

RELATO DE UMA EXPERIÊNCIA PEDAGÓGICA NO ENSINO DE QUÍMICA: FORMAÇÃO PROFISSIONAL COM RESPONSABILIDADE AMBIENTAL**Daniela Gonçalves de Abreu* e Yassuko Iamamoto**

Departamento de Química, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Av. Bandeirantes, 3900, 14040-901 Ribeirão Preto - SP

Recebido em 11/4/02; aceito em 13/12/02

DESCRIPTION OF A PEDAGOGICAL EXPERIENCE IN THE CHEMICAL TEACHING: PROFESSIONAL FORMATION WITH ENVIRONMENTAL RESPONSABILITY. The toxic heavy metals can not be transformed in other less toxic substances as organic wastes through chemical process. Various chemistry courses at Faculty of Philosophy, Sciences and Humanities (FFCLRP/USP) use heavy metals in their experimental classes. In this context, a course were created: "Heavy Metal Wastes generated in the teaching and research laboratories: disposal or recovery" and has a specific goal to capacitate the students to define the adequate strategy for disposal or recovery of the chemical wastes, in particular heavy metals, through an interdisciplinary approaching. This course was given to 25 students during the second semester of 2000 and 2001. The environmental responsibility desired for the professional and citizen can be promoted.

Keywords: chemical education; interdisciplinary approaching; chemical waste treatment.

INTRODUÇÃO

Durante os últimos anos, observa-se em todo o mundo uma crescente conscientização por parte das indústrias químicas, das instituições acadêmicas e dos órgãos governamentais a respeito da necessidade de um tratamento eficaz ou de uma adequada disposição final de qualquer tipo de resíduo. As universidades, como instituições responsáveis pela formação de seus estudantes e, conseqüentemente, pelo seu comportamento como cidadãos, devem também estar conscientes e preocupadas com este problema¹. Com o objetivo de contribuir para solução deste problema, a Sociedade Brasileira de Química (SBQ) promoveu, nas 23^a e 24^a Reuniões Anuais, workshops sobre "Tratamento e Gerenciamento de Resíduos Químicos". O Departamento de Química da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto percebendo a necessidade de administrar os resíduos químicos produzidos em seus laboratórios, elaborou o projeto "Tratamento de Resíduos Químicos" que se encontra em fase inicial de implantação. Para elaborar este projeto, foi necessário primeiramente identificar e quantificar os resíduos químicos gerados nos laboratórios de ensino e pesquisa da Instituição. Esta tarefa foi realizada através de questionários, que classificavam os resíduos por classes químicas (ácido, base, álcool, acetona, aldeído, halogenados, oxidantes, etc) e por quantidades geradas anualmente (menos de 100 g, entre 100 g e 1 kg, mais de 1 kg). Os questionários foram obrigatoriamente preenchidos por alunos do curso de graduação em química, matriculados em disciplinas experimentais e por técnicos e alunos de pós-graduação dos laboratórios de pesquisa. Nesta etapa, foi possível identificar os resíduos ativos (gerados rotineiramente e identificados) e os passivos (estocados há muito tempo e quase sempre sem rótulos). A rotulagem é condição fundamental para o gerenciamento dos resíduos químicos.

Os laboratórios de pesquisa, bem como os de ensino, geram resíduos orgânicos e a ausência de rotulagem adequada dificulta a definição do destino final. A incineração geralmente é o destino dado aos resíduos orgânicos identificados e com as propriedades químicas

definidas. Os resíduos de metais pesados, diferentemente dos resíduos orgânicos, não podem ser transformados em substâncias menos tóxicas através de processos químicos, sendo, portanto "indestrutíveis". Disciplinas como Química Analítica Qualitativa e Química Inorgânica, entre outras, utilizam metais pesados em alguns experimentos propostos. Neste contexto, foi criada a disciplina: "Resíduos de Metais Pesados gerados nos Laboratórios de Ensino e Pesquisa: Descarte ou Recuperação (RMP)".

