



Mario Tolentino e Romeu C. Rocha-Filho

Este artigo apresenta o contexto da invenção da pilha elétrica no final do século 18 por Alessandro Volta, incluindo a sua célebre controvérsia com Luigi Galvani.

► Alessandro Volta, pilha elétrica, Luigi Galvani, eletricidade animal ◀

Atualmente, a pilha elétrica está presente em muitos momentos de nossa vida. Ela foi inventada em 1799/1800 e, portanto, comemorando o seu bicentenário. A sua utilidade não reside apenas na ativação de equipamentos elétricos de nosso uso habitual, como pode-se notar pelo artigo “Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental”, na página 3 desta revista. No passado, elas serviram para fornecer corrente elétrica necessária aos experimentos de cientistas que estabeleceram as bases da Eletroquímica, como Humphry Davy (1778-1829), Michael Faraday (1791-1867) e tantos outros.

Como tudo começou

Alguns séculos antes da era cristã, o filósofo Tales de Mileto (ca. 625-550 a.C.) havia observado que friccionando pedaços de âmbar (uma resina natural) com tecidos de seda, eles adquiriam a propriedade de atrair fragmentos de palha. Como o âmbar era conhecido em grego pelo nome de “elektron”, nasceu então a palavra *eletricidade*. Mais de dois milênios depois, em 1660, Otto von Guericke (1602-1686) inventou a primeira máquina para produzir eletricidade: uma esfera de enxo-

fre dotada de um eixo e um dispositivo mecânico que permitia imprimir-lhe um movimento de rotação. Quando friccionada com algum material - a mão seca, por exemplo - a esfera tornava-se eletrificada e produzia pequenas faíscas, atraía gotas de água, fragmentos de palha etc.

Outras máquinas foram idealizadas a partir da de von Guericke, e as cargas elétricas por elas geradas se tornaram objeto de investigação em um vasto campo de pesquisa sobre a então chamada *eletricidade estática*. As cargas elétricas geradas por essas máquinas podem produzir faíscas intensas, fluir por pontas metálicas, ser armazenadas em capacitores, então chamados de *garrafas de Leiden* etc. Todavia, não se conseguia um fluxo contínuo dessas cargas, isto é, uma *corrente elétrica*.

Galvani e a eletricidade

Na segunda metade do século 18, Luigi Galvani (1737-1798), professor de anatomia na Universidade de Bolonha (Itália), onde havia se formado em 1759

como médico e filósofo, voltou-se para a aplicação terapêutica da eletricidade, um campo conhecido na época como “eletricidade médica”. Na década de

1780, dirigiu seus trabalhos sobre o que se chamava de *eletricidade animal*, termo cunhado pelo médico francês Pierre Bertholon (1741-1800), que juntamente com o italiano Giuseppe Gardini (1740-1816) defendia a existência de

uma eletricidade própria dos corpos animais. No dia 26 de janeiro de 1781, Galvani trabalhava com uma rã dissecada, cujos membros inferiores repousavam sobre uma mesa do seu laboratório, junto com alguns equipamentos, entre eles uma máquina eletrostática. Quando um dos seus auxiliares tocou os nervos internos da perna da rã com a ponta de um bisturi, houve uma violenta contração dos músculos da perna do animal morto. Aparentemente isso ocorreu quando uma faísca foi emitida pela máquina eletrostática. A princípio, Galvani supôs que isso só aconteceria quando a máquina eletrostática estivesse funcionando e que o

Tales de Mileto observou que friccionando pedaços de âmbar com tecidos de seda, o âmbar atraía fragmentos de palha. Âmbar era conhecido em grego pelo nome de “elektron”. Assim nasceu a palavra eletricidade

fenômeno da contração seria induzido pela descarga elétrica do equipamento ou quando uma garrafa de Leiden descarregasse suas cargas elétricas.

