



Universidade de São Paulo  
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto  
Departamento de Química  
Programa de Pós-Graduação em Química

## **Tratamento de resíduos como ferramenta para promoção da educação ambiental no ensino de química**

**Daniela Gonçalves de Abreu**

Tese apresentada à Faculdade de  
Filosofia, Ciências e Letras de  
Ribeirão Preto da USP, como  
parte das exigências para a  
obtenção do título de Doutor em  
Ciências, Área: Química

Ribeirão Preto - SP

2003



Universidade de São Paulo  
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto  
Departamento de Química  
Programa de Pós-Graduação em Química

## **Tratamento de resíduos como ferramenta para promoção da educação ambiental no ensino de química**

**Aluna: Daniela Gonçalves de Abreu**

**Orientadora: Profa. Dra. Yassuko Iamamoto**

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia,  
Ciências e Letras de Ribeirão Preto da USP,  
como parte das exigências para a obtenção do  
título de Doutor em Ciências, Área: **Química**

Ribeirão Preto - SP

2003

## **DEDICO**

### **Ao meu esposo Jardiel**

Agradeço todo carinho, amor, compreensão, liberdade, apoio incondicional, dedicação e principalmente, por confiar em mim! Obrigada por todos os momentos que estive ao meu lado, sempre apontando o lado positivo das coisas e animando-me.

### **Aos meus pais: Mário e Maria Luisa**

Obrigada por todo amor e incentivo durante todos estes anos de estudo. Obrigada pelo exemplo de simplicidade e preocupação com o meio ambiente.

### **Às minhas irmãs: Ana Cláudia e Giovana**

Obrigada pela irmandade, amizade, carinho e companheirismo. Adoro vocês!

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar a Deus, pela saúde e disposição, essenciais para realização deste trabalho.

À Profa. Yassuko que sempre foi muito mais que orientadora e sim uma amiga, sempre disposta a conversar, dar conselhos e propor alternativas. Tenho muita sorte em tê-la conhecido e você ter aceito o desafio de desenvolver este projeto junto comigo. “Sonho que se sonha só não vira realidade”. Obrigada por tudo!

Ao Prof. Serra, sobretudo pela amizade durante estes anos.

Aos amigos dos laboratórios de Bioinorgânica e Terras Raras: Maria Sílvia, Rebeca, Maria Elisa, Simone, Ana Paula, Ana Maria, Anderson, Alba, Calefi, Cínara, Christiane, Janaina, Emanuel.

À Paty por sua amizade, compreensão e ajuda. Obrigada por suas palavras sempre amigas!

À Carla pelas valiosas discussões. Valeu!

Ao Fábio, à Hérica e ao Luiz Henrique por terem me apoiado na decisão inicial de desenvolver este trabalho!

Ao Cláudio por sua disposição “infinita” em ajudar!

Ao Adriano pela nossa amizade de longos anos.

A todos os amigos do laboratório do Zefer pelas ajudas com computador, regentes... Enfim, obrigada por serem tão gentis!

À FAPESP pela bolsa concedida na etapa inicial do trabalho.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Química da FFCLRP/USP que contribuíram para a minha formação e para a realização deste trabalho.

Enfim, a todos que de uma certa forma contribuíram para a realização desse trabalho.



***“A natureza achará uma solução para a poluição causada pela civilização. A questão que permanece é se os seres humanos estão incluídos ou não.”***

***Mikhail Gorbachev***

## **RESUMO**

*Atualmente*, em que vários segmentos da sociedade vêm cada vez mais se preocupando com a questão ambiental, a Universidade não pode mais ignorar sua posição de geradora de resíduos, pois isto não está de acordo com o papel que a própria universidade desempenha quando avalia e geralmente censura o impacto causado por outras unidades geradoras de resíduo fora de seus limites físicos. Desta forma, o objetivo inicial deste trabalho foi realizar o inventário dos resíduos químicos gerados nos laboratórios de ensino e pesquisa, de forma a contribuir com a elaboração do Projeto para o Tratamento de Resíduos Químicos do Departamento de Química da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP. A inclusão de propostas de educação ambiental em algumas disciplinas do curso de graduação em Química foi pretendida, por representar um requisito importante para o gerenciamento de resíduos.

A relação horas/aula da disciplina de Química Analítica Qualitativa (QAQ) foi reduzida, passando de 8h/semana em 1990 para somente 6h/semana em 1999. Assim, objetivou-se a reformulação do programa da disciplina, de forma a eliminar “excessos e repetições”; assegurando a compreensão dos fundamentos teóricos envolvidos, por meio da análise criteriosa do conteúdo, tradicionalmente trabalhado nesta disciplina [Baccan *et al.*, 1994; Vogel, 1981]. Dentro de uma proposta de educação ambiental, a disciplina abordou o tratamento de resíduos para desenvolver nos alunos a consciência da preservação ambiental.

Adicionalmente, pretendeu-se também a estruturação de uma outra disciplina de graduação sobre Tratamento de Resíduos Químicos, de caráter multidisciplinar, oferecida para alunos do 6º ou 8º semestre, do curso de Química. O objetivo desta disciplina era tornar o estudante capaz de tomar decisões sobre o gerenciamento de resíduos, como adotar procedimentos viáveis para a disposição final dos resíduos e tratar os resíduos químicos mais comuns existentes nos laboratórios de ensino. O aluno deveria aplicar seus conhecimentos químicos prévio, desenvolvidos durante o curso de graduação, na resolução de problemas reais. Além da qualificação técnica, esta disciplina pôde promover a atitude ética e responsabilidade ambiental, contribuindo para melhorar o perfil do futuro químico, como profissional e cidadão.

## **ABSTRACT**

Nowadays, in which several segments of the society are more and more worrying about the environmental subject, the University cannot ignore more its posture of generator of wastes, because this is not corresponding with the function of the University itself that has to evaluate and usually censure the impact caused by others external generator of wastes Institutions. In this way, the initial aim of this work was to accomplish the inventory of the chemical wastes generated in the teaching and research laboratories, in order to contribute with the elaboration of the project for the Treatment of Chemical Wastes of the Department of Chemistry of Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP. The focus of environmental education in some disciplines of the undergraduate course in Chemistry was on purpose to contribute for the implantation of this project.

The relationship hour of class per week of the discipline of Qualitative Analytical Chemistry (QAC) was reduced, changing from 8 h per week in 1990 to 6h per week in 1999. Thus, the reformulation of the discipline program had the purpose of to eliminate "excesses and repetitions" and to introduce actions that promote an Environmental Education, through the careful analysis of the content, traditionally worked in this discipline[Baccan *et al.*, 1994; Vogel, 1981]. Inside of educational proposal the approach of treatment of wastes performed in the discipline were made in order to develop in the students the conscience of the environmental preservation.

Additionally, also it was intended to structure another graduation discipline about Treatment of Chemical Wastes, of multidisciplinary character, offered for the 6<sup>th</sup> or 8<sup>th</sup> semester students of chemistry course. The objective of this discipline was to become the student capable to make decisions about the management of wastes, as to implement viable procedures for the final disposition of the wastes, to treat more common chemical wastes in the teaching laboratories. The student should apply his previous chemical knowledge, developed during the undergraduate course, in the resolution of real problems. Besides the technical qualification, this discipline could promote the ethical attitude and environmental responsibility, contributing to improve the profile of the future chemist, as professional and citizen.

## **Índice:**

### **Capítulo 1: Introdução Geral**

1.1 Geração de resíduos em Instituições de Ensino	10
1.2 Educação Ambiental: fundamental para implementação de programas de gerenciamento de resíduos	15
1.3 Educação Ambiental nas Universidades	18
1.4 Legislação Ambiental	20
1.5 Perfil do Profissional da Área Química - Meio Ambiente- Educação	22
1.6 Ensino Superior e Práticas Pedagógicas	24
1.7 A importância da Química Analítica Qualitativa (QAQ) e a Geração de Resíduos Químicos	27
1.8 Departamento de Química da FFCLRP e o cenário atual	29
1.9 Objetivos	30

### **Capítulo 2: Inventário dos resíduos químicos gerados nos laboratórios do Departamento de Química da FFCLRP**

2.1 Introdução	33
2.2 Método de Trabalho	34
2.3. Resultados e Discussão	38

### **Capítulo 3: Reestruturação da disciplina de Química Analítica Qualitativa e inserção da temática ambiental**

3.1 Introdução	55
3.2 Método de trabalho	57

3.3 Resultados e Discussões	59
3.3.1 Estudo do grupo I ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ e $\text{NH}_4^+$ )	59
3.3.2 Estudo do grupo II ( $\text{Ba}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ )	61
3.3.3 Inclusão do tema “tratamento de resíduos” na disciplina de QAQ	70
3.3.4 Estratégias pedagógicas adotadas em QAQ	72
3.3.5 Avaliação do processo de aprendizagem	73
3.4 Conclusões	77

## **Capítulo 4: Implantação da disciplina de Resíduos de Metais Pesados**

4.1 Introdução	78
4.2 Atividades desenvolvidas na disciplina	79
4.3 Andamento do curso	83
4.3.1 Tratamento de resíduos orgânicos	84
4.3.2 Tratamento de resíduos inorgânicos	86
4.3.3 Seminários	89
4.4.4 Multidisciplinaridade	89
4.3.5 Avaliação do processo de aprendizagem	90
4.4 Conclusão	91

## **5. Considerações finais**

93

## **6. Bibliografia e referências adicionais**

97

## **7. Anexos**

# Capítulo 1: Introdução Geral

## 1.1 Geração de resíduos em Instituições de Ensino

De um modo geral, desprezando-se os graus de periculosidade, a atividade humana sempre gerou alguma forma de resíduo, alguns deles nocivos ao meio ambiente e, por conseguinte, ao próprio homem. Entretanto, alguns fatores, dentre os quais pode-se destacar aqueles relacionados ao crescimento populacional e desenvolvimento industrial, acentuaram notavelmente a geração de resíduos no mundo [Bendassolli *et al.*, 2003].

Nas últimas décadas, tornou-se evidente a necessidade de se tomarem providências para o controle da emissão de resíduos, evitando que os recursos naturais como a água, solo e ar tornem-se ainda mais degradados. Os efeitos desta geração indiscriminada, que atingem também o homem, têm levado a sociedade a uma maior consciência do real perigo para a sua subsistência [Bendassolli *et al.*, 2003].

Sabe-se que as indústrias, principalmente aquelas que utilizam produtos químicos em seus processos produtivos, são os maiores responsáveis pela geração de resíduos perigosos e o grande alvo de cobrança e fiscalização pela sociedade e pelos órgãos competentes.

Os centros de formação de recursos humanos (universidades e escolas) geram cerca de 1% dos resíduos perigosos em um país desenvolvido como os Estados Unidos [Bendassolli *et al.*, 2003]. Assim como muitas indústrias, as instituições de ensino, pesquisa ou prestadoras de serviços têm sérios problemas para lidarem com os seus resíduos perigosos. No entanto, diferentemente das indústrias, estas instituições geram pequenas quantidades de resíduos, sendo que

a maioria destes é gerada em laboratórios. Estes resíduos são constituídos de grande variedade de substâncias com potencial tóxico variável, incluindo novos compostos de toxicidade desconhecida. Além disso, a composição destes resíduos muda a cada novo projeto de pesquisa ou experimento. Esta ampla variedade de substâncias muitas vezes torna a gestão de resíduos mais complexa nestes tipos de instituições do que em indústrias, que geram grandes quantidades de resíduos de composição conhecida e com pequena diversidade [Micaroni *et al.*, 2000].

Em 1985, as instituições acadêmicas americanas geravam menos de 1% do total americano de resíduos potencialmente tóxicos. No entanto, em algumas instituições, a geração era relativamente alta, como na Universidade de Wisconsin em Madison, que gerava 36 t/ano de resíduos químicos. A disposição destes resíduos representa elevados custos para o gerador [Micaroni, 2001].

Em um levantamento realizado em 1988, entre faculdades americanas que ofereciam cursos de graduação em química, sem terem um programa de pós-graduação nesta área, Gannaway [1990] reportou que o gasto médio com a disposição de resíduos por estudantes em um semestre era de cerca de US\$ 16,90.

Nos Estados Unidos, as faculdades e universidades estão aprimorando cada vez mais o método de disposição de resíduos. Algumas das razões para estas atividades crescentes são: o aumento da regulamentação da disposição de resíduos perigosos pelos órgãos governamentais, custo crescente para descartes fora do campus e responsabilidade civil por qualquer dano a saúde ou ao meio



ambiente que possa a vir ser causado pela estocagem de substâncias perigosas.

No entanto, a maioria das universidades americanas não pode arcar com os custos operacionais da manutenção de seu próprio incinerador e implementam seus planos de gestão de resíduos utilizando procedimentos tais como:

- Uso de resíduos de solventes inflamáveis como combustível,
- Recuperação de metais nobres por eletrólise,
- Redução dos volumes de soluções aquosas contendo metais pesados por evaporação ou precipitação de sais destes metais,
- Neutralização de ácidos e bases, recuperação de solventes por destilação.

A atividade química é freqüentemente relacionada, direta ou indiretamente, à maioria dos chamados “desastres ambientais”, embora outras atividades humanas também exerçam papel importante na degradação e poluição ambientais. Uma das principais ações no sentido de minimizar o impacto ambiental causado por atividades industriais que geram algum tipo de resíduo é o tratamento adequado do mesmo – a remediação. No início da década de 90, uma nova tendência na maneira como a questão dos resíduos químicos deve ser tratada começou a tomar forma. Esta nova visão do problema, com a proposição de novas e desafiadoras soluções, considera que fundamentalmente, é preciso buscar uma alternativa que evite ou minimize a produção dos resíduos. Em detrimento da preocupação exclusiva com o tratamento do resíduo no fim da linha de produção. Este novo direcionamento na questão da redução do impacto da atividade química ao ambiente vem sendo chamado de “green chemistry”, ou química verde, química limpa, química ambientalmente benigna, ou ainda,

química auto-sustentável [Collins,1995; Singh *et al.*, 1999; Cann, 1999; Anatas *et al.* , 2002 e Lenardaão *et al.* , 2003]

Segundo Hjereseem *et al.* [2000], o que está ampliando a incorporação da prevenção à poluição nos processos industriais é o desenvolvimento de materiais didáticos de “Química Verde”. A indústria química está descobrindo que quando seus químicos têm conhecimentos sobre conceitos de prevenção de poluição, eles são capazes de identificar, desenvolver e implementar técnicas que reduzem poluição e custos [Hjereseem *et al.* , 2000].

No Brasil não existe atualmente uma política de incentivo ao desenvolvimento e implantação da química verde, um grande avanço foi obtido nos últimos anos com a iniciativa de algumas agências de fomento, que lançaram editais para o financiamento de programas de gerenciamento de resíduos [Lenardaão *et al.*, 2003]. A criação de um programa de gerenciamento de resíduos em instituições de ensino é fundamental não só como forma de minimizar os impactos causados ao meio ambiente, mas principalmente para educar os futuros profissionais de química.

A geração de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa no Brasil sempre foi um assunto pouco discutido. Na grande maioria das Universidades (e em especial nos Institutos e Departamentos de Química), a gestão dos resíduos gerados nas suas atividades rotineiras era inexistente, devido à falta de exigência do cumprimento das normas estabelecidas por um órgão fiscalizador [Jardim, 1998]. No entanto, algumas Instituições como o IQ/UNICAMP [Jardim, 1998], o IQ/UNESP e o IQSC/USP e a Universidade

Federal do Paraná [Cunha, 2001] já possuem programas de Gerenciamento de Resíduos. Os grupos de pesquisa das Universidades citadas, dedicados à temática ambiental são referência neste trabalho.

No atual cenário, em que vários segmentos da sociedade vêm cada vez mais se preocupando com a questão ambiental, as Universidades não podem mais sustentar esta medida cômoda de simplesmente ignorar sua posição de geradora de resíduos, mesmo porque esta atitude fere frontalmente o papel que a própria Universidade desempenha quando avalia (e geralmente acusa) o impacto causado por outras unidades geradoras de resíduo fora dos seus limites físicos. Assim sendo, frente ao papel importante que as Universidades desempenham na nossa sociedade, frente à importância ambiental que estes resíduos apresentam, e por uma questão de coerência de postura, é chegada a hora das Universidades, e em especial dos Institutos e Departamentos de Química, implementarem seus programas de gestão de resíduos.

Os resíduos gerados por universidades e instituições de pesquisa causam grande preocupação, uma vez que no Brasil cerca de 80% dos esgotos não recebem qualquer tipo de tratamento e são despejados diretamente em mares, rios, lagos e mananciais, segundo a Associação Brasileira de Entidades do Meio Ambiente (ABEMA) [Menezes *et al.*, 2000]. Ratificam a necessidade de criação de um programa de gestão de resíduos, a atual conscientização da sociedade com relação a questão ambiental, o processo de globalização e a normatização crescente que levou à criação da ISO 14000, que versa sobre a gestão e auditoria ambiental.