Tradicionalmente, as disciplinas de graduação são apresentadas de forma segmentada, como por exemplo, Química Orgânica, Química Inorgânica, Química Analítica, Bioquímica, etc. Esta estrutura não oferece uma visão geral e as disciplinas não se complementam e nem se integram, dificultando a perspectiva global que favorece a aprendizagem². Neste trabalho, o objetivo principal foi estruturar uma disciplina que tornasse o estudante capaz de definir estratégias adequadas para descarte ou recuperação de resíduos químicos para cada caso (inorgânicos e orgânicos), através de uma abordagem interdisciplinar. Alguns experimentos foram propostos e textos foram selecionados para alcançar os objetivos. Desta forma, foi possível trabalhar ao mesmo tempo a capacitação técnica e a responsabilidade ambiental.

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NA DISCIPLINA

A disciplina de RMP é semestral e corresponde a 8 créditos. Nos segundos semestres de 2000 e 2001, foi oferecida a 25 alunos. Estes deveriam estar cursando preferencialmente o 6^o e 8^o semestres, tendo-se em vista o caráter interdisciplinar que era pretendido. Os estudantes no início do curso de graduação (1^o e 2^o anos) provavelmente não apresentam conhecimento químico nem maturidade adequada para explorar o problema ambiental. Nesta fase, a disciplina teria apenas caráter informativo e superficial.

Tal disciplina contou com 30% de atividades de laboratório e 70% de atividades em sala de aula. O livro texto de Baird³ foi usado para discutir o conteúdo relacionado aos metais pesados Hg, Cd, As e Pb. Ênfase foi dada às propriedades destes metais, à toxicidade e à utilização dos metais em processos industriais ao longo da história e seu impacto ambiental.

*e-mail: jaedan@usp.br

Aos estudantes foi solicitada a leitura prévia do texto sobre um determinado metal como tarefa de casa. Durante as discussões, cada estudante tinha 15 min para revisar uma parte específica do texto³. Depois disso, tinham que apresentar o tópico revisado aos colegas, na forma de seminários em grupo, de 20 min. Alguns temas de seminário sobre a degradação fotocatalítica de poluentes orgânicos foram selecionados de literatura recente⁴. As atividades de laboratório foram as seguintes:

1. Caracterização de resíduos líquidos sem identificação que estavam estocados em alguns laboratórios de pesquisa do Departamento de Química (FFCLRP). Algumas propriedades tais como reatividade em água e ar, teste de inflamabilidade, solubilidade em água, pH, determinação de sulfeto, cianeto e halogênio, caráter oxidante ou redutor foram determinadas de acordo com a referência⁵. A mesma metodologia foi usada para caracterizar os resíduos de laboratório de ensino (40 l). O experimento permitiu elaborar rótulos para os frascos de resíduo.

2. Os sais de prata gerados nos laboratórios de ensino foram recuperados, de acordo com metodologia modificada proposta inicialmente por Faust⁶, envolvendo primeiramente a redução da Ag^+ à prata metálica, usando zinco em pó como agente redutor em meio ácido. Posteriormente, a prata metálica foi oxidada por tratamento com ácido nítrico e o produto obtido nesta recuperação foi o AgNO_3 , que é reagente para várias disciplinas.

3. Os sais de mercúrio II foram tratados com sulfeto de sódio em meio básico, tendo-se obtido o HgS ⁷.

4. Solução contendo $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ foi acidificada e posteriormente tratada com solução saturada de bissulfito de sódio, ocorrendo a redução de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (alaranjado) a Cr^{3+} (verde). Após a adição de solução de hidróxido de sódio e aquecimento, obteve-se o sal $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ⁸.

ANDAMENTO DO CURSO DE RMP

No início do curso foram abordados os princípios básicos de tratamento de resíduos¹ e os experimentos propostos tiveram como objetivo dar destino adequado para alguns resíduos químicos gerados no Departamento de Química da Instituição.