Anos depois, Galvani investigou se as faíscas elétricas produzidas na atmosfera (raios) produziam o mesmo efeito. Para isso, tomou as pernas dissecadas de uma rã e conectou-as a um fio cuja ponta afiou ao ponto mais alto de sua casa; efetivamente, durante uma tempestade de final de tarde, comprovou que ocorreram contrações associadas a quatro relâmpagos emitidos na tempestade. Com o objetivo de verificar se a eletricidade presente na atmosfera de um dia calmo também poderia causar as contrações, em setembro de 1786 Galvani pendurou parte do corpo de uma rã dissecada, presa por um gancho metálico (provavelmente de bronze), em uma das grades de ferro existentes no balcão de sua casa. “Cansado de esperar em vão”, Galvani se aproximou da grade e começou a manipular as partes do corpo das rãs. Para sua surpresa, aconteceu um imprevisto: quando ele pressionou contra o gradil de ferro os ganchos metálicos presos nos nervos da rã, uma forte convulsão provocou a contração das pernas do animal morto. Com ligeiras modificações, repetiu as experiências em quartos fechados, em diferentes lugares e condições de tempo, usando diferentes metais. Galvani concluiu que as contrações ocorriam sempre que um semiarco metálico estabelecia contato entre os nervos das pernas dissecadas e os músculos, criando um circuito “similar àquele que ocorre na jarra de Leiden” (Piccolino, 1998).

Após quase dez anos de pesquisas, as experiências de Galvani foram descritas na monografia *De Viribus Electricitatis in Motu Musculari* (“Sobre as forças de eletricidade nos movimentos musculares”), publicada em 1791 como o 7º volume da série *Commentarius*, editada pelo Instituto de Ciência de Bolonha, onde Galvani foi professor de Obstetrícia de 1782 a 1798. Nessa monografia Galvani expôs sua conclusão: a eletricidade detectada tinha origem animal, isto é, os músculos armazenavam eletricidade do mesmo modo que uma jarra de Leiden, e os

nervos conduziam essa eletricidade: “E ainda nunca poderíamos supor que a sorte nos seria tão amiga, a ponto de nos permitir talvez ser o primeiro a manipular, como aconteceu, a eletricidade escondida nos nervos, a extraí-la dos nervos e, de certo modo, a colocá-la sob os olhos de todo mundo” (Piccolino, 1998).

Surge uma outra explicação

A monografia de Galvani foi amplamente divulgada para os principais centros científicos europeus da época, tendo também chegado às mãos do seu compatriota, Alessandro Giuseppe Anastasio Volta (1745-1827), professor de física na Universidade de Pávia (Figura 1). A exemplo de outros experimentadores, em 1792 Volta repetiu e confirmou as experiências de Galvani, expressando sua admiração pela grande descoberta da eletricidade animal. Entretanto, à medida que suas pesquisas sobre a questão progrediram nos anos seguintes, Volta aos poucos mudou de idéia e acabou propondo outra explicação para os fenômenos observados.

Inicialmente, Volta questionou a analogia de Galvani com a jarra de Leiden, pois notou que contrações ocorriam quando pontos distintos de um dado nervo crural (nervos pertencentes à coxa) eram conectados através de um arco bimetálico, sem qualquer contato com o músculo. Portanto, não era necessário supor que as contrações musculares requeriam um fluxo

de corrente pelo nervo, da parte interna para a parte externa do músculo, como suposto por Galvani. Isto conflitava diretamente com a idéia de Galvani que o músculo era um reservatório de eletricidade.

Posteriormente, Volta se deu conta de que a rã era um eletroscópio biológico, extremamente sensível, um “eletrômetro animal” mais sensível que seus próprios instrumentos físicos. Conseqüentemente, Volta passou a ver o animal mais como um sensor de eletricidade externa do que uma fonte de eletricidade interna. Gradualmente Volta se deu conta de que um arco bimetálico era mais efetivo para produzir contrações que um arco monometálico (algo também observado por Galvani, mas não considerado como evidência contra a eletricidade animal). Isto fez com que Volta começasse a considerar a possibilidade de que a eletricidade tivesse uma origem externa e decorresse da diferença dos metais usados para fazer o arco; a rã reagiria a essa eletricidade metálica, como reagia a outras formas de eletricidade artificial externa.