## 1.2 Educação Ambiental: fundamental para implementação de programas de gerenciamento de resíduos

A implementação de um programa de gerenciamento de resíduos dentro de qualquer unidade geradora é uma tarefa complexa, cujos resultados mensuráveis são obtidos apenas a médio e longo prazo. Além disso, a manutenção do programa requer constante investimento financeiro e humano. Os órgãos governamentais, os cientistas e as entidades voltadas à preservação do meio ambiente têm realizado estudos direcionados a obter a diminuição dos impactos ambientais e impedir a degradação da natureza, implementando mecanismos legais de proteção [Hirata *et al.*, 2002]. Se há algum tempo atrás, a decisão de tratar resíduos era voluntária, devido à falta de uma legislação específica e rígida de controle de descarte de resíduos em instituições de ensino e pesquisa [Jardim, 1998], atualmente esta ação tem amparo legal que, de certa forma, incentiva e visa controlar [Hirata *et al.*, 2002] e tem apoio financeiro de agências de fomento à pesquisa [Lenardaão *et al.*, 2003].

A primeira definição internacional da Educação Ambiental (EA) foi adotada pela International Union for the Conservation of Nature (IUCN, 1971) [Sato, 1995], que enfatizou os aspectos ecológicos da preservação. Basicamente, a EA estava relacionada com a manutenção da biodiversidade e dos sistemas de vida. A conferência de Estocolmo (1972) ampliou a sua definição a outras esferas do conhecimento e finalmente, a Conferência Intergovernamental de Tbilisi (1977), definiu que:

*“ A EA é um processo de reconhecimento de valores e clarificação de conceitos, objetivando o desenvolvimento das habilidades e modificando atitudes em relação ao meio, para entender e apreciar as inter-relações entre os seres humanos, suas culturas e seus meios biofísicos. A EA também está relacionada com a prática das tomadas de decisões e a ética que conduzem para a melhoria da qualidade de vida.”*

Na década de 70 se assistiu às primeiras experiências e implementações pioneiras da EA, sempre reservada aos seus aspectos ecológicos. Já na década de 80, a EA sofreu um período de reestruturação, redefinição, expansão e consolidação. O Conselho Federal de Educação indicou que a temática ambiental possui “caráter multidisciplinar”, o que implicou a sua diluição nas matérias fixadas pelos Conselhos Estaduais de Educação. Neste período, o desenvolvimento da EA adquiriu relevância política. Observou-se a proliferação de associações ambientalistas e de outras formas de organizações civis, buscando a ampliação da EA, nos níveis formal e não-formal. E na década de 90, houve a “ECO-92”, momento de acordos e discussões [Sato, 1997].

Porém, das categorias de objetivos que a tem orientado desde Tbilissi – consciência, conhecimentos, atitudes, aptidões, capacidade de avaliação e participação – os maiores sucessos ocorrem aos níveis da informação e conscientização, sendo que boa parte desta conscientização tem ocorrido pela presença e impacto dos problemas ambientais sobre a qualidade de vida da população.

Experiências de variadas formas têm demonstrado que conhecimento e conscientização, não bastam para uma educação ambiental efetiva. Faz-se

imperativo uma mudança de estratégias e enfoques que permitam dar um passo crucial para frente; um passo a partir do conhecimento e consciência para a ação preventiva e resolução real e efetiva”[Pedrini, 1997].

Para praticar a educação ambiental voltada para o desenvolvimento sustentável, há necessidade de haver um “sistema de formação e capacitação de recursos humanos para a educação, tomada de decisões, administração e execução de políticas”.

Dias (1994) e Sato (1994) frisam a importância das atividades interdisciplinares para se incrementar ou viabilizar a educação ambiental.

As discussões sobre interdisciplinaridade se iniciaram no Brasil ao final da década de 60 (Fazenda, 1992). Segundo a autora, a interdisciplinaridade se desenvolve a partir das próprias disciplinas e ainda, o professor interdisciplinar traz em si um gosto especial por conhecer e pesquisar; possui um grau de comprometimento diferenciado para com seus alunos; ousa novas técnicas e procedimentos de ensino, porém antes os analisa e dosa-os convenientemente.

Segundo Dias (1991), “a interdisciplinaridade é algo que não se explica, mas que se vive (...) com o outro, pois sem o outro a sua verdade é fragmentada. Só com o outro é que a sua verdade, a partir da soma de outras verdades também fragmentadas, comporá a realidade”.

“Ignorando as fronteiras que separam as disciplinas especializadas, a ação interdisciplinar se preocupa em dar uma visão mais global e menos esquemática dos problemas. Não consiste em justapor a priori, diferentes disciplinas, mas em compreender um processo em sua totalidade para passar em seguida à análise de

um problema particular” (Medina *et al.*, 1999; Penteadó, 1994).

### 1.3 Educação Ambiental nas Universidades

A Universidade é um local importante para a formação de recursos humanos e para servir de apoio na construção de sociedades sustentáveis. Mudanças devem ser promovidas no seu interior e no seu relacionamento com a sociedade para que possa contribuir na formação de profissionais e indivíduos e no desenvolvimento de pesquisas voltadas à proteção, recuperação e melhoria do meio ambiente e da qualidade de vida.

A “Política Nacional de Meio Ambiente” foi instituída pela Lei 6.938/81 e contempla a Educação Ambiental. A Constituição Brasileira de 1988, em seu artigo 225, parágrafo 1º e inciso VI, estabelece como incumbência do poder público, “*promover a EA em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente*”. A EA inseriu-se primeiramente na estrutura administrativa dos órgãos públicos de meio ambiente, em vez de ser objeto de trabalho do sistema educativo (CNUMAD, 1991).

A Constituição Brasileira, aprovada em 1988, diz que as Universidades “... obdecarão ao princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão”. Apesar destas funções serem assumidas como óbvias por grande parte dos discursos acadêmicos, na prática podemos constatar uma maior valorização das atividades de pesquisa, algumas instituições que só se dedicam ao ensino e uma quase total desvalorização das atividades de extensão.

Kourganoff (1990) ressalta a “função formadora” da Universidade. Ele aponta que “não se trata apenas de formar homens, mas também de promover o

progresso dos conhecimentos através da pesquisa” e complementa com “missões” econômica e social, voltadas às necessidades de quadros competentes e à suprir as demandas dos jovens e suas famílias.

*Como as instituições de nível superior, especialmente as Universidades, têm respondido (ou se proposto a resolver) a esta demanda da sociedade e dos seus alunos por uma formação que incorpore a dimensão ambiental?*

De diversas maneiras.

“As respostas mais comuns têm sido a incorporação de disciplinas, geralmente optativas no caso das chamadas carreiras técnicas, ou de começar a oferecer novas opções profissionais ou pós-graduações ligadas à gestão ambiental” (Sorrentino, 1995).

Algumas instituições criam comissões interdepartamentais ou programas de amplo espectro, destinados a promover mudanças mais radicais na estrutura vigente. Enfrentam diversos problemas/desafios, que vão desde a “incorporação da dimensão ambiental na lógica interna das pesquisas que caracterizam cada campo profissional (...) e a criação de áreas de interface entre diferentes campos científicos”, até a “transformação dos estilos de aprendizagem, metodologicamente falando, (...) e o maior vínculo entre as universidades e as necessidades nacionais” (Sorrentino, 1995).

Segundo Hogan (1990), “os estudos referentes ao meio ambiente, ao nível de graduação, coloca em questão a própria filosofia do ensino universitário. Por exigir uma abordagem multidisciplinar, fugindo dos limites das tradicionais disciplinas consideradas isoladamente, o meio ambiente é o exemplo acabado do



beco sem saída representado pelos currículos dos cursos de graduação”.

Segundo Medina *et al.* (1999), a educação ambiental tem uma tripla dimensão: ética, conceitual e metodológica.

Do ponto de vista ético, os professores universitários deveriam acostumar seus alunos a primeiramente formularem a questão “para que vou desenvolver este projeto?, quais são seus objetivos?, quais são seus impactos sobre o contexto onde vai se desenvolver?, como se insere isto no desenvolvimento sustentável da comunidade que se está servindo?” e ajudar os alunos a desenvolverem comportamentos, não só conhecimentos.

Do ponto de vista conceitual, deve-se estimular os alunos a trabalharem com um leque de soluções ao invés de soluções únicas. Metodologicamente, assumir que o conhecimento é uma produção coletiva e desta forma, intensificar trabalhos em equipe, em grupos.

#### **1.4 Legislação Ambiental**

A Legislação Ambiental tem passado por uma evolução ao longo dos últimos anos. No Brasil, a preocupação com meio ambiente foi referida primeiramente, na Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, ainda que de forma muito abrangente e pouco explícita no que tange aos valores de multas e penas.

Posteriormente, na Constituição de 1988, foi afirmado em seu artigo 225 que *"Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e*

*futuras gerações".*

Com relação às penas e valores de multas aplicadas em caso de crime ambiental, estas se encontram de forma mais implícita e detalhada em dois decretos: Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e principalmente, no decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999, onde por exemplo, é previsto multa de R\$ de 500,00 a R\$ 2.000.000,00, no artigo 43 para quem : *"produzir, processar, embalar, importar, exportar, comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósito ou usar produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou em seus regulamentos"*.

Em termos legais, pode-se dizer que as multas que podem ser infringidas às Universidades, no que se refere à poluição do meio ambiente passa a constituir uma forma de cobrança eficaz. As leis são muito explícitas e muitas vezes, não é necessário que ocorra um desastre ecológico para que multas sejam aplicadas, basta por exemplo, que um órgão estadual ligado à questão ambiental, como por exemplo a CETESB, constate o descarte, o lançamento de um produto químico no meio ambiente em desacordo com a legislação vigente.

Temos informações de que recentemente, algumas Instituições de Ensino Superior no Estado de São Paulo receberam advertência do órgão competente, a CETESB, por estarem em desacordo com a legislação. A advertência impulsionou uma mobilização nestas Unidades, o que resultou na implantação de Projetos de Gerenciamento de Resíduos nas mesmas.

## **1.5 Perfil do Profissional da Área Química - Meio Ambiente- Educação**

Há duas ações a serem adotadas com relação aos resíduos gerados nas Instituições de Ensino Superior de Química, a primeira curativa, preocupada em dar destino ao resíduo que já existe; e a segunda preventiva e relacionada à redução dos resíduos químicos nos laboratórios através de processos educacionais.

O processo educacional pode despertar a preocupação ética e ambientalista dos estudantes de graduação, modificando os valores e as atitudes, e ainda propiciar a construção de habilidades e mecanismos necessários para o desenvolvimento sustentável.

Adams (1999) relatou que a abordagem da química a partir do tratamento de resíduos químicos, ou seja, de forma contextualizada, desperta o interesse dos alunos. O tratamento de resíduo é definido como um processo que reduz o volume, a mobilidade ou o potencial tóxico do resíduo. Os processos de tratamento de resíduo são subdivididos em métodos físicos e químicos.

Os métodos físicos não mudam a composição do resíduo e envolvem mudanças físicas, por exemplo: i) separação (filtração e destilação), ii) sedimentação e iii) estabilização. Os métodos químicos transformam o resíduo (reagentes) em substâncias (produtos) menos tóxicas e incluem reações de oxirredução, ácido-base e precipitação.

A inclusão de experimentos de tratamento de resíduos nas aulas práticas de laboratório, pode oferecer a oportunidade pedagógica para implementar a EA e suscitar discussões sobre questões ambientais, disposição e remoção de

resíduos químicos do meio ambiente, ética , etc [Nash *et al.*, 1996 ]. Além disso, o aluno pode aplicar todo o conhecimento químico adquirido em sala de aula, como por exemplo, equilíbrio ácido-base, solubilidade e equilíbrio de íons complexos, para propor tratamentos de resíduos [Nash *et al.*, 1996 ].

Deve-se destacar que quando se trabalha com os estudantes de graduação do Curso de Química tem-se o efeito multiplicativo. O estudante de hoje, é o pós-graduando, ou o químico na indústria, que se formado inadequadamente, poluirá o meio ambiente amanhã, enquanto profissional na sociedade, seguindo o exemplo da sua Universidade [Walton, 1987].

A primeira etapa de qualquer "Programa de Gerenciamento de Resíduos de Laboratório" contempla o levantamento de quais são os resíduos químicos gerados nas atividades de pesquisa do Departamento de Química e também as quantidades. Independentemente de qual das atividades geradoras de resíduo (ensino ou pesquisa) serão abordadas, um programa de gerenciamento deve sempre adotar a **regra da responsabilidade objetiva**, ou seja, **quem gerou o resíduo é responsável pelo mesmo** [Jardim, 1998].

O perfil do químico estabelecido nas *Diretrizes Curriculares para os Cursos de Química* , vem de encontro aos objetivos da Educação Ambiental, como exposto a seguir:

*As seguintes características fazem parte do perfil do químico (Diretrizes Curriculares para os Cursos de Química):*

➤ Possuir conhecimento dos procedimentos e normas de segurança no trabalho, inclusive para expedir laudos de segurança em laboratórios, indústrias químicas e

biotecnológicas.

- Saber atuar na área de controle ambiental e de tratamento de poluentes e/ou rejeitos químicos industriais, possuindo conhecimento da utilização de processos de manuseio e descarte de materiais e de rejeitos, tendo em vista a preservação da qualidade do ambiente.
- Ter consciência da importância social da profissão como possibilidade de desenvolvimento social e coletivo.
- Ter capacidade de assessorar o desenvolvimento e a implantação de políticas ambientais

*Os Objetivos da Educação Ambiental são:*

- Sensibilização ambiental
- Compreensão ambiental
- Responsabilidade Ambiental
- Competência Ambiental
- Cidadania Ambiental

## **1.6 Ensino Superior e Práticas Pedagógicas**

Sobre as práticas pedagógicas no ensino superior Masetto (1991) aponta os resultados de algumas pesquisas sobre as condições facilitadoras de aprendizagem. Elas apontam a importância: da participação do aluno na construção do conhecimento em sala de aula; do diálogo; do conteúdo trabalhado

com uma visão mais crítica, mais ajustado às circunstâncias de cada turma e mais vinculado à realidade existencial de seus alunos e voltado para a solução de problemas; da coerência do professor entre o que fala e faz; do professor demonstrar prazer em estar com os alunos e entusiasmo ao ensinar, sendo sério no trato de sua matéria de ensino e ligado afetivamente ao campo de seu saber, de o professor estimular a dúvida, o questionamento, a curiosidade e a pesquisa; de partir do concreto para o abstrato, da prática para a teoria, trabalhar com o factual até chegar a tese mais ampla; dentre outros.

Sorrentino (1995) reúne algumas idéias sobre os pontos críticos a serem repensados visando a prática pedagógica na Universidade:

- Compromisso com a docência é a questão central da prática pedagógica, segundo a visão dos alunos;
- a ação didática competente supõe o domínio do conteúdo específico e dos meios que favoreçam o seu ensino e aprendizagem;
- o desenvolvimento independente e a autonomia intelectual dos alunos são pouco contemplados pela prática pedagógica da Universidade;
- o desenvolvimento de uma visão mais ampla da sociedade, o entendimento crítico da realidade e da profissão são aspectos pouco articulados na prática pedagógica.

Analisando as condições apontadas como facilitadoras de aprendizagem em diversas pesquisas, Masetto encontra um traço comum que permeia todas elas: “o aluno tratado como adulto, com experiências e conhecimentos próprios e co-responsáveis pelo seu processo de aprendizagem, (...) compreensão que não é tão

comum entre nós professores”. Nós planejamos o curso, damos aulas, preparamos as apostilas, corrigimos os trabalhos e apostilas, orientamos, avaliamos, damos aula, aprovamos, reprovamos. O aluno universitário ouve, lê, estuda, anota, faz exercícios e as provas, assiste às aulas. É pouco ativo, pouco participante, quase nada responsável nem responsabilizado por sua aprendizagem” (Masetto, 1991 ).

Para o mencionado autor, “a didática ou metodologia de ensino superior deve brotar de princípios e teorias que procuram entender e explicitar como acontece a aprendizagem em pessoas adultas”. As seguintes características distinguem a aprendizagem do adulto:

- autonomia na direção do processo de aprendizagem; exibem a tendência para a auto direção em sua aprendizagem;
- uso da experiência pessoal como recurso para aprender, a aprendizagem está intimamente ligada à experiência; as experiências passadas afetam sua aprendizagem atual;
- cada experiência pessoal é única; aprendizagem que é experimental enfatiza a individualidade; deve estar centrada em problemas e na experiência, que deverá ser significativa para o aprendiz, a busca de significado é fundamental para toda a aprendizagem;
- os objetivos precisam ser definidos e perseguidos pelo aluno, e este precisa contar com o feed-back a respeito do seu progresso em direção aos objetivos;
- a aprendizagem do adulto é favorecida pela interdisciplinaridade que o ajudam a superar a fragmentação na análise e consideração dos fenômenos.