Tratamento de resíduos orgânicos

No laboratório didático havia 40 l de resíduos orgânicos gerados em aulas experimentais do segundo semestre de 2000 e no primeiro semestre de 2001. Experimentos foram desenvolvidos de acordo com artigo de Levine *et al.*⁵, com o objetivo de caracterizar estes resíduos,

que estavam contidos em frascos inadequadamente rotulados. A determinação de algumas propriedades auxiliaria o encaminhamento para incineração. O artigo utilizado propõem experimentos para uma disciplina de análise ambiental e foi adequado para o nosso curso, permitindo explorar conceitos de solubilidade de várias substâncias. No entanto, alguns conceitos equivocados sobre solubilidade foram detectados no artigo durante a discussão com os alunos. Por exemplo, se uma amostra é solúvel em água e insolúvel em hexano, ela foi classificada como inorgânica. No entanto, há substâncias orgânicas polares, tais como metanol, que apresentam este comportamento.

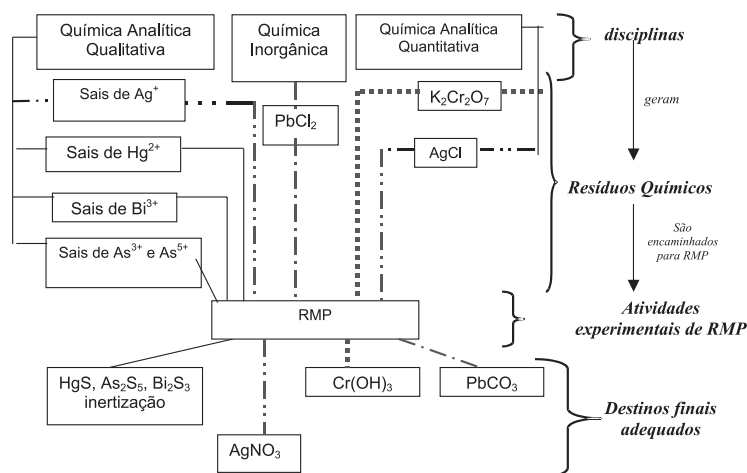
De acordo com um levantamento prévio, a composição provável do resíduo era acetona, cicloexeno, ciclohexanona, éter dietílico, clorofórmio, cloreto de butila, benzeno, hexano, diclorometano, tetracloreto de carbono, álcool benzílico, etanol. Este resíduo apresentava duas fases e foi analisado pelos estudantes da disciplina de RMP⁵. Os estudantes apresentaram soluções para o problema de descarte. Concluiu-se que o resíduo coletado nos últimos semestres (~40 l) não poderia ser descartado da pia da forma em que estava porque possuía, em ambas as fases, organo-clorados e o destino final neste caso seria a incineração. A partir do levantamento, chegou-se à conclusão de que a fase aquosa (~20 l) continha acetona e etanol que poderiam ter sido descartados diretamente na pia se os estudantes tivessem sido orientados adequadamente durante as aulas experimentais, prevenindo desta forma, a geração de um grande volume de resíduos. A legislação local (Conselho Nacional do Meio Ambiente - Brasil - CONAMA 20/86) e manuais sobre segurança química⁹ foram checados antes de decidir o que poderia ser descartado diretamente no esgoto. Este procedimento poderá diminuir pela metade o volume de resíduo e, conseqüentemente, o custo da incineração.

Tratamento de resíduos inorgânicos

Ao contrário da maioria dos resíduos orgânicos, os resíduos inorgânicos não podem ser eliminados por incineração. Os tratamentos alternativos de metais pesados são precipitação na forma de um sal insolúvel (inertização), ou recuperação para posterior reutilização^{1,3}.

O destino adequado para alguns resíduos gerados nas disciplinas de Química Analítica Qualitativa e Quantitativa, e Química Inorgânica foi proposto (Esquema 1).