Ocorre que um físico suíço, Johann Georg Sulzer (1720-1779), havia realizado uma interessante observação: colocando a língua entre dois discos de metais diferentes (chumbo e prata), quando os discos eram postos em contato, encostando em suas bordas, ele sentia um gosto desagradável e uma sensação pungente. Volta repetiu essas experiências e, indo mais adian-



Figura 1: Reprodução da frente de uma nota de 10 mil liras emitida pelo Banco da Itália (1984), com desenho de Volta e uma de suas pilhas (ao centro).

te, incluiu em uma delas o seu próprio globo ocular. O resultado foi a sensação de luz quando o contato elétrico foi estabelecido.

Esses dados apoiavam a hipótese de Volta de que não era necessário incluir músculos no circuito do fluxo de corrente para excitar a função nervosa. Nos experimentos com a própria língua, Volta observou que a sensação causada pelo arco bimetálico persistia enquanto os metais eram mantidos em contato com os tecidos. Isto fez com que ele pensasse que os metais diferentes eram eles próprios capazes de se comportar como “motores” de eletricidade (semelhante a máquinas elétricas) em vez de como simples condutores: “é a diferença de metais que o faz” (Piccolino, 1998).

Mais tarde Volta aprofundaria esta visão, com a teoria dos contatos metálicos: o contato entre dois metais diferentes gera uma força eletromotiva. Ele classificou os metais levando em conta suas tendências a gerar eletricidade positiva ou negativa quando em contato recíproco. Galvani colocou objeções à nova interpretação de Volta, pois contrações eram observadas usando um único metal para conectar nervo e músculo. Adicionalmente, Galvani mostrou, em 1794, que contra-

ções também ocorriam em uma rã dissecada ao se colocar em contato com a superfície do músculo da perna o nervo crural seccionado. Volta recusou-se, entretanto, a aceitar isso como prova da existência da eletricidade animal, argumentando que um estímulo mecânico (ou químico) podia estar subjacente à estimulação nervosa. Em 1797, Galvani realizou o que tem sido considerado como “o experimento mais fundamental da eletrofisiologia” (vide quadro); mesmo assim, este experimento crucial não convenceu a Volta e seus seguidores.

O surgimento da primeira pilha elétrica

Nessa época, Volta também estava procurando apresentar uma evidência decisiva em apoio ao poder dos metais de gerar eletricidade artificial. Após muitas tentativas, ele logrou detectar com um eletroscópio a diminuta eletricidade gerada ao se colocar em contato uma lâmina de prata e uma lâmina de zinco. Como consequência lógica, surgiu a idéia de associar pares de metais sob a forma de placas sobrepostas de tal maneira que se tornasse possível a obtenção de uma força eletromotriz de razoável magnitude, comparável à produzida pelas máquinas elétricas.

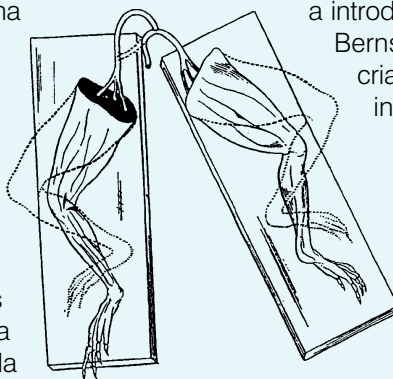
Visando aumentar a força elétrica gerada por um único par bimetálico, ele decidiu empilhar de modo alternado diversos discos de dois metais diferentes, por exemplo, Zn | Ag | Zn | Ag | Zn | Ag. Observou, então, que quando os discos terminais eram do mesmo metal a tensão elétrica desaparecia; e quando eram diferentes, a tensão era independente do número de pares de discos. Essa descoberta deu origem às duas famosas leis de eletrificação por contato (Trasatti, 1999).