## 1.7 A importância da Química Analítica Qualitativa (QAQ) x Geração de Resíduos Químicos

A disciplina de Química Analítica Qualitativa (QAQ) possibilita integrar os fenômenos químicos descritivos com os princípios teóricos [Karger, 2000]. O estudo das reações de cátions e ânions em solução aquosa é abordado, através da combinação do trabalho de laboratório com os princípios fundamentais de equilíbrio químico, que governam o comportamento dos sistemas iônicos.

A disciplina de QAQ, neste Departamento adota há vários anos a semimicroescala em suas aulas experimentais. Alguns professores de química observaram um ganho pedagógico, além do benefício econômico na aquisição de menores quantidades de reagentes, vantagens do ponto de vista ambiental e de segurança na adoção da redução da escala. A redução de escala proporciona a criação de um ambiente propício para o desenvolvimento de uma consciência ética e ecológica nos estudantes, visto que a prática tem mostrado que é muito mais fácil formar pessoas com posicionamento ecologicamente correto, do que tentar mudar a forma de pensar e agir dos profissionais graduados.

A minimização da escala implica numa modificação nas quantidades de solventes, reagentes, metodologia experimental e /ou produtos visando um ganho no conhecimento com um mínimo de risco à saúde humana e ao meio ambiente. Além disso, aliado a microescala, é possível a substituição de reagentes, propor novas rotas sintéticas, solventes alternativos, visando a eliminação/ redução de sub-produtos [Singh *et al.*, 1999].

Historicamente, a análise qualitativa teve o seu desenvolvimento relacionado à grande importância e à ênfase que era dada à análise de minerais,



determinação da composição de tais amostras. Esta disciplina chegou até a ser suprimida nos anos 40 em alguns currículos nos EUA com justificativa de que com o desenvolvimento da instrumentação, a análise química se constitui numa mera rotina, sem a necessidade de uma formação e treinamento específico nesta área. Não era explorado de forma eficiente o recurso instrucional que estes métodos ofereciam e os trabalhos de rotina se constituíam em receitas onde não se questionava o porquê de um dado reagente ou uma determinada operação. Foi posteriormente reconhecido como um grande erro, e é oportuno mencionar as declarações do Prêmio Nobel de Química de 1983, H. Taube *“Acho que um dos maiores enganos foram cometidos quando a análise química foi suprimida do currículo. Este era um modo de introduzir a química descritiva que, se ao olharmos mais a fundo, pode despertar o interesse dos estudantes por reações. Eu considero as reações como sendo o coração da química...”* [Senise, 1982].

No entanto, apesar do potencial pedagógico da análise qualitativa [Taube, 1984], tem sido constatado que em algumas Universidades Brasileiras [Jardim, 1998] os laboratórios de química analítica são alvos de críticas por gerarem como resíduos químicos, os metais pesados. Cabe lembrar que a decomposição de metais pesados é impossível e as alternativas para seu descarte são reuso, o reciclo ou a passivação através da precipitação na forma de sais inertes, que posteriormente devem ser dispostos em aterros ou encapsulados.

Além disso, em nossa Instituição, a carga horária da QAQ tem sido gradativamente reduzida nos últimos anos, passando de 12 horas semanais (década de 80 e 90) para apenas 6 horas semanais (final da década de 90). Há necessidade de reestruturar a QAQ neste contexto atual. Devido à progressiva

diminuição da carga horária, ou o extenso conteúdo é mantido, e ensinado sem a devida valorização dos recursos pedagógicos que lhe são inerentes, ou ainda, algumas reações são abordadas na disciplina de Química Geral perdendo também a essência deste valioso recurso pedagógico de custo relativamente baixo.

### **1.8 Departamento de Química da FFCLRP X cenário atual**

Em 2000 observou-se um grande estímulo à criação de programas de gerenciamento de resíduos de laboratórios em congressos através da realização de “workshops” e cursos voltados para este tema, contando até mesmo com a realização de um encontro específico na área (I Encontro Nacional de segurança em Química – UNICAMP – Outubro/2000 e a criação do Programa Especial da FAPESP para Infra Estrutura para Tratamento de resíduos químicos).

A crescente preocupação com o destino final dos resíduos químicos gerados nas Instituições de Ensino Superior resultou em dois workshops promovidos pela Sociedade Brasileira de Química (SBQ).

O primeiro workshop "Tratamento de Resíduos de Laboratórios Químicos" ocorreu em 2000 durante a 23<sup>a</sup> Reunião (SBQ). Este workshop teve como principal objetivo conscientizar a comunidade química sobre a nossa responsabilidade para com os rejeitos gerados em nossos laboratórios e depois, pelo estabelecimento de uma política institucional de gerenciamento de resíduos. Durante a 24<sup>a</sup> Reunião (SBQ) ocorreu o segundo workshop sobre Gerenciamento de Resíduos Químicos em Pesquisa e Ensino. Nossa Instituição participou destes dois eventos. O Departamento de Química da FFCLRP/USP

preocupado com os resíduos químicos que são gerados em seus laboratórios elaborou o Projeto: “Tratamento de Resíduos Químicos” (Proc. FAPESP: 2001/0499-1). Para elaboração do mesmo, foi necessário realizar o diagnóstico (quais e quantos) dos resíduos químicos, para posteriormente estabelecer as estratégias a serem adotadas.

O Departamento de Química dedica-se à formação de profissionais que atuem no ensino, nos processos industriais e/ou nas atividades de pesquisa tecnológica ou acadêmica. Para tanto, mantêm cursos de graduação (Licenciatura em Química, Bacharelado em Química, Bacharelado em Química com Atribuições Tecnológicas) e pós-graduação. Existem mais de 250 alunos de Graduação em Química, matriculados nas diferentes modalidades. O Programa de Pós-Graduação em Química conta com 29 alunos de mestrado e 93 alunos de doutorado. O Departamento conta também com vários estagiários em nível de pós-doutoramento. O Departamento possui 29 docentes com o título mínimo de Doutor, todos trabalhando em Regime de Dedicção Integral à Docência e à Pesquisa (RDIDP), sendo que 85% possuem, pelo menos, um pós-doutoramento no exterior. O Departamento presta serviços de assessoria técnico-científica e estabelece convênios com o setor industrial para desenvolvimento de projetos e realização de estágios pelos alunos de graduação.

### **1.9 Objetivos**

O objetivo inicial deste trabalho foi fornecer subsídios para que se pudesse implantar um Plano de Gerenciamento de Resíduos no Departamento de

Química da FFCLRP/USP, através da realização do diagnóstico e o monitoramento das atividades rotineiras geradoras de resíduos do Departamento de Química, com ênfase especial nos laboratórios de ensino. A partir destas informações, pretendia-se propor e estabelecer metodologias que viabilizassem a recuperação e a reciclagem de alguns resíduos químicos.

A inclusão de propostas de Educação Ambiental em algumas disciplinas do curso de graduação em Química era pretendida, por representar um requisito importante para a implantação de gerenciamento de resíduos. Desta forma, foram objetivos específicos:

i) Reformular a disciplina de QAQ com a inclusão da abordagem do potencial tóxico dos metais e estabelecimento de metodologias para o tratamento de alguns resíduos gerados durante as aulas experimentais. Procurou-se eliminar etapas experimentais desnecessárias, incluindo reações de interesse ambiental.

ii) Estruturar a implantação de uma disciplina de graduação que conseguisse tornar o estudante capaz de tomar decisões sobre o gerenciamento de resíduos, bem como adotar procedimentos viáveis para a destinação final dos resíduos, além de resolver, ou seja, tratar resíduos químicos já existentes no laboratório didáticos do Departamento e gerados durante aulas experimentais em anos anteriores. Esta disciplina inicialmente foi chamada de Resíduos de Metais Pesados gerados nos Laboratórios de Ensino e pesquisa: descarte ou recuperação? (RMP). Tradicionalmente, as disciplinas de graduação têm sido apresentadas de forma compartimentada, por exemplo, Química Orgânica, Química Inorgânica e Bioquímica, objetivou-se conceber uma disciplina

multidisciplinar para um estágio mais avançado do curso (6º ou 8º semestre).

Considerando-se que a prática pedagógica presente nas disciplinas é fator fundamental para o alcance do êxito desejado, objetivou-se analisar e sugerir estratégias didáticas mais convenientes para que ocorresse simultaneamente e com êxito, a implantação de princípios de Educação Ambiental e a aprendizagem significativa de conteúdos químicos contextualizados. Um químico bem formado tem um impacto significativo na resolução de problemas referente ao meio ambiente.

# Capítulo 2:

Inventário dos Resíduos Gerados nos Laboratórios  
de Química do Departamento de Química da FFCLRP/USP

## 2.1 Introdução

Como exposto no capítulo anterior, a primeira etapa de um Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos é a avaliação dos tipos e quantidades de resíduos gerados pelos diferentes laboratórios [Jardim, 1998; Cunha, 2001]. A avaliação das correntes de resíduos deve fornecer informações que permitam a identificação, o levantamento e análise de várias opções de minimização de resíduos de uma maneira sistemática e abrangente [Barnett *et al.*, 2003].

A avaliação prévia dos resíduos deve focar os processos e atividades de laboratório como fontes de resíduos. A compreensão total dos processos e operações é necessária para a identificação de como os resíduos são gerados e para a formulação de alternativas de minimização. Os pesquisadores são as melhores fontes de informação sobre a origem, causa e fatores que controlam a geração de resíduos em laboratórios. Laboratórios de ensino e pesquisa utilizam uma ampla variedade de técnicas em suas operações diárias.

Este capítulo aborda a realização do inventário prévio dos resíduos gerados no Departamento de Química da FFCLRP/USP Ribeirão Preto. Neste trabalho dedicou-se maior ênfase às atividades didáticas, uma vez que as mesmas tendem a uma menor diversificação que as atividades de pesquisa, sendo um controle menos complexo. Segundo Jardim (1998), uma proposta de gerenciamento de resíduos deve começar enfocando inicialmente os resíduos gerados nas atividades de ensino, pois estes podem ser mais facilmente caracterizados, inventariados e gerenciados. Além disto, as atividades de ensino têm efeito multiplicador na divulgação das propostas adotadas e contribuem para a formação de profissionais mais conscientes com relação ao tratamento e disposição de resíduos químicos perigosos.

## 2.2 Método de Trabalho

Para os inventários preliminares das disciplinas utilizou-se o seguinte procedimento: antes do início da disciplina, o docente responsável pelo mesmo era procurado para esclarecimento dos objetivos deste trabalho e solicitação de permissão para freqüentar suas aulas e conversar com os alunos, que deveriam preencher a planilha a seguir, informando quais os resíduos gerados durante a aula e suas quantidades.

No **segundo semestre de 2000** foram oferecidas as seguintes disciplinas:

- a) Físico – Química Experimental I (**FQE-I**), código 5930105.
- b) Métodos Espectroscópicos em Química Analítica (**QA-II**), código 5930373.
- c) Química Geral Experimental (**QGE**), código 5930217.
- d) Química Inorgânica Experimental I (**QIE-I**), código 5930339.

De comum acordo com os respectivos docentes, decidimos o número de grupos de alunos que preencheriam a planilha a cada semana:

- Em **QIE-I** e **QGE** ficou decidido que 3 grupos preencheriam a planilha em cada aula;
- Em **FQE-I** ficou decidido que todos os grupos deveriam preencher a planilha em todas as aulas;
- Em **QA-II** o docente responsável preferiu que o técnico da disciplina se encarregasse do preenchimento da planilha.



Questionário respondido pelos alunos de graduação e técnicos do Departamento:

Disciplina :

Título do Experimento:

Grupo:

Aula:

**SAIS E SÓLIDOS EM GERAL**

Substâncias* manipuladas	Massa usada	Massa descartada	Massa recolhida **

OBS: as substâncias manipuladas podem ser tanto os reagentes, como os produtos das reações realizadas nas aulas experimentais. \*\* Massa recolhida como resíduo para eventual descarte ou recuperação.

**SOLVENTES**

Solvente	Volume usado	Volume perda/evaporação	Volume descartado	Volume recolhido *

\* Volume recolhido como resíduo para eventual descarte ou recuperação.

**SOLUCÕES**

Substâncias* manipuladas	Volume preparado; concentração mol L <sup>-1</sup>	Volume Usado	Volume Descartado	Massa recolhida como resíduo**	Massa descartada

\* OBS: as substâncias manipuladas podem ser tanto os reagentes, como os produtos das reações realizadas nas aulas experimentais. \*\* Massa recolhida como resíduo para eventual descarte ou recuperação.

No início de cada aula de laboratório, cada grupo era informado sobre os objetivos da planilha e sua estrutura.

Os técnicos e monitores de cada disciplina colaboraram com o projeto, recolhendo as planilhas no final de cada aula experimental.

No 1º semestre de 2001, o levantamento dos resíduos químicos foi realizado nas seguintes disciplinas experimentais:

- a) Química Geral Experimental (**QGE**), código 5930217.
- b) Química Analítica I (**QA-I**), código 5930372.
- c) Química Inorgânica Experimental II (**QIE-II**), código 5930324.
- e) Química Orgânica Experimental (**QOE**), código 5930342.
- f) Análise Instrumental (**AI**), código 5930323
- g) Bioquímica I (**BQ**), código 5930325.

Nas disciplinas anteriores o preenchimento das planilhas foi feito pelos técnicos com a nossa participação, após verificação dos roteiros experimentais.

Para elaboração do Projeto de Gerenciamento de Resíduos do Departamento de Química foi necessário diagnosticar quais os resíduos gerados (Laboratórios de Ensino e Pesquisa) e a quantidade dos mesmos. Assim, no primeiro bimestre de 2001, a Chefia do Departamento enviou 2 questionários (página seguinte) de levantamento de resíduos, um referindo-se a Laboratório de Ensino e o outro a Laboratório de Pesquisa, via e-mail para todos os docentes do Departamento. Participamos tanto da elaboração de tais questionários quanto da análise dos mesmos.

**QUESTIONÁRIO (laboratório didático e de pesquisa) aplicado pela  
Chefia do Depto. de Química**

- 1) Laboratório: \_\_\_\_\_ Sala: \_\_\_\_\_
- 2) Docente Responsável: \_\_\_\_\_
- 3) Quais as substâncias abaixo relacionadas são geradas anualmente em seu laboratório? Assinale, descreva e estime a quantidade:

	menos que 100 g Quais?	Entre 100g e 1 Kg Quanto? Quais?	Mais que 1 Kg ou 1 L; Quanto? Quais?
<b>Ácidos inorgânicos</b>			
<b>ácidos orgânicos</b>			
<b>Anidridos</b>			
<b>Bases</b>			
<b>álcoois e cetonas</b>			
<b>Aldeídos e acetatos</b>			
<b>Fenóis</b>			
<b>Ésteres e éteres</b>			
<b>Hidrocarbonetos</b>			
<b>Halogenados</b>			
<b>Amina, Amida, Imina, nitrilas, outros, compostos nitrogenados</b>			
<b>Organosulfurados</b>			
<b>Fosforados</b>			
<b>Metais pesados</b>			
<b>Peróxidos e hidroperóxidos</b>			
<b>Agentes oxidantes</b>			
<b>Agentes redutores</b>			
<b>Sulfetos</b>			
<b>Cianetos</b>			
<b>Outros</b>			

1- Você gostaria de ter alguns dos resíduos de seu laboratório recuperados? Quais?

### **2.3. Resultados e Discussão**

Nesta atividade contamos com o apoio Institucional e a pronta colaboração dos professores responsáveis por disciplinas experimentais no Departamento de Química.

As planilhas foram elaboradas de forma auto-explicativas, objetivando-se facilitar o trabalho das pessoas que fossem preenchê-las (alunos e funcionários). A planilha preenchida pelos alunos encontra-se na página 32. O questionário aplicado pela Chefia do Departamento (página 34) apresentava uma divisão entre várias classes de resíduos e quantidades gerais pré-estabelecidas de geração de resíduos por ano.

Durante a aplicação da planilha constatou-se a preocupação de alguns alunos e técnicos com o descarte de substâncias ácidas (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e básicas (NaOH, NH<sub>3</sub>). No entanto, tais substâncias após neutralização adequada podem ser descartadas na pia.

Os questionários foram analisados e apenas os resíduos que não poderiam ser descartados diretamente na pia foram considerados, segundo um material de apoio fornecido pelos professores Gilberto Goissis (IQSC-São Carlos) e Mary Rosa R. M. Santiago Silva (UNESP-Araraquara) e também um livro sobre “Segurança Química e Ambiental em Escolas” [Thompson, 1990]. Tais materiais contêm uma lista de substâncias químicas que podem ser descartadas na pia (ANEXO 1). Os resultados estão apresentados nas tabelas de 1 a 9.

No segundo semestre de 2000, a quantidade total de resíduo gerado (sólido ou líquido) foi calculada fazendo-se a média de resíduos gerados por grupo e depois

multiplicando este valor pelo número total de grupos de alunos em cada disciplina. A planilha não foi relacionada às atividades que os alunos estavam desenvolvendo nas disciplinas e de certa forma, não era cobrada. Ao final do semestre, os alunos se mostraram desinteressados e cansados e evidenciaram que a planilha era mais uma tarefa para ocupar seu tempo. Assim, como não foi constatado ganho pedagógico nenhum para os alunos, decidimos que no semestre seguinte (1<sup>o</sup> de 2001) as planilhas seriam preenchidas pelos técnicos das disciplinas com nossa participação.