Sais de Hg^{2+} , As^{5+} e Bi^{3+} gerados na disciplina de Química Analítica Qualitativa foram inertizados, sendo precipitados na forma de sulfetos. O resíduo de cloreto de chumbo gerado em Química Inorgânica foi submetido ao extrato com soda e obteve-se o PbCO_3 ,



Esquema 1. Fluxograma dos destinos finais propostos para alguns dos resíduos inorgânicos gerados nos laboratórios de ensino

que é reagente para a própria disciplina. Além disso, os reagentes $\text{Cr}(\text{OH})_3$ e AgNO_3 foram obtidos após o tratamento de resíduos de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ e Ag^+ , respectivamente, gerados na disciplina de Química Analítica Quantitativa.

A recuperação da prata é economicamente viável e adequada porque o sal AgNO_3 é um reagente que pode ser usado em outras disciplinas. O procedimento de recuperação⁶ foi discutido com os estudantes. Neste momento, foi possível revisar princípios de reações redox, tais como cálculo do potencial redox aprendido nos primeiros anos do curso de graduação. Este experimento exigiu como cuidado adicional a limpeza da bancada de trabalho com uma solução de hipoclorito de sódio ao final da aula, para prevenir manchas na pele causadas pelo Ag^+ .

Durante as discussões, tentamos estabelecer uma atitude ética sobre o destino final do resíduo, levantando as seguintes questões:

- as leis permitem o descarte de Ag^+ , Pb^{2+} e Hg_2^{2+} no esgoto?
- Qual é o melhor destino para estes cátions, descarte ou recuperação? A relação custo/benefício recomenda a recuperação ou a inertização?

Seminários

Uma série de reportagens divulgadas no jornal "A Folha de São Paulo" em agosto de 2001 sobre: i) contaminação por pesticida em Paulínia, SP, e ii) contaminação por solvente orgânico em Mauá, SP, foi o ponto de partida para decidir incluir os processos de degradação de compostos orgânicos no programa da disciplina na forma de seminários, atendendo necessidades sociais. Para o próximo ano, sugere-se que o nome da disciplina seja alterado para "Tratamento de Resíduos Químicos de Laboratórios de Ensino e Pesquisa", para que os processos de fotodegradação de poluentes orgânicos possam ser incluídos no programa da disciplina e aprofundados. Além disso, a disciplina aborda tanto os metais pesados como os resíduos orgânicos.

Interdisciplinaridade

Foi possível promover a interdisciplinaridade, como pode ser visto na discussão sobre $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ e Cr^{3+} , onde vários aspectos puderam ser explorados^{3,10}:

- comparação entre a química do ferro e do cromo, conceitos sobre labilidade cinética (Química Inorgânica);
- transporte de íons através da membrana celular, Cr^{3+} liga-se a pequenas moléculas, proteínas e DNA, danificando estes componentes celulares através de processos oxidativos (Bioquímica);
- hidrólise de Cr^{3+} e Fe^{3+} em solução aquosa, formação e solubilidade dos respectivos hidróxidos metálicos (Química Analítica). Um outro exemplo de interdisciplinaridade é dado pela discussão sobre o chumbo⁷:
- utilização de chumbo desde a civilização Romana (História);
- o depósito de Pb^{2+} nos ossos e transporte de íons através da membrana celular (Bioquímica);
- formação de compostos covalentes como tetraetilchumbo (Química Inorgânica);
- utilização de chumbo em células e baterias (Eletroquímica).

Avaliação do processo de aprendizagem

O método usado para avaliar o processo de aprendizagem baseou-se principalmente em provas escritas no final de cada sessão de discussão, participação em sala de aula, relatórios das atividades experimentais e seminários. As provas escritas eram corrigidas e comentadas na aula seguinte, possibilitando retomar o assunto abordado e relacionar com o próximo. Desta forma, pode-se retomar um

dados conteúdo sempre que os alunos não tiverem compreendido corretamente, realizando-se assim uma avaliação diagnóstica e não meramente verificativa.