Finalmente, considerando a presença de fluidos animais nos experimentos de Galvani, Volta empilhou seus pares de discos metálicos separados por um pedaço de papelão umedecido com água ou, melhor ainda, com solução salina. Notou, então, que as tensões elétricas se somavam; estava inventada a pilha elétrica. Volta pensava que os líquidos eram “condutores imperfeitos” - condutores de segunda classe (eletrolíticos) em contraposição aos de primeira classe (eletrônicos) - e, conseqüentemente, evitariam a descarga de um par metálico no outro.

O dispositivo montado por Volta (Figura 1) era formado por discos de prata e zinco (melhor efeito, segundo

Galvani e Volta: controvérsia e explicações erradas

A controvérsia entre Galvani e Volta sobre a existência ou não da eletricidade animal acabou na época sendo vencida, de certo modo, por Volta. Entretanto, na realidade Galvani estava certo. Em 1797, ele realizou um experimento que mais tarde foi considerado como “o experimento mais fundamental da eletrofisiologia”. Para isto, ele separou e preparou as duas pernas de uma rã com seus respectivos nervos ciáticos seccionados próximo às suas saídas do canal vertebral. Com um bastão de vidro, ele moveu o nervo de uma das pernas de modo que a sua superfície seccionada tocasse a superfície intacta do nervo da outra perna, o que fez com que elas se contraíssem (vide ilustração). A interpretação de Galvani para seus experimentos estava correta quanto à questão principal (a existência de eletricidade animal), mas errada quanto ao mecanismo proposto para a excitação nervosa. Na realidade, o contato não era um modo de permitir condução elétrica passiva, mas sim levava a



uma estimulação local causada pela diferença de potencial elétrico existente entre as superfícies de tecido lesionado e intacto. A necessidade do contato entre tecidos lesionados e intactos para que a manifestação de eletricidade animal ocorresse só ficou clara mais tarde, com os estudos (1838-1844) de Carlo Matteucci. Além disso, somente após a introdução da hipótese da membrana (1902) por Bernstein é que se compreendeu que a lesão criava uma rota de baixa resistência para o meio intracelular.

Volta, por sua vez, achava, erroneamente, que a eletricidade gerada pela pilha era devida ao contato de dois metais diferentes (teoria da eletricidade por contato), não vendo função para o eletrólito. Dado o enorme prestígio de Volta, sua teoria foi aceita por muitos anos, até que, em 1834, Michael Faraday, ao enunciar as leis da estequiometria eletroquímica, proveu evidências para os que apoiavam uma teoria química: a correspondência quantitativa entre ação elétrica e eventos químicos.

Volta) ou prata e chumbo ou prata e estanho ou ainda cobre e estanho. Cada par metálico era separado do seguinte por um disco de um material poroso - papelão, couro ou outro material absorvente similar - embebido em uma solução de sal. A "pilha" de discos era organizada de tal forma que a inferior era de prata e a superior do outro metal, zinco. A essas placas terminais eram ligados fios metálicos para conduzir a eletricidade produzida.

Volta também testou outra modificação, que denominou de *uma cadeia de copos* (vide Figura 2): vasilhas (copos) de vidro, madeira ou cerâmica, cheias pela metade com uma solução de sal ou com barrela, eram colocadas lado-a-lado e conectadas por um conjunto de lâminas cujos terminais eram um de prata depositada sobre cobre (ou diretamente cobre ou latão) e o outro de zinco (ou estanho), imerso na próxima vasilha. Volta ressaltou que quando um dos metais terminais era estanho, a barilha ou outras soluções alcalinas eram preferíveis, enquanto que a solução de sal era preferível no caso do zinco.

Divulgação do invento e sua repercussão

Apesar de Volta ter realizado os seus experimentos no 2º semestre de 1799, somente divulgou o seu invento em 20 de março de 1800, através de um comunicado ao presidente da Sociedade Real de Londres, *sir Joseph Banks* (1743-1820), intitulado "Sobre a eletricidade excitada por simples contato de substâncias condutoras de diferentes tipos". Segundo Bevilacqua e Bonera (1999), no dia 1º de abril de 1800, Volta tornou a escrever para Banks, com algumas adições e notas explicatórias; as duas correspondências foram juntadas e apresentadas à Sociedade Real de Londres no dia 26 de junho de 1800, tendo sido transcritas no número de setembro de 1800 das *Philosophical Transactions, of the Royal Society of London*, páginas 403 a 431.