Nas tabelas 1 a 9 encontram-se os resultados da análise das planilhas aplicadas nas disciplinas de BQ, QGE, QOE, QA-II, QIE-II (2<sup>o</sup> semestre de 2001) e FQE-I, AI, QGE e QIE-I (1<sup>o</sup> semestre de 2000).

**Tabela 1**

**BIOQUÍMICA**

*n<sup>o</sup> de alunos matriculados = 59*

*n<sup>o</sup> de grupos = 20 grupos*  $\left\{ \begin{array}{l} 19 \text{ grupos de 3 pessoas} \\ 1 \text{ grupo de 2 pessoa} \end{array} \right.$

<b>Resíduo líquido</b>	<b>mL/aluno</b>	<b>L/disciplina</b>
Azul de bromofenol (26mg/l)	3,4	0,2
Alaranjado de metila (10 mg/l)	3,4	0,2
p-nitrofenilfosfato (15mM)	15,5	0,92
Ácido 3,5 dinitrosalicílico	1,7	0,1
Éter etílico	0,3	0,02

<b>Resíduo sólido</b>	<b>g/aluno</b>	<b>g/disciplina</b>
Acetato de chumbo	$5,1 \times 10^{-4}$	0,03

Substâncias líquidas: 1,44 L

Substâncias sólidas: 0,03 g

Tabela 2

## QUÍMICA GERAL EXPERIMENTAL

nº de alunos matriculados = 51

nº de grupos = 17 grupos (3 pessoas por grupo)

Resíduo líquido	mL/aluno	L/disciplina
Clorofórmio	35,2	1,8
Alaranjado de metila (0,2%)	0,45	0,023
Vermelho de metila (0,2%)	0,43	0,022
Vermelho de bromotimol (0,1%)	0,43	0,022
Vermelho de cresol (0,1%)	0,43	0,022
Amarelo de alizarina (0,1%)	0,43	0,022
Acetato de etila	7,8	0,4
Benzeno	7,8	0,4
Tetracloro de carbono	7,8	0,4

Resíduo sólido	g/aluno	g/disciplina
Ba(OH) <sub>2</sub>	0,2	10
BaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,011	0,6
BaCO <sub>3</sub>	1,6	80
SrCO <sub>3</sub>	1,6	80
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	16,0	800
Ácido benzóico	0,4	20
Ácido salicílico	0,31	16
Ácido acetilsalicílico	0,47	24

Substâncias líquidas: 3,10 L

Substâncias sólidas : 1,0 Kg

Tabela 3

## QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

nº de alunos matriculados = 15

nº de grupos = 7 grupos  $\left\{ \begin{array}{l} 6 \text{ grupos de 2 pessoas} \\ 1 \text{ grupo de 3 pessoas} \end{array} \right.$

Substância líquida	mL/aluno	L/disciplina
Cloreto de t-butila	0,4	0,006
Éter etílico	133,3	2,0
Clorofórmio	54	0,81
Diclorometano	126,7	1,9
Benzaldeído	21,3	0,32
Éter de petróleo	0,04	0,5

Substância sólida	g/aluno	g/disciplina
Borohidreto de sódio	1,53	23
Ácido cinâmico	7,0	105
Carbeno	4,0	60
Ácido bromocinâmico	1,0	15
Trióxido de crômio	10,0	150
Ácido benzóico	5,6	84
Piridina	8,0	120

Substâncias líquidas: 5,5 L

Substâncias sólidas: 557 g

Tabela 4

## MÉTODOS ESPECTROSCÓPICOS EM QUÍMICA ANALÍTICA

*n*<sup>o</sup> de alunos matriculados = 40

*n*<sup>o</sup> de grupos = 14 grupos  $\left\{ \begin{array}{l} 12 \text{ grupos de 3 pessoas} \\ 2 \text{ grupos de 2 pessoas} \end{array} \right.$

Substância sólida	mg/aluno	g/disciplina
Ácido salicílico	17	0,68
2,2-bipiridina	4,5	0,18
Cloridrato de hidroxilamina	0,6	0,025
KMnO <sub>4</sub>	20	0,79
K <sub>2</sub> CrO <sub>7</sub>	0,7	0,028

Substâncias sólidas: 1,7 g



Tabela 5

## QUÍMICA INORGÂNICA EXPERIMENTAL II

nº de alunos matriculados = 24

nº de grupos = 10 grupos  $\left\{ \begin{array}{l} 8 \text{ grupos de 2 pessoas} \\ 2 \text{ grupos de 3 pessoas} \end{array} \right.$

Substância sólida	g/aluno	g/disciplina
Nitrato de cobalto II	6,3	150
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_3^*$	2,1	50
$[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_2^*$	1,0	24,1
Ácido oxálico	2,5	60
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	0,80	20
$\text{CoCl}_2$	3,0	69
$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 0,1 M	$4,0 \times 10^{-3}$	0,097
$\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ (0,05 M)	0.5	12

\*Estes sólidos foram recolhidos e armazenados.

Substância líquida	mL/aluno	L/disciplina
Éter etílico	13	0,3

Substâncias líquidas: 0,3 L

Substâncias sólidas: 385,1g

Tabela 6

## FÍSICO-QUÍMICA EXPERIMENTAL I

nº de alunos matriculados=22

*11 grupos de 2 alunos cada*

<b>Substâncias sólidas</b>	<b>g/aluno</b>	<b>g/disciplina</b>
Ftalato ácido de potássio	1,23	27,0
Dodecil sulfato de sódio	3,93	86,4
Periodato de potássio	0,130	2,78
Álcool polivinílico	2,80	61,7
Ácido benzóico	1,20	25,5
Naftaleno	1,20	26,5
Iodeto de prata	0,0078	0,146

<b>Substâncias líquidas</b>	<b>mL/aluno</b>	<b>L/disciplina</b>
Álcool benzílico	13,0	0,286
Cicloexeno	22,0	0,468
Clorofórmio	212	4,65
Glicerina	32,5	0,715

Substâncias sólidas: 130,0 g (TOTAL)

Substâncias líquidas: 6,1 L (TOTAL)

**Tabela 7**

**ANÁLISE INSTRUMENTAL**

nº de alunos matriculados = 43

{ 20 grupos de 2 alunos cada  
 { 1 grupo de 3 alunos

<b>Substâncias Sólidas</b>	<b>g/aluno</b>	<b>g/disciplina</b>
Sulfato de níquel(II) hexahidratado	0,070	3,0
Cloreto de cobalto(II) hexahidratado	0,084	3,6
Ftalato ácido de potássio	1,16	50
Dimetilglioxima	0,23	10,0

<b>Substâncias líquidas</b>	<b>mL/aluno</b>	<b>L/disciplina</b>
Água oxigenada conc.	1,2	0,050

Substâncias sólidas: 67,0 g (TOTAL)

Substâncias líquidas: 0,050 L (TOTAL)

**Tabela 8**

## QUÍMICA GERAL EXPERIMENTAL

nº de alunos matriculados=54

*18 grupos de 3 alunos cada*

<b>Substâncias sólidas</b>	<b>g/aluno</b>	<b>g/disciplina</b>
Ácido benzóico	0,100	5,40
$\beta$ -naftol	0,100	5,40
Naftaleno	0,330	18,0
Nitrato de chumbo(II)	0,380	20,4
Permanganato de potássio	0,0026	0,140
Dióxido de chumbo(IV)	0,555	30,0
Oxalato de sódio	0,022	1,21
Cromato de potássio	0,013	0,699
Nitrato de prata	0,011	0,612

<b>Substâncias líquidas</b>	<b>mL/aluno</b>	<b>L/disciplina</b>
Clorofórmio	10,0	0,54
Éter etílico	13,3	0,72
Hexano	1,7	0,09

Substâncias sólidas: 81,9 g (TOTAL)

Substâncias líquidas: 1,35 L (TOTAL)

**Tabela 9****QUÍMICA INORGÂNICA EXPERIMENTAL I**

nº de alunos matriculados=27

9 grupos de 3 alunos

<b>Substâncias sólidas</b>	<b>g/aluno</b>	<b>g/disciplina</b>
Cloreto de chumbo(II)	1,67	45,1 g*
Dióxido de chumbo(IV)	0,450	12,1
Permanganato de potássio	0,560	15,2
Tiosulfato de sódio	0,0100	0,280
Sulfito de sódio	2,34	63,2
Dicromato de potássio	0,00588	0,159

\* Desta quantidade, ~30,4 g de  $PbCl_2$  sólido foram recolhidos e durante o processo de purificação de sólido, ~14,0g ficaram dissolvidos na água de filtração.

<b>Substâncias líquidas</b>	<b>mL/aluno</b>	<b>L/disciplina</b>
Éter dietílico	4,5	0,122
Tetracloro de carbono	1,2	0,032

Substâncias sólidas: 136,0 g (TOTAL)

Substâncias líquidas: 0,154 L (TOTAL)

Os resultados dos monitoramentos de resíduos referentes às disciplinas práticas do curso de química encontram-se sumarizados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10: Diagnóstico de Resíduos Sólidos

Disciplinas semestrais do curso de química	Alunos	Substâncias sólidas	Total
	Matriculados	g/aluno	Kg/disciplina
Química Inorgânica Experimental I	27	5,1	0,14
Química Geral Experimental I	54	1,5	0,082
Resíduos de Metais Pesados - Descarte ou recuperação *	17	-----	-----
Físico – Química Experimental	22	5,9	0,13
Análise Instrumental	43	1,6	0,067
Química Analítica Qualitativa*	55	-----	-----
Bioquímica	59	$5,1 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^{-5}$
Química Geral Experimental	51	20	1,0
Química Orgânica Experimental	15	37	0,56
Métodos Espectroscópicos em Química Analítica	40	0,04	$1,7 \times 10^{-2}$
Química Inorgânica Experimental II	24	16	0,39
<b>TOTAL</b>	515	4,6	2,4

\* Os resíduos gerados nestas disciplinas são mínimos e recebem tratamento de inertização.

A quantidade de resíduos sólidos e líquidos gerados nos laboratórios de ensino, anualmente, no Departamento de Química, é relativamente pequena (2,4 Kg e 18 l, respectivamente). A disciplina de QOE é a que mais gera resíduo sólido, tendo-se em média ~ 37 g/aluno. Depois vem QGE com geração anual de ~22 g de resíduo sólido por aluno e QIE-II com uma média de 16,0 g de resíduo por aluno por semestre. Observamos que as disciplina de QA-II e BQ são

**Tabela 11:** Diagnóstico de Resíduos Líquidos.

Disciplinas semestrais do curso de química	Alunos	Resíduos líquidos	Total
	Matriculados	mL/aluno	L/disciplina
Química Inorgânica Experimental I	27	5,70	0,15
Química Geral Experimental I	54	25	1,4
Resíduos de metais pesados- descarte ou recuperação *	-----	-----	-----
Físico – Química Experimental I	22	277	6,1
Química Analítica Qualitativa*	55	-----	-----
Análise Instrumental	43	1,2	0,05
Bioquímica	59	24	1,4
Química Geral Experimental	51	61	3,1
Química Orgânica Experimental	15	367	5,5
Métodos Espectroscópicos em Química Analítica	40	-----	-----
Química Inorgânica Experimental II	24	0,013	0,3
<b>Total</b>	<b>515</b>	<b>35</b>	<b>18</b>

\* Estas disciplinas, praticamente, não geram resíduos líquidos, uma vez que seu objetivo é justamente dar destino final adequado a resíduos já existentes.

as que menos geram resíduos (1,6 g/ aluno e  $5,1 \times 10^{-4}$ g/aluno, respectivamente). Com relação ao resíduo líquido, as disciplinas de QOE e FQE-I são as que mais geram, tendo-se 367 mL /aluno e 277 mL/aluno, respectivamente.

A sondagem quantitativa é importante para auxiliar as decisões que serão tomadas mais tarde, como por exemplo: qual resíduo é mais gerado, o que fazer com ele? Vale a pena descartar, recuperar ou reusar? Dependendo das quantidades,

o tratamento e descarte devem ocorrer no próprio laboratório, responsável pela geração do resíduo.

Segundo o questionário aplicado pela Chefia do Departamento de Química, obteve-se que: a) os laboratórios de ensino anualmente geram em média 40 L de substâncias líquidas e 4 kg de substâncias sólidas; b) os laboratórios de pesquisa geram em média 4781 L de substâncias líquidas, geralmente solventes orgânicos e 10 kg de substâncias sólidas. No entanto, pelas planilhas por nós monitoradas, concluímos que os laboratórios de ensino geram em média 18 L de substâncias líquidas e 2,4 kg de substâncias sólidas. A diferença observada nas planilhas por nós monitoradas e aquelas previstas no levantamento realizado pelo Departamento, deve-se ao fato de que neste último, o volume de resíduo líquido gerado foi estimado considerando-se também substâncias que não oferecem risco ambiental, como por exemplo, soluções salinas, acetona e etanol em condições diluídas.

Muitas substâncias, comumente usadas nos laboratórios, não são necessariamente resíduos químicos, uma vez que:

- podem ser descartadas diretamente na pia; é o caso de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  etc.
- ou após tratamento simples podem ser descartadas na pia. Este é o caso principalmente dos ácidos e bases [Armour, 1996]. A maioria dos ácidos e bases, depois de devidamente neutralizados podem ser descartados na pia, sob água corrente.

Comparando-se os nossos resultados com aqueles divulgados pela UNICAMP, Tabela 12 [Micaroni *et al.*, 2000], observa-se que neste Departamento, as disciplinas experimentais analisadas geram pequenas quantidades



de resíduos sólidos e líquidos. Provavelmente, isto deve ao fato de terem sido adotados nos últimos anos a minimização, bem como experimentos em grupo pelos docentes deste Departamento.

**Tabela 12** [Micaroni, 2000]: Resíduo gerado por aluno do Instituto de Química da UNICAMP\*

Disciplinas semestrais do curso diurno de química	Alunos		Resíduo (g)/aluno	Total (kg)/ Disciplina
	monitorados	matriculados		
QA111- Q. Analítica I	69	69	397	27,3
QA216-Q. Analítica II	59	59	3259	192,2
QA415-Q. Analítica Inst.	56	56	2786	156,0
QA632- Físico-Química Exp. I	63	63	309	19,5
QF732 (QF632)**- Fís- Química Exp. II	63	63	309	19,5
QG109- Q. Geral Exp.	35	70	1120	76,4
QG564- Q. Org. e Inorg. Exp	24	60	1946	116,8
QI542 (QI541)** - Q. Inorgânica Exp. II	26	60	548	32,9
QO622- Q. Orgânica Exp. II	41	60	469	28,1
<b>Total</b>	<b>347</b>	<b>-----</b>	<b>11143</b>	<b>670,7</b>

\* as disciplinas que envolvem apenas projetos não estão incluídas.

\*\* estimado por similaridade com a disciplina entre parênteses

Após diagnosticar os resíduos gerados nas diferentes disciplinas, as seguintes ações foram realizadas:

➤ Disponibilização dos tratamentos para alguns resíduos [Armour, 1996] aos técnicos de laboratório. Alguns técnicos passaram a tratar resíduos simples gerados durante as aulas, como por exemplo, os ácidos e bases;

- Recolhimento individual de resíduos orgânicos halogenados e não-halogenados;
- A passivação através da precipitação dos metais na forma de hidróxidos e sulfetos insolúveis foi realizada [Armour, 1996].
- Orientou-se o armazenamento de resíduos, como por exemplo,  $K_2Cr_2O_7$  (QGE),  $AgCl$  (QA-I e QA-II) e  $PbCl_2$  (QIE) gerados em experimentos de cristalização de sais, reações de precipitação e sínteses inorgânicas. Métodos de tratamento para estes resíduos foram pesquisados, para posteriormente serem realizados por alunos de graduação (Capítulo 5 desta tese).

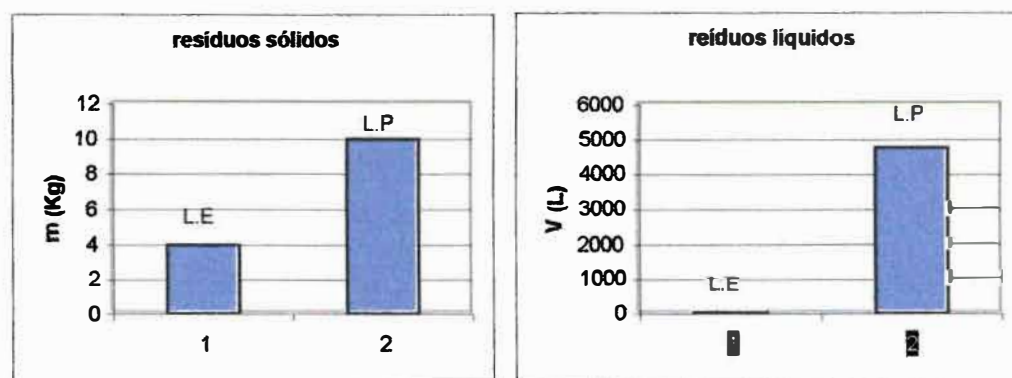
Com relação aos laboratórios de pesquisa, a síntese dos questionários pode ser consultada no ANEXO 2. A tabela 13 apresenta os principais os resíduos de solventes orgânicos (halogenados e não halogenados) gerados nos laboratórios de pesquisa.