CONCLUSÃO

Num primeiro momento, o Departamento de Química foi explorado como um ambiente conhecido. Posteriormente, uma visão holística de sociedade e meio ambiente global foi introduzida aos estudantes. Os estudantes foram preparados para analisar um problema ambiental criticamente, transferindo o conhecimento adquirido nos primeiros anos do curso de graduação para apresentar soluções que minimizem o impacto ambiental dos resíduos químicos.

O Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos do Departamento de Química da FFCLRP/USP encontra-se em fase inicial de implantação. Uma estratégia que está sendo adotada é o incentivo para que os docentes avaliem o impacto ambiental dos experimentos comumente realizados e optem por substituição de reagentes, inclusão do tratamento dos resíduos pelos próprios alunos, etc. Apesar de entender que a questão ambiental deva permear todas as disciplinas, a experiência relatada foi muito interessante, pois o esforço em reduzir o volume de resíduos químicos perigosos nos laboratórios da graduação mostrou-se uma experiência útil do ponto de vista didático. Claramente, os estudantes compreenderam e aceitaram a responsabilidade de reduzir o impacto ambiental associado aos resíduos químicos gerados em seus experimentos de laboratório.

No final do semestre, por meio de questionário, investigou-se a opinião dos alunos sobre a disciplina e a auto-avaliação que faziam de sua participação. No geral, os estudantes expressaram a seguinte idéia: "Antes, nós simplesmente descartávamos todos os resíduos químicos em frascos providenciados pelo professor sem fazer nenhum questionamento... Nós aprendemos que os princípios da química podem ser aplicados para resolver problemas reais, através das atividades desta disciplina". Além da qualificação técnica, esta disciplina pode promover atitude ética e responsabilidade ambiental, melhorando o perfil do futuro químico como profissional e cidadão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Química da FFCLRP/USP pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho e em especial aos funcionários V. R. Balbo e D. do N. Greggio pela coleta dos resíduos nas disciplinas experimentais citadas, e aos órgãos de fomento à pesquisa FAPESP, CAPES e CNPq.

REFERÊNCIAS

1. Amaral, S. T.; Machado, P. F. L.; Peralba, M. C.; Camara, M. R.; Santos, T.; Berzele, A. L.; Falcão, H. L.; Martinelli, M.; Gonçalves, R. S.; Oliveira, E. R.; Brasil, J. L.; Araújo, M. A.; Borges, A. C.; *Quim. Nova* **2001**, *24*, 419; Jardim, W. F.; *Quim. Nova* **1998**, *21*, 671.
2. Mansur, O. C.; Moretto, R. A.; *Aprendendo a Ensinar*, Elevação: São Paulo, 2000.
3. Baird, C.; *Environmental Chemistry*, W.H. Freeman and Company: USA, 1997, chap. 9
4. Zamora, P. P.; Esposito, E.; Durán, N.; *Quim. Nova* **1997**, *20*, 186.
5. Levine, S. P.; Chang, J. C.; Simmons, M. S.; *J. Chem. Educ.* **1986**, *63*, 640.
6. Faust, D.; *J. Chem. Educ.* **1984**, *61*, 924.
7. Armour, M. A.; *Hazardous Laboratory Chemicals Disposal Guide*, Lewis Publishers: USA, 1996.
8. Walton, W. A.; *J. Chem. Educ.* **1987**, *64*, A69.
9. Thompson, G. R.; *Handbook of chemical and environmental safety in schools and colleges*, The Forum for Scientific Excellence, Inc : USA, 1990.
10. Gray, H. B.; Bertini, I.; Lippard, S. J.; Valentine, J. S.; *Bioinorganic Chemistry*, University Science Books: USA, 1994.