Na ocasião ocorreu um fato surpreendente. Antes do trabalho de Volta ser publicado, uma outra publicação já fazia referência à pilha, que havia sido usada para decompor, em seus com-

ponentes, a água ligeiramente acidulada. De acordo com Laidler (1993), *Sir Banks*, mostrou a carta de Volta a alguns conhecidos, entre eles Anthony Carlisle (1768-1840), um cirurgião londrino, que imediatamente passou a informação a um competente cientista amador, William Nicholson (1753-1815), o qual havia fundado sua própria revista, mais conhecida como *Nicholson's Journal*. Imediatamente, Nicholson e Carlisle construíram pilhas usando discos de zinco e moedas de meia-coroa de prata. Eles inseriram fios conectados aos terminais das pilhas em um recipiente contendo água

acidulada. Usando fios de cobre, notaram que hidrogênio se desprendia sobre um dos fios e que o outro se oxidava. Usando fios de prata ou de ouro, notaram que hidrogênio se desprendia sobre um dos eletrodos e oxigênio sobre o outro. Nicholson imediatamente anunciou esses resultados no número de julho de 1800 do *Nicholson's Journal*.

Em 1801, Volta foi convidado a ir a Paris apresentar seu invento e, nesta ocasião, o Imperador Napoleão Bonaparte atribuiu-lhe uma medalha e em sua homenagem mandou doar à Escola Politécnica uma pilha com 600 dis-