A recuperação dos resíduos de solventes gerados em grandes quantidades, como por exemplo, etanol (1335 L) e acetato de etila (1005 L) é viável por destilação, o que já é realizado embora com perdas. Os resíduos cuja recuperação não seja efetuada deverão ser encaminhados para incineração. Constatou-se que os laboratórios de pesquisa geram muito mais resíduos sólidos e líquidos que os laboratórios de ensino (Gráfico 1).

Pode-se constatar que os laboratórios de Pesquisa, em geral, são maiores gerados de resíduos líquidos (4781 L) e sólidos (10 kg) que os laboratórios didáticos (40L e 4 kg, respectivamente).

**Tabela 13:** Resíduos de solventes orgânicos gerados nos laboratórios de pesquisa.

Solvente	Volume (L)
Etanol	1335
Acetato de etila	1005
Hexano	937,5
Éter etílico	618,3
Diclorometano	349,1
Acetona	194,4
Clorofórmio	127,5
Metanol	72,8
Cicloexano	38,0
Benzeno	28,3
Tetrahidrofurano	27,0
Acetonitrila	21,0
Etanol	18,0
Tetracloroeto de carbono	15,0



**Gráfico 1:** Resíduos Gerados anualmente nos Laboratórios de Ensino (L.E) e laboratórios de pesquisa (L.P) do Departamento de Química da FFCLRP/USP.

O levantamento de resíduos dependeu do envolvimento da comunidade (alunos – professores – funcionários). A colaboração de todas as pessoas foi muito importante, bem como o apoio Institucional.

# Capítulo 3:

reestruturação da disciplina de Química Analítica  
Qualitativa e inserção da temática ambiental

### 3.1 Introdução

Uma das prioridades no gerenciamento de resíduos tóxicos é a redução do volume de resíduo gerado. Este objetivo requer uma análise detalhada das fontes geradoras e das possibilidades de redução, sendo que seus benefícios incluem maior segurança, melhor imagem pública, reduzida tendência a sofrer penalidades legais por acidentes, diminuição nos custos de tratamento e disposição final [Hatfield *et al.*, 1993].

Os laboratórios acadêmicos e as instituições de pesquisa geralmente geram resíduos com composição e volume muito mais diversificados que as indústrias e, portanto, necessitam de soluções muito mais criativas para o monitoramento e a redução das suas correntes de resíduos. Dentro desta perspectiva, a utilização de experimentos em microescala revolucionou o ensino de química nos laboratórios de graduação nos Estados Unidos [Hatfield *et al.*, 1993].

Uma das maiores vantagens da adoção da microescala é a criação de um ambiente propício para a proliferação de uma consciência ética e ecológica nos estudantes, visto que a prática tem mostrado que é muito mais fácil formar pessoas com um posicionamento ecologicamente correto do que tentar mudar a forma de pensar e agir dos profissionais graduados [Jardim, 1998].

Além da minimização do volume, a redução do potencial tóxico do resíduo pode ser alcançada de maneira alternativa, através da substituição de ensaios nas disciplinas experimentais. Assim, os experimentos mais críticos em termos de geração de resíduos podem ser alterados de maneira que o novo experimento utilize os princípios que se deseja trabalhar, mas empregue reagentes de menor potencial tóxico.

No entanto, mesmo após a minimização dos resíduos de laboratórios através do planejamento cuidadoso, alteração de experimentos, neutralização e redução de volume, o problema de tratamento e disposição final ainda persiste. Conseqüentemente, deve-se assegurar que os resíduos não sejam liberados de forma a contaminar o meio ambiente e utilizar-se a oportunidade de tratamento para desenvolver com os alunos noções de segurança, química e cidadania [Barnett *et al.*, 2003].

A redução na escala dos experimentos já vem sendo adotada na disciplina de QAQ em nossa Instituição há muitos anos. Apesar da disciplina QAQ ser um instrumento para ensino das interações entre íons em solução aquosa, apresenta o inconveniente de possuir em seu programa uma série de metais com considerável potencial tóxico como  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ , etc, sendo portanto, alvo de várias críticas [Micaroni, 2001]. Esta disciplina em décadas anteriores possuía a carga horária de 12 horas por semana, sendo o conteúdo bastante extenso envolvendo procedimentos repetitivos [Baccan *et al.*, 1994; Vogel, 1981]. Por exemplo, as diferentes reações de identificação de cada um dos íons, bem como as reações que caracterizam cada grupo de íons (reações de separação) são realizadas inicialmente uma a uma e só no momento seguinte são efetuadas as análises de amostras (separações/identificações). Nos últimos anos, a carga horária desta disciplina foi reduzida para 6 h semanais (2h de teoria e 4h de aula prática). Desde então, muitas questões têm sido formuladas:

- a) O grande volume de informação contidos nos livros textos geralmente adotados e produzidos para uma disciplina de 12h semanais, não estaria prejudicando a compreensão?

- b) Estaria havendo tempo para o aluno refletir sobre o experimento executado?
- c) O procedimento está de acordo com a realidade do laboratório quanto aos materiais disponíveis?
- d) O texto induz à reflexão necessária para o aprendizado?
- e) Determinada reação pode ser suprimida sem prejuízo de conteúdo importante?

O programa da disciplina de QAQ necessitava ser revisto, tendo em vista a contextualização sócio-ambiental dos conteúdos químicos abordados, bem como uma adequação dos mesmos à carga horária vigente (6h/semana). Noções de gerenciamento de resíduos deveriam permear as aulas experimentais, de forma a garantir que resíduos produzidos nas aulas experimentais não fossem liberados e contaminassem o meio ambiente. O aluno deveria constatar que os conteúdos químicos estudados na disciplina são fundamentais para o gerenciamento de resíduos em todas as suas etapas.

### 3.2 Método de trabalho

A reorganização das aulas práticas da disciplina foi proposta de maneira a possibilitar a inclusão do tratamento de resíduos procurando despertar nos alunos atitudes responsáveis e criativas, aliando a educação ambiental à educação profissional. Após análise cuidadosa da marcha analítica completa, tradicionalmente estudada [Baccan et al., 1994; Vogel, 1981], foi feita a exclusão de alguns cátions das aulas práticas, deixando o estudo das suas propriedades somente para as discussões teóricas. Quando a exclusão fosse considerada inconveniente, devido à relevância química, procurou-se propor metodologias adequadas de recuperação ou inertização, para que o determinado íon pudesse continuar na marcha.



Um *manual de laboratório* foi elaborado e utilizado pelos alunos no primeiro semestre de 2002. Este material foi estruturado de forma a contemplar toda a parte experimental e a respectiva fundamentação teórica que foi enfatizada a cada aula no decorrer da disciplina, apresentando também exercícios que deviam ser resolvidos pelos alunos. Um estudo crítico dos procedimentos experimentais executados na disciplina de QAQ em anos anteriores foi realizado, buscando-se soluções para alguns problemas observados com frequência, relacionados à dificuldade de aprendizagem apresentada por alguns alunos.

Os roteiros experimentais continham informações sobre o potencial tóxico e aplicações dos íons estudados e foram descritos de tal forma que, durante a aula prática os alunos refletissem e solicitassem o esclarecimento de dúvidas. Na aula seguinte à execução do experimento era feita uma discussão, onde os alunos “problematizavam” sua atividade de laboratório. Após a discussão, aplicavam-se provas com duas questões relacionadas ao que havia sido discutido para avaliar o processo de aprendizagem. Exercícios relacionados à parte experimental foram inseridos no próprio texto de aula. Listas de exercícios numéricos também foram elaboradas. A leitura do material didático foi realizada após as aulas experimentais e possibilitou efetuar as correções ortográficas, o detalhamento de procedimentos experimentais descritos de forma ineficiente e avaliar a seqüência de conteúdos adotada.

Diferentes estratégias pedagógicas foram consultadas [Mansur, 2000] e testadas, buscando-se otimizar o processo de aprendizagem durante as aulas teóricas e práticas.

### 3.3 Resultados e Discussões

Tradicionalmente, na disciplina de QAQ são estudadas inicialmente, as reações de identificação de cada íon para somente depois ser realizada a separação de uma mistura de íons [Baccan et al., 1994; Vogel, 1981]. Os íons comumente estudados são:

- $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{NH}_4^+$  (grupo I);
- $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (grupo II);
- $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  (grupo III);
- $\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Sn}^{4+}$ ,  $\text{Sb}^{3+}$ ,  $\text{Sb}^{5+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{As}^{5+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$  (grupo IV)
- $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$  (grupo V);
- $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  (ânions)

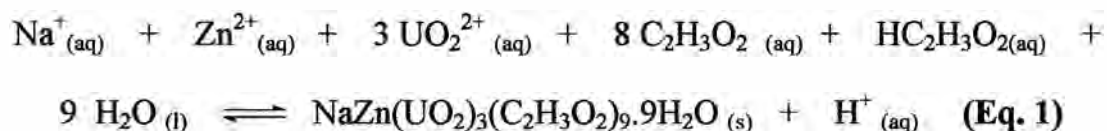
No material didático produzido neste trabalho partiu-se da análise direta das separações de misturas conhecidas e à medida que os íons fossem separados, as reações de identificação/confirmação eram realizadas. As reações prévias de identificação foram realizadas somente para o grupo I e ânions. Os fundamentos teóricos de cada etapa da separação foram explorados na forma de notas no final do texto (ANEXO 3), solicitando que se respondesse às questões e/ou escrevesse as equações iônicas envolvidas.

#### 3.3.1 Estudo do grupo I ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ e $\text{NH}_4^+$ )

O texto desenvolvido para a aula 1 adotou uma breve introdução sobre métodos de análise qualitativa nas escalas macro, semimicro e micro e a classificação analítica dos cátions, destacando em cada grupo os íons que seriam estudados experimentalmente e suas aplicações.

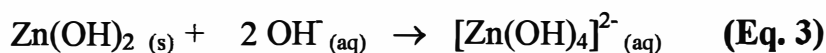
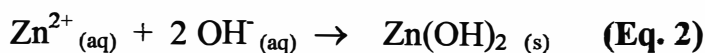
Após a descrição dos procedimentos de reações, foram inseridas algumas questões, com o objetivo de fazer com que os alunos revisassem conceitos introduzidos no semestre anterior na disciplina de Química Geral, e os aplicassem na prática.

Ao final da descrição do procedimento de identificação de  $\text{Na}^+$  com acetato de zinco e uranila, foi colocada a equação química referente a esta e introduziram-se duas questões:



- 1) O que acontece com o precipitado se o meio estiver muito ácido? Justifique.
- 2) Se o meio estiver alcalino quais reações paralelas podem ocorrer?

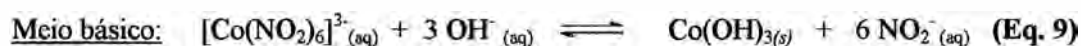
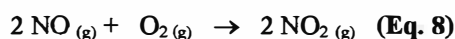
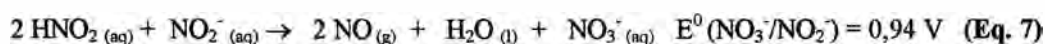
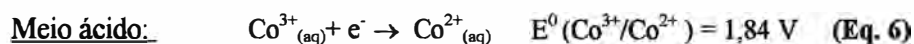
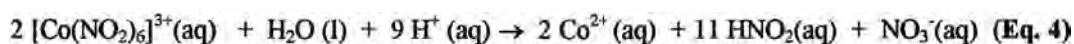
Estas questões visaram reforçar os conceitos já vistos anteriormente ou introduzir novos conceitos. Observou-se que a maioria dos alunos conseguiu responder a primeira questão dizendo que em meio fortemente ácido o equilíbrio se desloca no sentido de dissolução do precipitado. Na segunda questão os alunos encontraram dificuldades. Alguns citaram a formação do  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , mas não a formação do complexo  $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$  em meio fortemente básico. Desta forma, pode-se associar a formação do complexo com o comportamento anfotérico do  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ .



Na identificação de  $\text{K}^+$  com hexanitrocobaltato(III) de sódio foram abordados conceitos como solução tampão, formação e estabilidade de complexos

de cobalto e até mesmo reações redox.

Questões referentes à necessidade do meio de reação estar tamponado para a identificação de  $K^+$  foram colocadas ao final da descrição do procedimento experimental. Discutiu-se o que é uma solução tampão e que em meio fortemente ácido ocorreria a decomposição do cobaltonitrito de sódio e a redução de Co(III) à Co(II) e em meio básico ocorreria a precipitação de  $Co(OH)_3$ . Assim, temos:



Comumente os alunos se esqueciam de tamponar o meio, após eliminar o íon  $NH_4^+$  (interferente) com base forte. Procurou-se enfatizar no texto a importância da neutralização do meio após a eliminação de  $NH_4^+$  para se ter teste positivo para  $K^+$ . Nesta etapa, as propriedades do Co(III) foram exploradas e este foi excluído do processo de separação do grupo III.

### 3.3.2 Estudo do grupo II ( $Ba^{2+}$ , $Sr^{2+}$ , $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ )

Procurou-se inicialmente chamar a atenção dos alunos para as regras para expressar reações químicas, através de equações iônicas. Regras de solubilidade também foram introduzidas.

A marcha analítica tradicional para o grupo II está apresentada no Esquema

1. Optou-se por tirar as reações de identificação que em anos anteriores eram

realizadas antes da amostra conhecida. Os problemas são geralmente encontrados na separação dos íons e por isso foi dada essa ênfase maior nos processos de separação.

Desta forma, a marcha analítica foi reestruturada (Esquema 2) para a disciplina, de maneira a não conter o íon  $\text{Sr}^{2+}$ , por este apresentar propriedades semelhantes ao  $\text{Ca}^{2+}$ , podendo assim reduzir o número de íons estudados.

A separação do  $\text{Mg}^{2+}$  dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Ba}^{2+}$  em um meio tamponado, foi bastante explorada na forma de nota no decorrer do texto. Destacou-se o papel do  $\text{NH}_4^+$  no controle da concentração do íon  $\text{CO}_3^{2-}$ , relacionando as diferenças dos  $K_{ps}$  dos respectivos carbonatos.

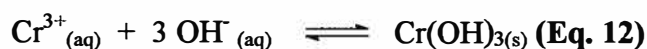
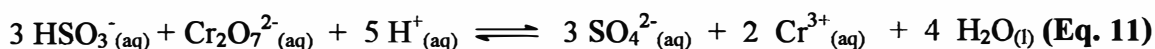
Na separação de  $\text{Ba}^{2+}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  utilizou-se o tampão ácido acético/acetato de sódio para precipitar  $\text{BaCrO}_4$ , deixando  $\text{Ca}^{2+}$  em solução. Neste caso, além de explorar o conceito de solução tampão também foi feita uma discussão em função dos  $K_{ps}$  dos respectivos cromatos.

O  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  é usado como agente precipitante durante a separação do  $\text{Ba}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  no grupo II (Esquema 1) [Baccan *et al.*, 1994]. Neste processo, tanto o  $\text{BaCrO}_4$  sólido como o sobrenadante contendo  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  requerem tratamento. Dois métodos de tratamento destes resíduos foram testados utilizando como redutores o ferro metálico e o bissulfito de sódio [Armour, 1996] para avaliar a viabilidade antes de incluir no material didático.

