando há corrente?* Um segundo aquário, igual ao primeiro, representou essa situação. Neste, os palitos foram dispostos indicando direções e sentidos semelhantes.

Colocando os dois aquários lado a lado, foi mostrado o que se modifica no fio condutor quando o circuito está aberto ou fechado.

Aula 2: Modelo dos íons e elétrons sendo gerados em uma pilha eletrolítica

Durante as atividades da sequência pedagógica anteriores à aula que apresentamos, pôde-se constatar que a grande dificuldade dos alunos era em relação à visualização e explicação dos fenômenos ao nível microscópico. Uma das atividades importantes para estabelecer essa relação entre o microscópico e o macroscópico foi a montagem de uma pilha eletrolítica (pilha de Daniell).

Os elementos utilizados para a “concretização” da estrutura microscópica da matéria consistiam de bolinhas e placas de isopor. O modelo apresentado aos alunos nessa aula-síntese foi de trabalhar a geração da corrente elétrica, compreendendo o que ocorre na pilha, de modo a responder a questões desse tipo:

Se a corrente elétrica é invisível, como se pode perceber de que se constitui (na pilha e no fio condutor)? O que ocorre dentro da pilha para produzir corrente elétrica? Como aparecem as cargas? Por que uma placa corrói e outra aumenta a espessura? Como a pilha faz surgir elétrons no fio?

1º passo – Modelando o sulfato de cobre sólido

Por que o cristal CuSO_4 não conduz corrente elétrica? Com bolinhas de isopor coloridas representando cada elemento químico e palitos de churrasco representando as ligações entre os átomos, foi montada essa estrutura iônica. A estrutura permitira perceber que o aglomerado sólido estaria estático, pois os Cu^{2+} (cátions) e SO_4^{2-} (ânions) estavam unidos pela força eletrostática.

2º passo – O sulfato de cobre em solução aquosa

Por que a solução aquosa de sulfato de cobre conduz corrente elétrica? Explicou-se a separação dos íons no aglomerado iônico (retículo cristalino), pela redução da força de atração das cargas opostas quando em interação com as moléculas de água – outro conjuntinho de bolinhas de isopor e palitos representaria algumas dessas moléculas, mostrando a polaridade elétrica resultante do ângulo formado entre o oxigênio e os hidrogênios.

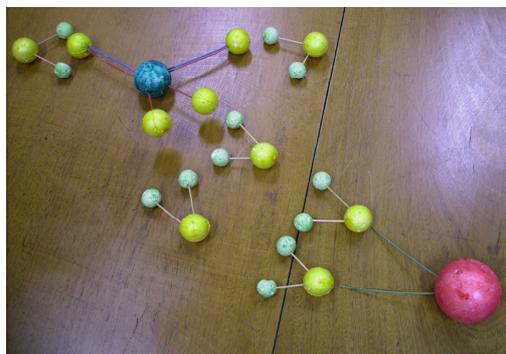


Figura 3: modelo do CuSO₄ em solução.

Essas montagens demonstraram a dissociação iônica: $\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$. Essa equação foi colocada na lousa.

3º passo - Por que placas de metais diferentes?

Foi desenhada na lousa a fila de reatividade, realçando o Zn (mais reativo) e Cu (menos reativo). O metal Zn⁰ foi representado por uma placa de isopor azul, onde se encaixavam os elétrons (bolinhas de isopor amarela encaixadas na placa). O metal Cu⁰ foi representado por uma placa de isopor vermelha.

4º passo – Como ocorre a produção dos elétrons e a condução da corrente?

Foram feitos poliedros de cartolina, representando o arranjo geométrico tridimensional dos metais zinco e cobre e bolinhas de isopor amarelas representando os elétrons livres. Após a explicação de como os elétrons da estrutura metálica ficam “livres”, esses elétrons foram colocados nas placas de isopor (eletrodos da pilha).

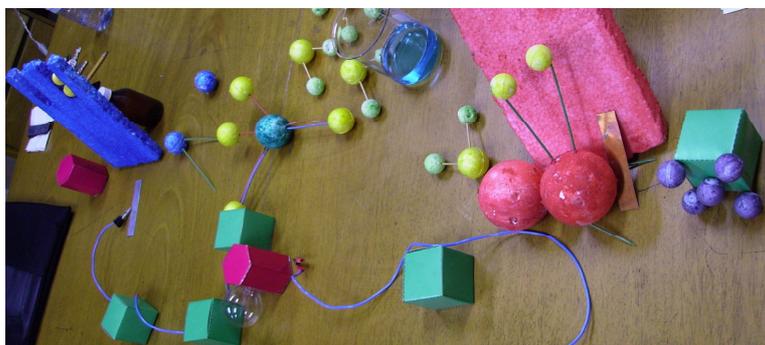


Figura 4: a dinâmica da pilha eletrolítica

Assim, pôde-se, em seguida, representar toda a dinâmica da movimentação dos íons na solução retirando elétrons de uma placa e cátions da outra, e os elétrons produzidos criando uma ddp que iria movimentar os elétrons do fio condutor. A dinâmica com as bolinhas de isopor e as placas também permitiu visualizar as reações de óxido-redução que ocorrem na pilha de Daniell.

RESULTADOS OBTIDOS

Obtivemos um conjunto de modelagens que relacionam as concepções do senso comum com os modelos científicos, quando o objetivo é compreender a circulação da corrente elétrica e sua geração pela pilha, através de explicações que se fundamentam na constituição da matéria.

Os modelos que representariam as estruturas sendo ensinadas foram *tridimensionais* e representaram um comportamento *dinâmico* de partículas *invisíveis* – algo muito difícil de comunicar somente na forma verbal. Por isso, foram ao encontro de uma preocupação que está sempre presente nas aulas, que é assegurar maior proximidade entre a explicação que o professor dá e aquilo que o aluno compreende.

As professoras foram capazes de dar conta dos objetivos a que tinham se proposto, tratando do aspecto microscópico dos fenômenos da eletricidade. Elas foram capazes de apresentar as idéias de átomos, de elétrons livres, das camadas de Valência e do funcionamento da pilha quanto a liberação de cargas, a circulação, as reações químicas envolvidas e o processo de geração da corrente elétrica.

Além disso, podemos dizer que as professoras, ao escolher essa estratégia, puderam respeitar as concepções dos alunos e as competências deles para compreenderem, ao menos em parte, o que estava sendo demonstrado. É claro que não se está supondo que eles aprenderam todos os conceitos anteriores, mas, pela atenção demonstrada em classe, durante a explicação, pôde-se perceber que havia sintonia em acompanhar os modelos que estavam sendo apresentados.

CONCLUSÕES

O grande desafio do professor é buscar formas diferentes de trabalhar o conteúdo que possam resultar em um maior controle sobre a aprendizagem dos alunos. Ao longo das descrições de suas aulas, percebemos, nas duas professoras, essa preocupação com aluno estar acompanhando as explicações, quando se considera que ele já tem alguma construção elaborada sobre aqueles conteúdos.

Essa maneira de pensar uma aula expositiva é adequada a uma concepção construtivista da aprendizagem, que considera as dificuldades que os alunos têm como elementos significativos para o professor focalizar, mesmo nas aulas que prevêm somente demonstrações e exposições.

REFERÊNCIAS

- Driver, R. *et al.*, Constructing scientific knowledge in the classroom. **Educational Researcher**, vol. 23, no. 7, pp.5-12, 1994.
- Bachelard, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: contraponto, 1996.
- Pacca, J. L. A. *et al*, Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum. **Cad. Bras. Ens. Fis.** v.20 nº2, p.151-167, agosto 2003.