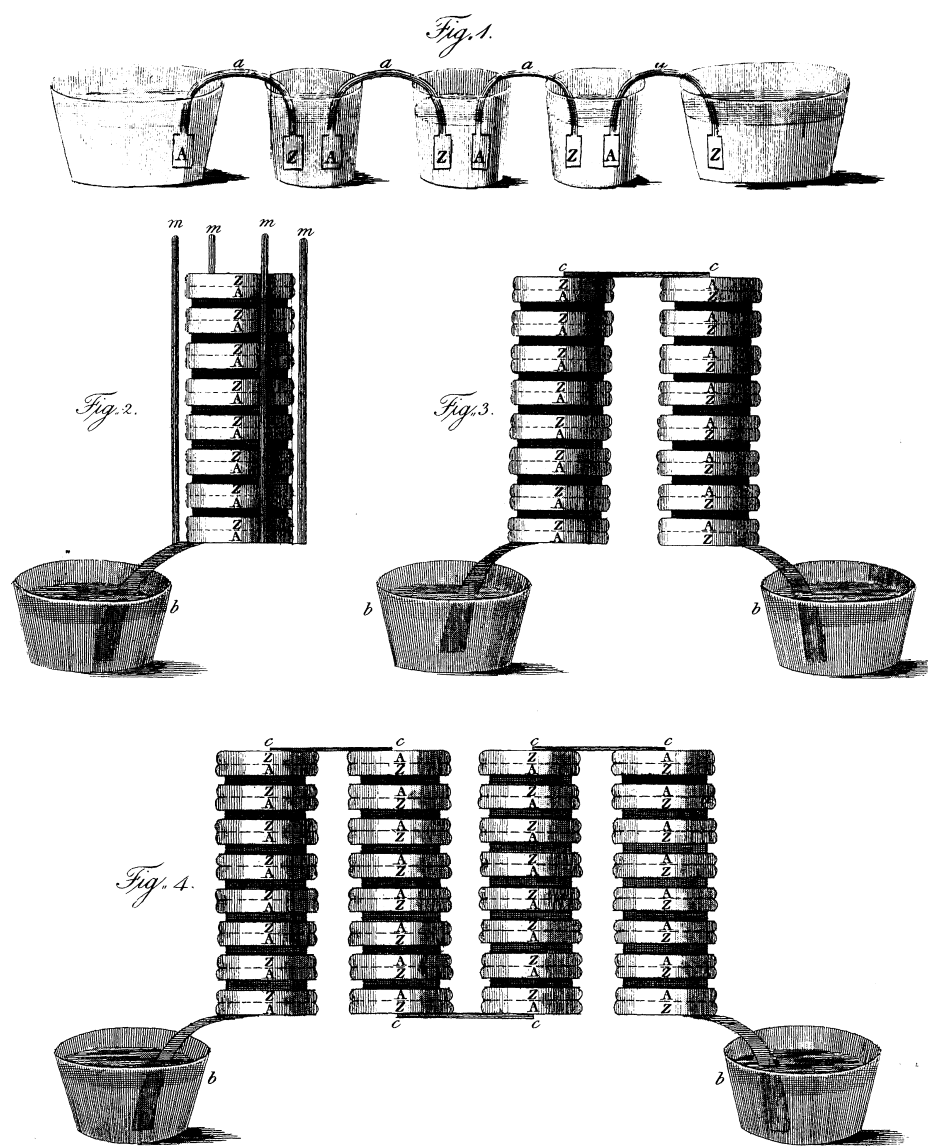


Figura 2: Reprodução do desenho das pilhas anexo à carta de Alessandro Volta a *sir Joseph Banks* publicada nas *Philosophical Transactions, of the Royal Society of London*, de setembro de 1800, p. 430. Na Figura 1 do desenho é representada a versão denominada por Volta de *cadeia de copos*. Nas Figuras 2 a 4 são representadas pilhas com números crescentes de discos metálicos.

cos. Poucos anos depois, novos elementos foram isolados eletroliticamente por Humphry Davy (1778-1829): potássio e sódio em 1807, cálcio e bário em 1808. Em 1812, Davy conseguiu produzir, pela primeira vez, um arco voltaico, usando eletrodos de carvão ligados a uma bateria de muitos elementos. Efetivamente, a invenção da

pilha elétrica despertou grande interesse, tanto do público leigo como dos cientistas, tanto que, em 1810, Davy escreveu: *A pilha de Volta retinira como uma campainha de alarme para os experimentadores de toda a Europa*. Estava assegurada a posição de destaque de Alessandro Volta no mundo da ciência e da tecnologia, apesar de

sua interpretação errada de como sua invenção funcionava (vide quadro).

Mario Tolentino, doutor honoris causa pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), é aposentado como professor titular do Departamento de Química da UFSCar. **Romeu C. Rocha-Filho** (romeu@dq.ufscar.br), licenciado em química e doutor em ciências (área de físico-química) pela USP, é docente do Departamento de Química da UFSCar.

Referências bibliográficas

BEVILACQUA, F. e BONERA, G. Foreword. IN: VOLTA, A. *On the electricity excited by the mere contact of conducting Substances of different kinds*. Edição bicentenária em francês, inglês, alemão e italiano da carta a Sir Joseph Banks de 20 de março de 1800. Milão: Università degli Studi di Pavia e Editore Ulrico Hoepli, 1999.

LAIDLER, K. J. *The world of physical chemistry*. Oxford: Oxford University Press, 1993.

PICCOLINO, M. Animal electricity and the birth of electrophysiology: the legacy

of Luigi Galvani. *Brain Research Bulletin*, v. 46, n. 5, p. 381-407, 1998.

TRASATTI, S. 1799-1999: Alessandro Volta's 'electric pile'. Two hundred years, but it doesn't seem like it. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, v. 460, p. 1-4, 1999.

Para saber mais

BRESADOLA, M. Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737-1798). *Brain Research Bulletin*, v. 46, n. 5, p. 367-380, 1998.

CHAGAS, A.P. Os 200 anos da pilha elétrica. *Química Nova*, v. 23, n. 3, p. 427-29, 2000.

PICCOLINO, M. Luigi Galvani and animal electricity: two centuries after the foundation of electrophysiology. *Trends in Neurosciences*, v. 20, n. 10, p. 443-448, 1997.