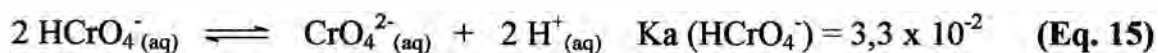
*Tratamento de Cr(VI) usando ferro metálico como redutor:* a redução do Cr(VI) a Cr(III) é feita em meio ácido usando Fe metálico como redutor. A seguir, utilizando-se  $\text{NH}_4\text{OH}$  como agente precipitante obtém-se *uma mistura* de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  e  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Desta forma, a reciclagem torna-se inviável como destino final, pois seria

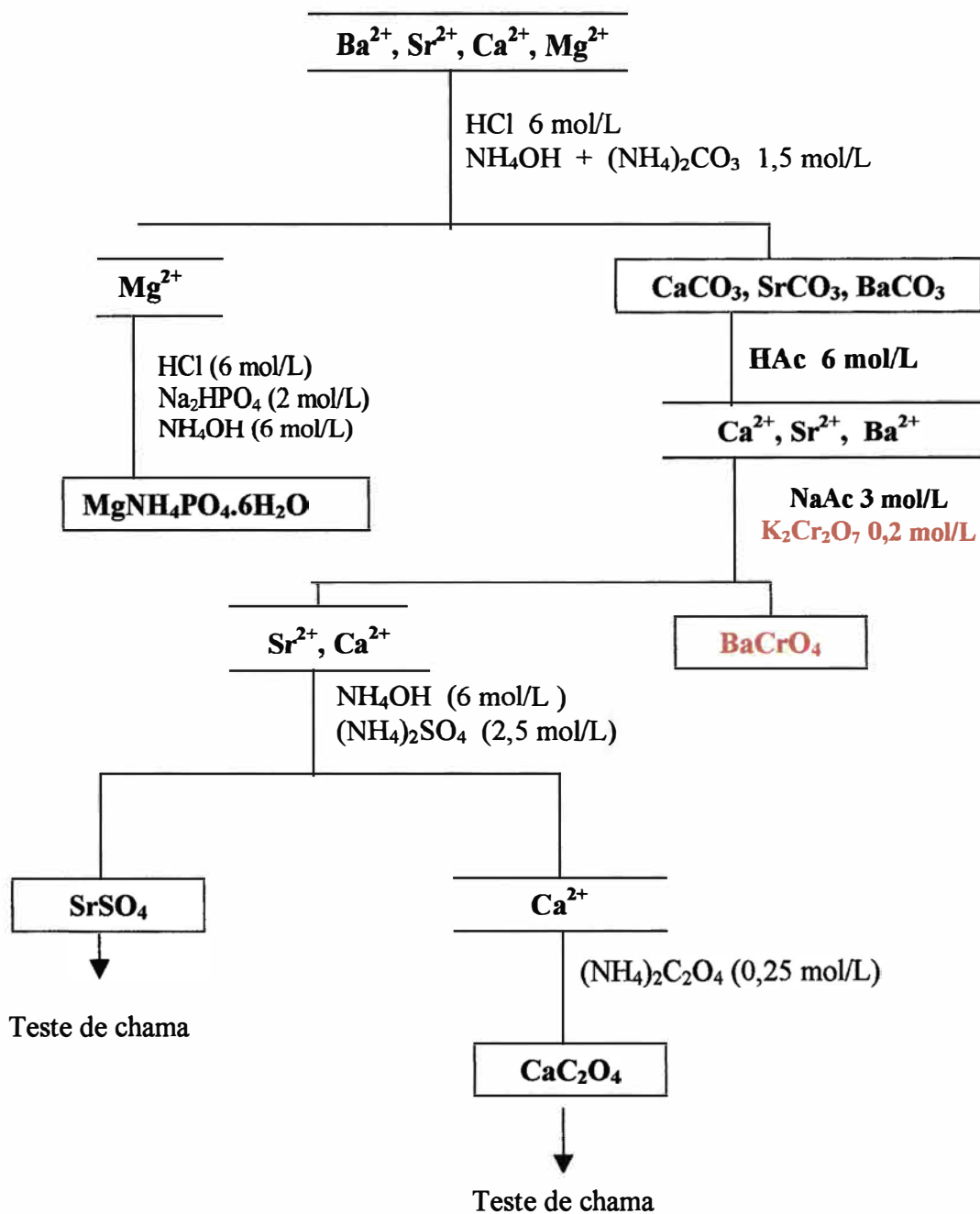
necessária uma etapa de purificação visando a separação de  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Cr}^{3+}$ . No entanto, este tratamento pode ser recomendado por ser economicamente viável, para disposição em pequenas quantidades na pia, uma vez que a mistura não apresenta risco ambiental.

Tratamento de Cr(VI) usando bissulfito como redutor [Hirata, 2002]: a redução do Cr(VI) a Cr(III) é feita com ácido sulfúrico (Eq. 10) (pH~2) usando bissulfito de sódio como redutor (Eq. 11). O  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  é obtido utilizando-se NaOH (Eq. 12) e aquecimento. O  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  pode dissolver e o uso de uma base forte favorece a formação de  $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$  (Eq. 13). Após o aquecimento da solução contendo o  $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ , obtém-se um precipitado verde de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ .



Observando que a  $[\text{CrO}_4^{2-}]$  é controlada pelo pH (Eq. 14 e 15), pôde-se discutir com os alunos a solubilidade relativa do  $\text{BaCrO}_4$ , a precipitação do  $\text{BaSO}_4$  e o deslocamento do equilíbrio da reação abaixo, pelo consumo do íon  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  na reação subsequente com o íon  $\text{HSO}_3^-$  (Eq. 10).



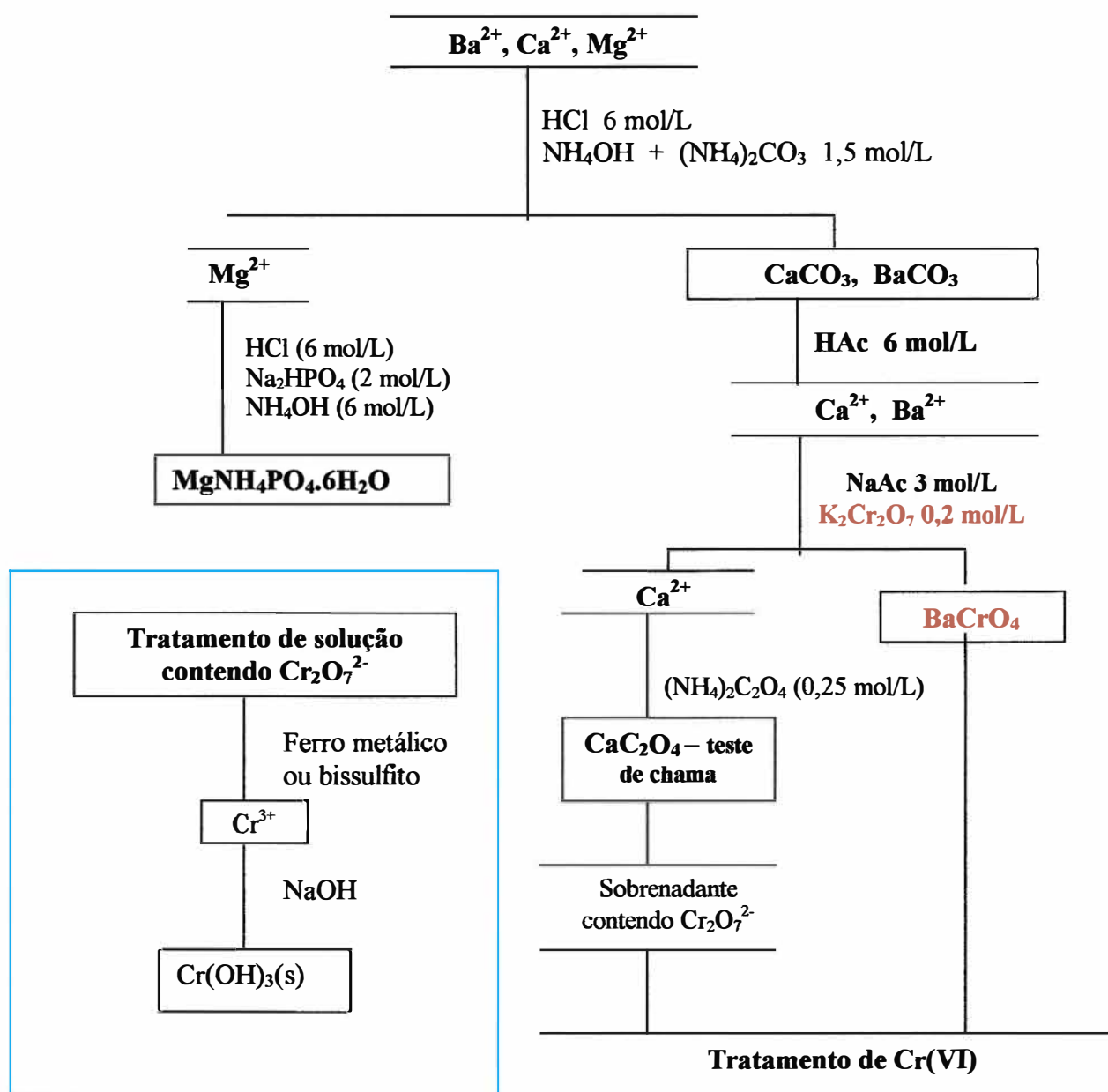


**Esquema 1:** Separação dos cátions do Grupo II [Baccan et al., 1994].

O bissulfito de sódio também pode ser usado como redutor no tratamento de resíduos contendo  $\text{MnO}_4^-$  [Armour, 1996].

Desta forma, no material produzido e utilizado em 2002 e 2003, incluiu-se o

tratamento do resíduo contendo Cr(VI) (Esquema 2), usando bissulfito de sódio como redutor e NaOH como agente precipitante. No entanto, recentemente experimentos de recuperação de Cr<sup>3+</sup> do laboratório de ensino demonstraram que quando se usa o NaOH, uma grande quantidade de complexo solúvel verde (Cr(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>) é formada, sendo necessário um aquecimento para obter Cr(OH)<sub>3</sub> [Wismer, 1991]. Desta forma, este método não é economicamente viável por



Esquema 2: Marcha analítica para o grupo II (após reformulações).



necessitar de aquecimento. Uma alteração no procedimento experimental para 2004, será a utilização de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  para neutralizar o meio ácido e precipitar o  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ .

O tratamento do resíduo de  $\text{Cr}(\text{VI})$  no grupo II, permite antecipar a discussão do caráter ácido do  $\text{Cr}^{3+}$  e do  $\text{Al}^{3+}$  bem como o comportamento anfotérico. O cromo e o alumínio sofrem hidrólise em solução aquosa. O  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  e  $\text{Al}(\text{OH})_3$  começam a precipitar em pH 5 e 4, respectivamente. Os hidróxidos dissolvem em pH 13 ( $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ) e pH 11 ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), formando  $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$  e  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ . Sendo o  $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$  menos estável que o  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ , quando a solução que o contém é aquecida, a tendência é que o  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  (verde-acinzentado) se reprecipite [Wismer, 1991; Walton, 1987].

As propriedades e características do  $\text{Cr}^{3+}$  foram estudadas durante o tratamento do resíduo de  $\text{Cr}(\text{VI})$ . Este íon foi excluído da do grupo III (Esquema 3).

No entanto, durante a discussão teórica do grupo III, suas propriedades foram retomadas e comparadas às do  $\text{Al}^{3+}$ , destacando-se o caráter anfotérico dos respectivos hidróxidos.

A compreensão e a responsabilidade ambiental puderam ser trabalhadas com os estudantes, que começaram a se preocupar com o que fazer com o resíduo gerado. Queriam saber onde descartar. A postura de “jogar tudo na pia”, aos poucos, pode ser visivelmente modificada.

Análises similares àquelas feitas para o grupo I e II foram estendidas aos íons dos demais grupos, por exemplo:

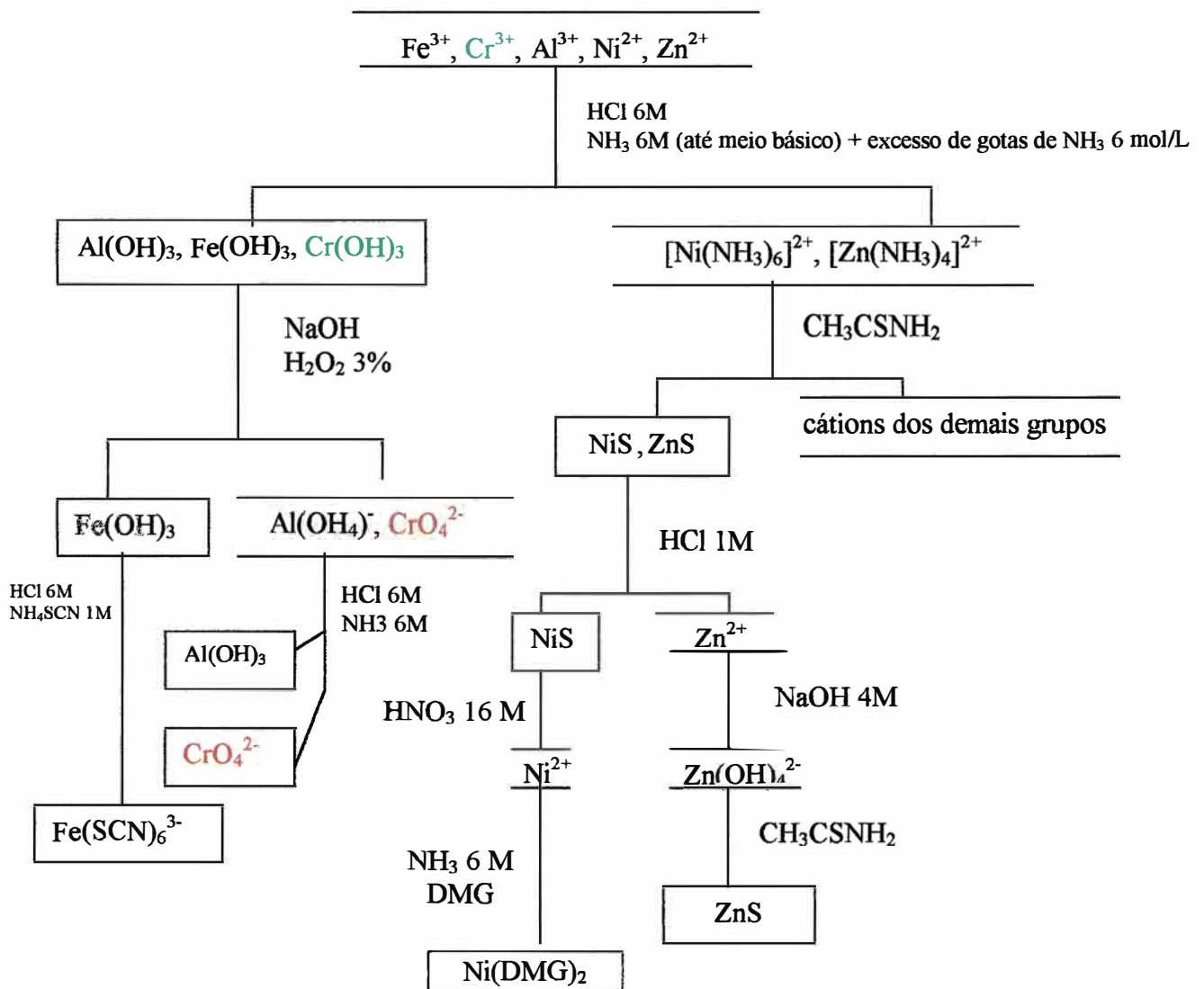
**1- Quanto ao grupo III, as seguintes alterações foram realizadas (Esquema 3):**

a) o  $\text{Cr}^{3+}$  foi eliminado da marcha do grupo III, pois passou a ser estudado no grupo

II no momento em que os alunos tratam o resíduo contendo  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ;

b)  $\text{Co}^{2+}$ ) foi eliminado da marcha do grupo III, pois passou a ser estudado no grupo I, durante a realização do teste de potássio usando cobaltonitrito como agente precipitante.;

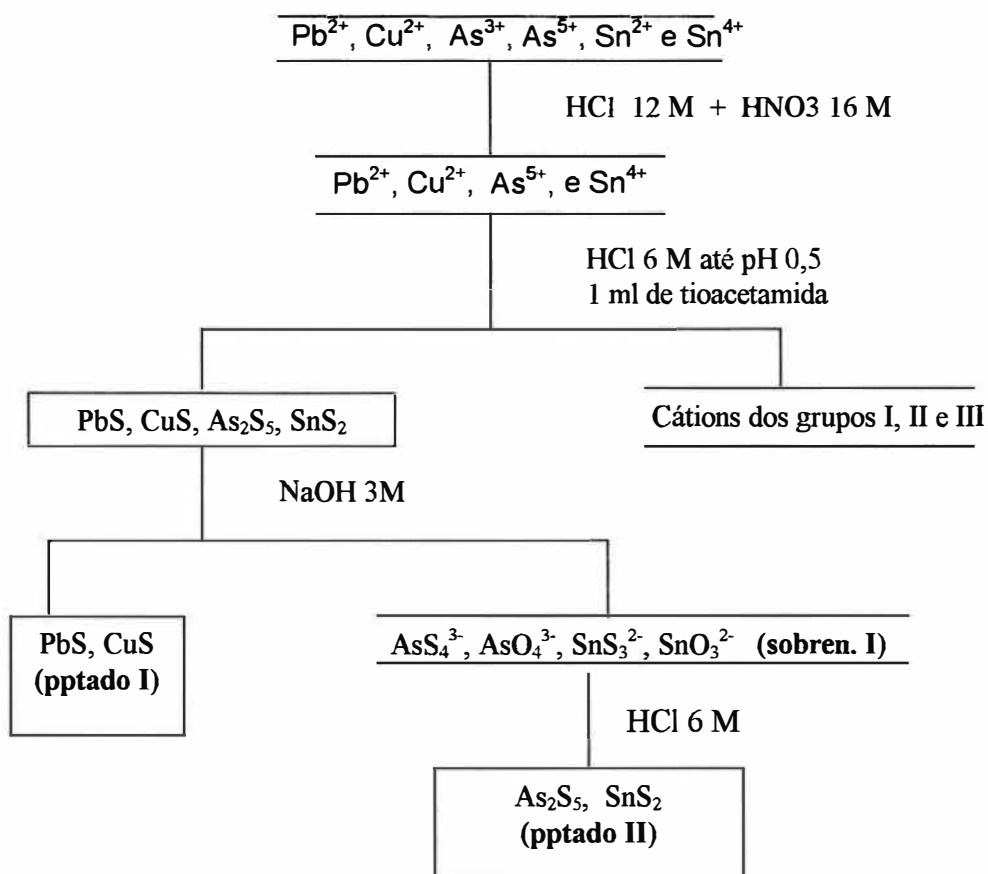
c) o  $\text{Mn}^{2+}$  foi eliminado, pois seu teste de identificação além de usar um sal de metal pesado ( $\text{PbO}_2$ ), produz como resíduo o  $\text{MnO}_4^-$ , que contém  $\text{Mn}^{7+}$ , que é oxidante e cancerígeno. Além disso,  $\text{MnO}_4^-$  é usado no teste do ânion sulfato



OBS: o  $\text{Cr}^{3+}$  foi eliminado do grupo III, este íon está presente no esquema apenas para ilustrar.

Esquema 3: Marcha analítica para o grupo III (após reformulações).

a) o e neste momento já é tratado, ou seja, é reduzido à  $Mn^{2+}$ .

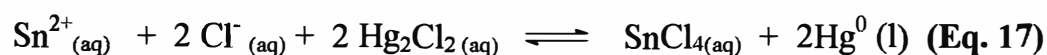
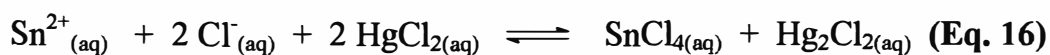


Esquema 4: Marcha analítica para o grupo IV (após reformulações).

2- Quanto ao grupo IV, as seguintes alterações foram realizadas (Esquema 4):

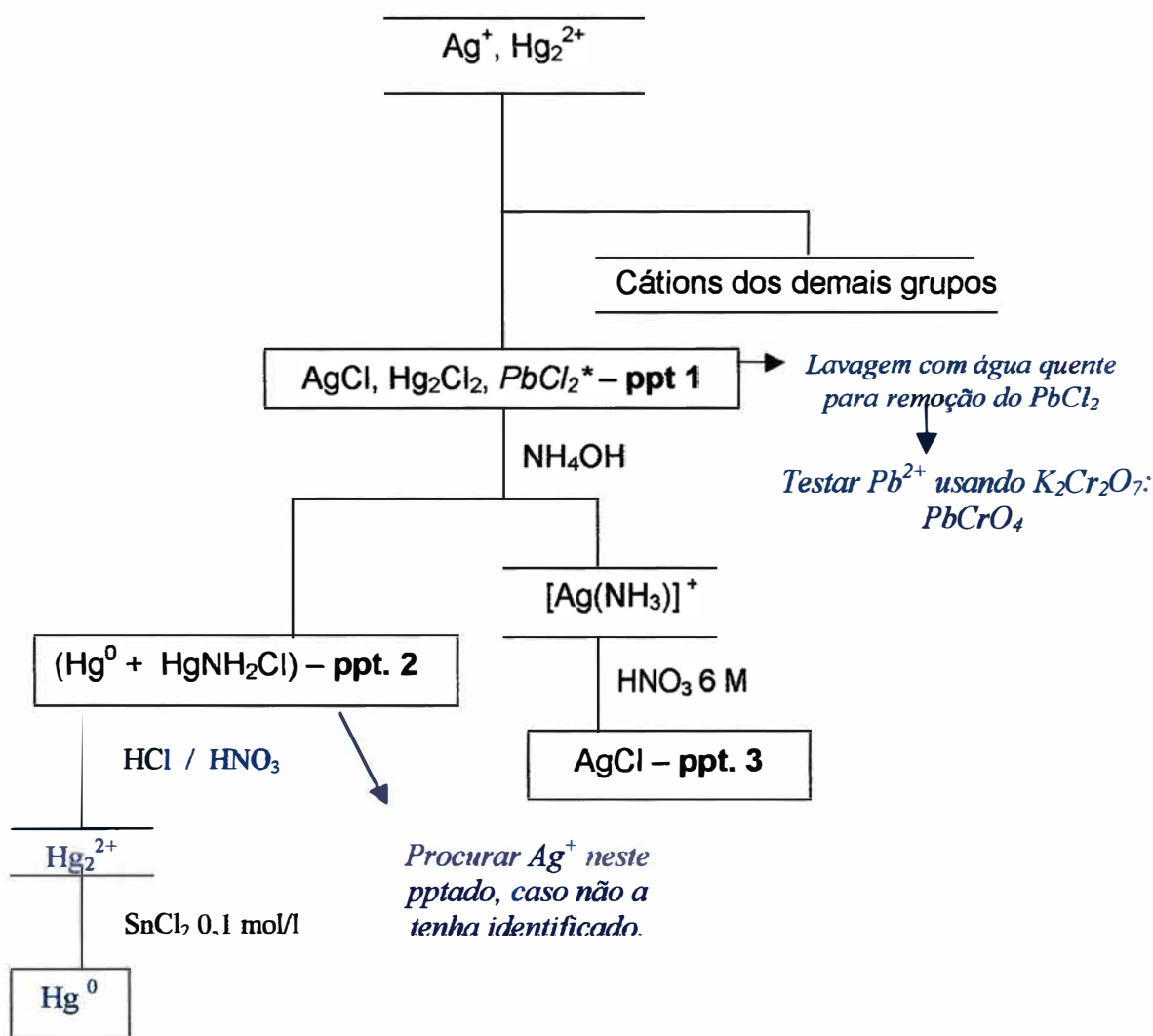
a) O  $Cd^{2+}$  foi eliminado da marcha do grupo IV, uma vez que nitrato de cádmio é usado no teste para o ânion sulfeto ( $S^{2-}$ ).

b) O  $Hg^{2+}$  foi eliminado da marcha do grupo IV, pois este íon já é usado no teste de identificação de  $Sn^{2+}$  e neste momento suas propriedades químicas já podem ser exploradas.



**3- Quanto ao grupo V, as seguintes alterações foram realizadas (Esquema 5):**

a) foi excluído o íon  $Pb^{2+}$ , pois já é estudado no grupo IV. No entanto, a solubilidade do  $PbCl_2$  foi estudada no grupo V durante a aula teórica.



**Esquema 5:** Marcha analítica para o grupo V.

Nos anos anteriores, a maioria dos alunos errava a identificação de As V, obtendo um precipitado branco de  $AgCl$  ao invés do precipitado marrom de  $Ag_2AsO_4$ . Assim, enfatizou-se na apostila produzida, que o precipitado de  $As_2S_5$  deveria ser lavado exaustivamente até teste negativo para  $Cl^-$  na água de lavagem,

antes de adicionar a solução de  $\text{AgNO}_3$ . Desta forma, os alunos não tiveram problemas com esta identificação.

Posteriormente, pretende-se editar o material didático produzido em forma de livro.

### 3.3.3 Inclusão do tema “tratamento de resíduos” na disciplina de QAQ

O tratamento de resíduo é definido como um processo que reduz o volume, a mobilidade ou o potencial tóxico do resíduo. Os processos de tratamento de resíduo são subdivididos em métodos físicos e químicos. Os métodos físicos não mudam a composição do resíduo e envolvem mudanças físicas, por exemplo: i) separação (filtração e destilação), ii) sedimentação e iii) estabilização. Os métodos químicos transformam o resíduo (reagentes) em substâncias (produtos) menos tóxicas e incluem reações de oxi-redução, ácido-base e precipitação [Adams, 1999].

O potencial tóxico dos metais pesados devia ser pesquisado pelos alunos. Antes das aulas experimentais, discutia-se com os alunos, quais resíduos deveriam ser descartados em frascos selecionados no laboratório. A segregação proposta pelos alunos foi:

- sulfetos metálicos
- restos de tioacetamida
- ácidos e bases
- sais de  $\text{Ag}^+$
- sais de  $\text{Hg}_2^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$
- sais de  $\text{Pb}^{2+}$
- sais de  $\text{Bi}^{3+}$
- sais de  $\text{As}^{5+}$

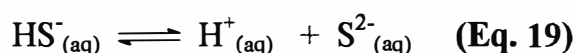
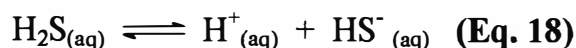
Os conhecimentos adquiridos pelos alunos durante o semestre foram “resgatados” para discussão, por exemplo:

a) Quando a possibilidade de recuperação de um determinado metal pesado (MP) é descartada, o destino final mais adequado passa a ser a inertização, ou seja, a precipitação do metal na forma de um sal bastante insolúvel. Por exemplo, a

inertização do  $\text{Hg}^{2+}$  é comumente feita precipitando o metal como  $\text{HgS}$  ( $K_{ps} = 9 \times 10^{-52}$ ). Discutiu-se porque o  $\text{Hg(OH)}_2$  ( $K_{ps} = 3,0 \times 10^{-26}$ ) não é uma forma adequada, uma vez que possui  $K_{ps}$  maior, podendo disponibilizar o metal pesado mais facilmente para o meio ambiente.

O conceito de  $K_{ps}$  pode ser retomado. Os alunos perceberam que a disponibilização de um íon metálico tóxico depende da constante do produto de solubilidade do respectivo sal inertizado.

Explorando-se os equilíbrios a seguir, os alunos puderam concluir que os sulfetos e a tioacetamida (usada como agente precipitante) não deveriam ser descartados no esgoto, porque qualquer abaixamento de pH poderia deslocar o equilíbrio no sentido de formação de  $\text{H}_2\text{S}$  (tóxico):



Com o intuito de verificar a eficiência das nossas atividades, elaboramos um questionário (a seguir) com 7 questões, o qual foi respondido pelos alunos do curso de QAQ.

---

1- Você acredita ser importante a abordagem de resíduos químicos (metais pesados)

dentro do Curso de QAQ? ---sim ---não

2- Você identificou relação entre os conteúdos vistos na disciplina e o tratamento de resíduos?

Porque? ---sim ---não

3- As informações sobre quais resíduos deviam ser descartados foram suficientes durante as aulas experimentais? Porquê? ---sim ---não

4-No laboratório, durante todas as aulas experimentais, você se preocupou em descartar corretamente o que era solicitado?

5-Qual é seu papel na questão ambiental?

---

6-Enumere os pontos positivos e negativos de todas as atividades que envolveram resíduos

(coleta de material- discussões – práticas)

7-Apresente sugestões e comentários para aperfeiçoamento de nossas atividades.

---

Teve-se que 100% dos alunos disseram que a questão ambiental dentro da disciplina de QAQ é muito importante. 95% dos alunos identificaram relação entre os conteúdos da disciplina e o tratamento de resíduos. 68% dos alunos acreditam que as informações sobre quais resíduos deveriam ser descartados nas aulas experimentais foi suficiente. 91% dos alunos disseram que se preocuparam em descartar adequadamente os resíduos durante as aulas. Apontaram o despertar da consciência ambiental como sendo um ponto positivo e sugeriram que mais aulas e material didático sobre resíduos químicos devessem fazer parte do curso.

### **3.3.4 Estratégias pedagógicas adotadas em QAQ**

O aluno universitário ouve, lê, estuda, anota, faz exercícios e as provas, assiste às aulas. É pouco ativo, pouco participante, quase nada responsável nem responsabilizado por sua aprendizagem” (Masetto, 1991 ). Na tentativa de modificar a situação exposta, alterações com relação às estratégias que vinham sendo adotadas na disciplina foram realizadas.

A apostila de cada aula era entregue com antecedência, para que houvesse tempo para leitura e reflexão. Em anos anteriores, os detalhes da aula prática eram abordados antes desta se realizar. Os alunos se mostravam desinteressados e quase sempre no laboratório era preciso repetir individualmente as informações.

Adotou-se a discussão da aula prática após a realização do experimento e

percebemos que isto foi muito produtivo, porque:

- a) o aluno tendo vivenciado a situação experimental, fica mais motivado para discutir problemas reais que tenham surgido;
- b) o aluno tem oportunidade de desenvolver modelos e hipótese para explicar as observações feitas no laboratório sendo, portanto sujeito ativo no processo de aprendizagem.

Os fundamentos teóricos foram apresentados, somente após a “problematização da prática” feita pelos alunos. O conteúdo foi praticamente, a ferramenta necessária para solucionar o problema prévio.

No currículo de Química desta Faculdade os alunos têm no semestre anterior a disciplina de Química Geral, cujo programa já contempla os princípios de equilíbrio químico. Em QAQ à medida que novos conceitos foram necessários para resolução de um dado problema, estes foram introduzidos. Com esta ação complementamos de forma mais eficaz os conhecimentos adquiridos na Disciplina de Química Geral e observamos que os alunos ficaram mais interessados do que em aulas onde primeiro se aborda a teoria e depois a resolução de problemas.

### **3.3.5 Avaliação do processo de aprendizagem**

Optou-se por avaliar durante o processo de aprendizagem e não apenas nas provas bimestrais. Desta forma, no final de algumas aulas realizamos avaliações curtas, com no máximo duas questões. A correção das avaliações nos deu a oportunidade de realizar o *feedback* com os alunos. Desta forma, estes ficaram mais interessados nas aulas já que seriam avaliados ao final e indiretamente já estavam estudando para as avaliações bimestrais.



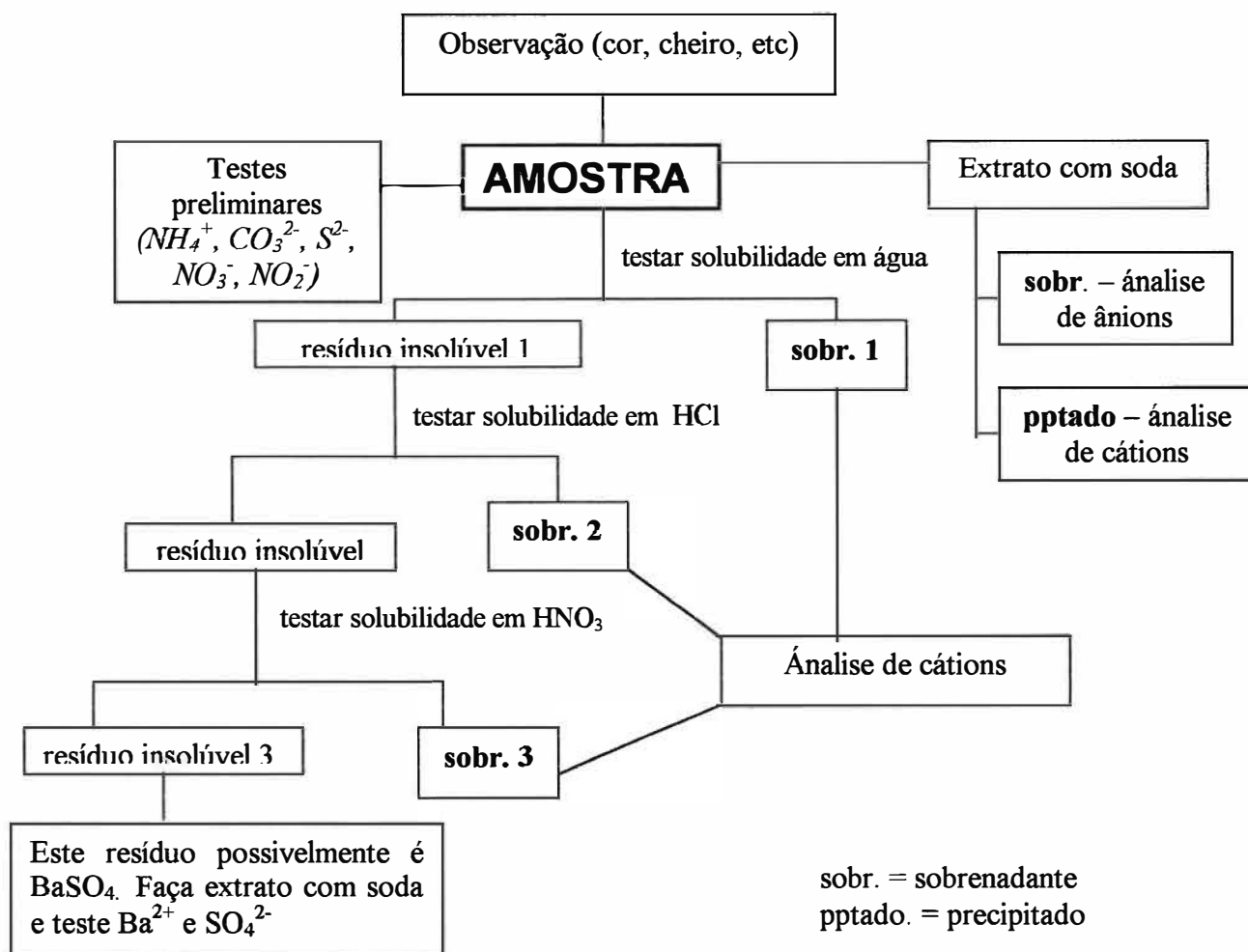
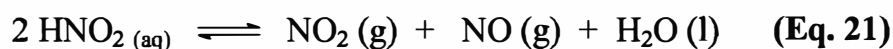
Além disso, como atividade de laboratório, amostras desconhecidas constituídas por misturas de cátions dos grupos I, II, III e ânions mais comuns foram distribuídas individualmente para cada aluno. Esta atividade foi desenvolvida em três períodos de 4 horas por semana. Estes analisaram e identificaram os íons presentes nas amostras. Depois apresentaram e confrontaram seus resultados com a composição original da amostra. Um conjunto de informações deveria ser considerado nestas análises (Esquema 6), por exemplo:

- Aspecto físico e odor característico da amostra: analisando-se a cor das amostras, o aluno poderia levantar hipóteses sobre sua composição, por exemplo, amostras de cor negra poderiam conter sulfetos metálicos, amostras de cor verde poderiam conter  $\text{Ni}^{2+}$  ou  $\text{Cr}^{3+}$ , amostras de coloração amarela poderiam conter sais de ferro.