Na internet

• <http://file-server.cilea.it/Museo/index.html> (em italiano ou inglês, informações sobre Volta e sua obra)

• <http://www.epub.org.br/cm/n06/historia/bioelectr.htm> (artigo "A descoberta da bioeletricidade", de Renato M.E. Sabbatini, publicado no n. 6 (ago/98) de *Cérebro & Mente*, interessante revista eletrônica de divulgação científica em neurociência)

Aula de Química

Andréa Horta Machado, professora/pesquisadora do Colégio Técnico da UFMG, Belo Horizonte, e do CECIMIG/FAE/UFMG no Grupo de Formação Continuada de Professores de Química e de Ciências, abre sua 'aula de química' aos outros professores, a fim de discutir, revelar e fazer compreender as "relações entre a construção do conhecimento e o discurso químico no ensino médio". Já de início, revela a sua intenção de fazer de suas análises e reflexões uma "conversa" franca e aberta, além de prazerosa, um quase poema, sobre um tema tão presente na vida de todos, a 'sala de aula'. O poema de Ferreira Gullar, "Muitas vozes", inserido com maestria no contexto criado, é a forma explícita encontrada para dizer que 'muitas vozes' constituem a mente das pessoas e que elas estão presentes nas interações discursivas de sala de aula.

Trata-se de uma obra na qual a autora apresenta a pesquisa desenvolvida no interior de salas de aula, focalizando os processos discursivos em que alunos e professora buscam a elaboração de conhecimentos químicos a partir de atividades práticas. "Sala de aula", nome do primeiro capítulo, é a situação prática que permite produzir novas compreensões de ações educativas inovadoras que queremos se-

jam desenvolvidas. É um capítulo que mostra as principais teorias que influenciaram a comunidade de professores e pesquisadores nos últimos anos, expostas aqui em seus princípios essenciais e muito bem referenciadas na própria história constitutiva da pesquisadora.

No segundo capítulo está explicitada a opção teórica para a análise das ações na sala de aula. Propõe a abordagem histórico-cultural, introduzindo, de forma sistematizada e clara, os principais conceitos de Vygotsky que servem ao objetivo do trabalho. Destaca-se a idéia de conceitualização mediada pela palavra (prática social) e pelo outro (prática pedagógica). Como obra inacabada, as elaborações de Vygotsky não podem dar conta da complexidade das interações constitutivas dos sujeitos nas salas de aula. Busca apoio na Teoria da Enunciação de Bakhtin, que vê no ato da fala o encontro/confronto de múltiplas vozes.

A investigação é a própria 'aula de química' e ela vai compor o terceiro capítulo. Deixa claro que é de constituição dos sujeitos sobre conhecimento químico que trata a pesquisa. Isto torna mais importante o trabalho para os educadores químicos. Há a preocupação em documentar as condições concretas em que acontece a dinâmica das interações discursivas e nas quais os significados e sentidos vão se

constituir na forma ativa dos sujeitos envolvidos.

O quarto capítulo contempla os episódios descritos e sua análise. O primeiro deles torna visível a função do discurso pedagógico, entre os quais se destaca a restrição de sentido que ele procura fazer, destacando o papel que o outro, a professora, exerce na constituição coletiva do pensamento no conhecimento escolar. Outro episódio torna visível as relações entre discurso e conhecimento através do confronto das múltiplas vozes que embasam as enunciações feitas. Mostra, também, as assimetrias de interação entre os componentes dos grupos de alunos e da professora.

Conclui que construir conhecimentos científicos é apropriar-se de formas discursivas na mediação pedagógica e constituir-se de uma certa maneira. A aula de química é vista por Andréa como "espaço de construção do pensamento químico e de (re)elaboração de visões de mundo" que lhes permite ações sempre mais singularizadas.

(Mariluz da Silva Luchese/Otavio Aloisio Maldaner - UNIJUÍ)

Aula de Química, discurso e conhecimento. Andréa Horta Machado. Ijuí: Editora UNIJUÍ (Coleção Educação em Química), 2000. 200 p. ISBN 85 7429-106-4.