- Solubilidade em água, HCl e  $\text{HNO}_3$  e reações decorrentes da mistura entre os cátions e ânions presentes (reações de precipitação, decomposição e interferências decorrentes das interações). Por exemplo, considere uma amostra sólida contendo uma mistura de sais solúveis em água, por exemplo,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$  e  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ . Ao tentar dissolver a amostra em água, o aluno deverá obter um precipitado composto por  $\text{BaSO}_4$  e  $\text{NiS}$  formados pela interação entre os íons previamente dissolvidos. O tratamento com  $\text{HNO}_3$  promove a solubilização parcial do precipitado ( $\text{NiS}$ ). A parte insolúvel em  $\text{HNO}_3$  ( $\text{BaSO}_4$ ) deve ser dissolvida utilizando-se extrato com soda.

Quando neste caso o aluno não identifica sulfeto nos testes prévios da amostra, ele pode suspeitar que este íon esteja na forma de  $\text{NiS}$ . O aluno pode

concluir a presença destes íons na amostra, após a solubilização desta com HNO<sub>3</sub>.



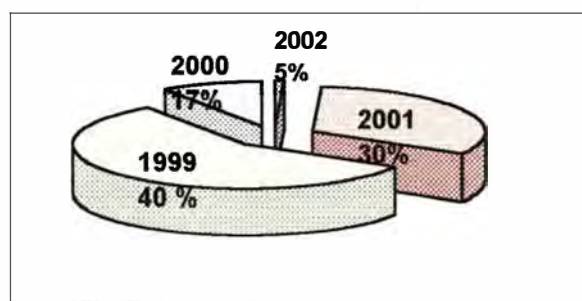
**Esquema 6:** análises a serem feitas com a mostra desconhecida.

Os alunos foram convidados a discutir com os colegas seus erros e acertos. Por exemplo, alguns estudantes tinham em mistura Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e Cl<sup>-</sup>. Contudo, nenhum conseguiu identificar o íon NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Para explicar tal resultado levou-se em consideração a interação que poderia ocorrer entre os íons. Assim, levando-se em

consideração a hidrólise do  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , concluí-se que o meio estando levemente ácido pode ocasionar a decomposição do  $\text{NO}_2^-$ .

A identificação de amostras desconhecidas teve como objetivo desenvolver a iniciativa e autonomia nos alunos, que após realizarem a atividade experimental, deveriam apresentar o resultado para os monitores e docentes, os quais apontavam os acertos e os erros. Oralmente o aluno deveria propor e defender, com base em fundamentos teóricos, explicações e justificativas para os erros. Um relatório completo com todos os aspectos citados também era entregue. Aos poucos, os estudantes demonstravam adquirir uma postura mais segura em suas falas. Esta atividade também contribuiu para que os alunos adquirissem habilidade de defender suas idéias em público.

Observa-se na Figura 1, que o número de alunos que não atingiram o mínimo necessário diminuiu muito de 1999 até 2002, após as modificações feitas na disciplina e a adoção de avaliações curtas constantes.



**Figura 1:** porcentagem de alunos que ficaram com notas abaixo da média (5,0) de 1999 a 2002.

### 3.4 Conclusões

A abordagem do tratamento de resíduos químicos na disciplina de QAQ é conveniente, pois possibilita explorar o potencial tóxico dos íons manipulados e aplicar os conceitos químicos estudados à resolução de um problema real, que é a disposição final de resíduos principalmente, os metais pesados. Além disso, a consciência ambiental pode ser desenvolvida, a medida que os alunos passaram a se preocupar em “como” e “onde” descartar os resíduos produzidos. A contextualização sócio-ambiental dos conceitos químicos favorece a aprendizagem dos alunos.

A redução da carga horária da disciplina de QAQ obrigou que o programa fosse revisto e concluiu-se é possível manter a qualidade de ensino por meio da otimização dos conteúdos. Desta forma, foi possível reduzir o número de íons estudados na prática e ainda incluir, a temática do tratamento de resíduos numa carga horária menor (6h/semana).

**Capítulo 4:**  
**implantação da disciplina**  
**de Resíduos de Metais Pesados**

## 4.1 Introdução

A ciência e a tecnologia têm influência direta nas políticas públicas. Quando decisões sobre escolhas tecnológicas são feitas por pessoas com pouco ou nenhum conhecimento científico, há um grande risco de perda de confiança de instituições governamentais, ou ainda, tais erros podem ocasionar catástrofes [Kimbrough *et al.*, 1995]. Desta forma, um químico bem formado tem um impacto significativo na resolução de problemas referente ao meio ambiente.

A ausência de rotulagem adequada dos resíduos de laboratórios de ensino e pesquisa 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 em 2000 a disciplina: "Resíduos de Metais Pesados gerados nos Laboratórios de Ensino e Pesquisa: Descarte ou Recuperação (RMP)", cujo objetivo era tornar o estudante capaz de definir estratégias adequadas para descarte ou recuperação de resíduos químicos (inorgânicos e orgânicos), bem como incentivar a minimização e eliminação de fontes geradoras de resíduos e ao mesmo tempo, tratar resíduos acumulados no laboratório didático em anos anteriores.

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 aprendizagem [Mansur, 2000]. Desta forma, pretendeu-se estruturar a disciplina de forma multidisciplinar, que possibilitasse ao aluno, aplicar o conhecimento químico prévio desenvolvido durante o curso de graduação na resolução de problemas reais.

A disciplina de RMP é optativa e semestral (4h/semana) correspondendo a 4 créditos. Nos segundos semestres de 2000 e 2001, foi oferecida à 25 alunos. Estes deveriam estar cursando preferencialmente o 6º e 8º semestres, tendo-se em vista o caráter interdisciplinar que era pretendido. Os estudantes no início do curso de graduação (1º e 2º ano) provavelmente não apresentariam conhecimento químico nem maturidade adequada para explorar o problema ambiental. Nesta fase, a disciplina teria apenas caráter informativo e superficial.

#### **4.2 Atividades desenvolvidas na disciplina**

Tal disciplina contou com 30% de atividades de laboratório e 70% de atividades em sala de aula. O livro texto de C. Baird (1997) foi usado para discutir o conteúdo relacionado aos metais pesados Hg, Cd, As e Pb. Ênfase foi dada às propriedades destes metais, ao potencial tóxico e à utilização dos metais em processos industriais ao longo da história e seu impacto ambiental.

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 texto [Baird, 1997]. Depois disso, os estudantes 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 recente [Zamora *et al.*, 1997].

As atividades experimentais da disciplina foram as seguintes:

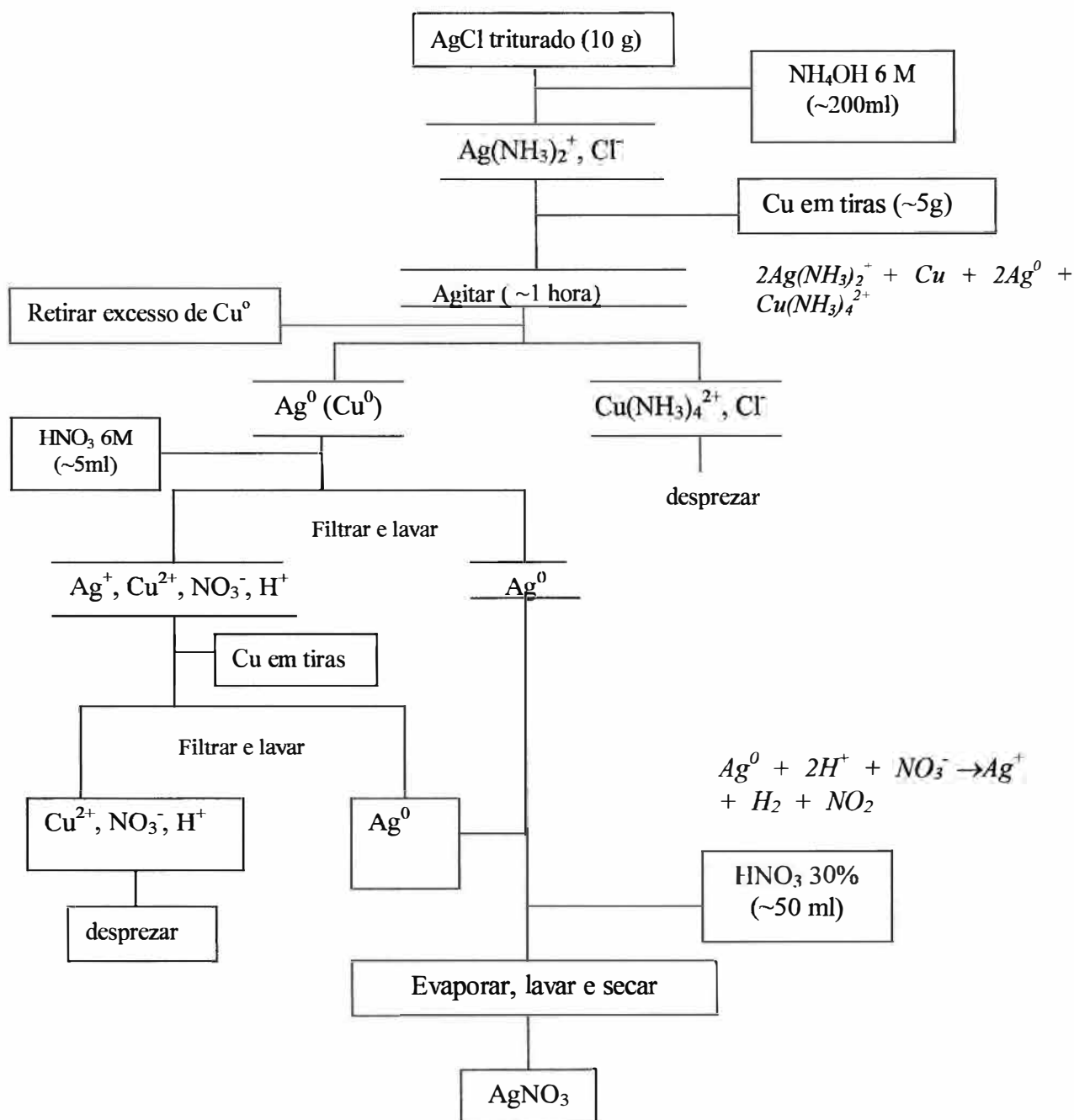
*Caracterização de resíduos líquidos sem identificação que estavam estocados em alguns laboratórios de pesquisa do Departamento de Química (FFCLRP).* Algumas propriedades tais como reatividade em água e ar, teste de inflamabilidade, solubilidade em água, pH, determinação de sulfeto, cianeto e halogênio, caráter oxidante ou redutor foram determinadas de acordo com o artigo de Levine (1986). 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.

*Inertização de  $Hg^{2+}$ :* os sais de mercúrio II foram tratados com sulfeto de sódio em meio básico, tendo-se obtido o HgS [Armour, 1996].

*Tratamento de crômio(VI):* solução contendo  $Cr_2O_7^{2-}$  foi acidificada e posteriormente tratada com solução saturada de bissulfito de sódio, ocorrendo a redução de  $Cr_2O_7^{2-}$  (alaranjado) a  $Cr^{3+}$  (verde). Após a adição de solução de hidróxido de sódio e aquecimento, obteve-se o sal  $Cr(OH)_3$  [Walton, 1987].

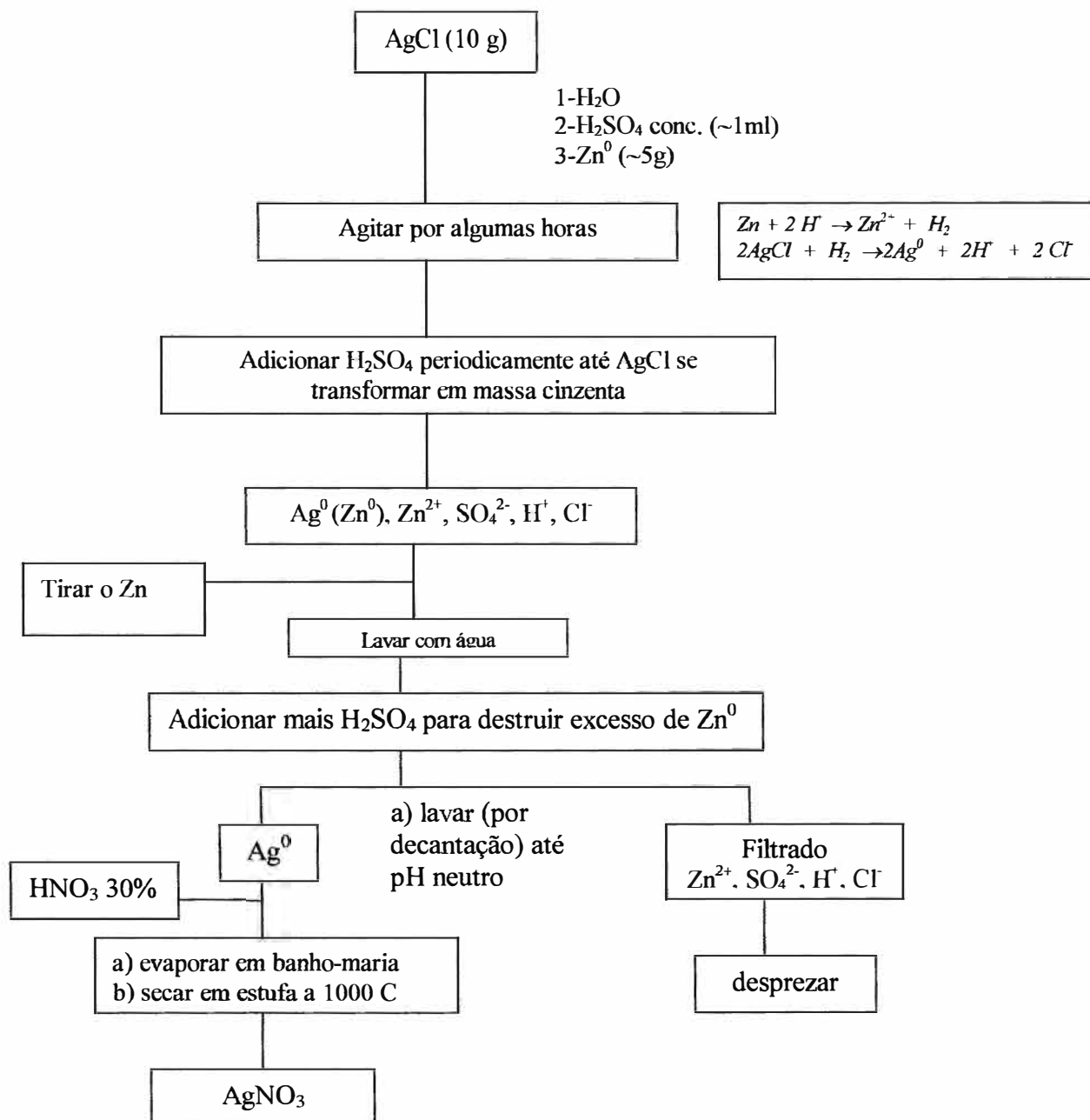
*Recuperação de sais de prata:* dois métodos (A e B) de recuperação de prata descritos na literatura [Oliveira *et al.*, 1983; Foust, 1984] foram testados para se avaliar a viabilidade prática e econômica.





**Esquema 7:** Recuperação de sais de prata pelo Método A [Oliveira *et al.*, 1983].

Método A: consiste na redução da Ag<sup>+</sup> em meio alcalino, usando-se como redutor raspas de cobre. Após tratamento da prata metálica obtida com HNO<sub>3</sub> 30%, obtém-se o AgNO<sub>3</sub> (Esquema 7) [Oliveira *et al.*, 1983].



**Esquema 8:** Recuperação de sais de prata pelo Método B [Faust, 1984].

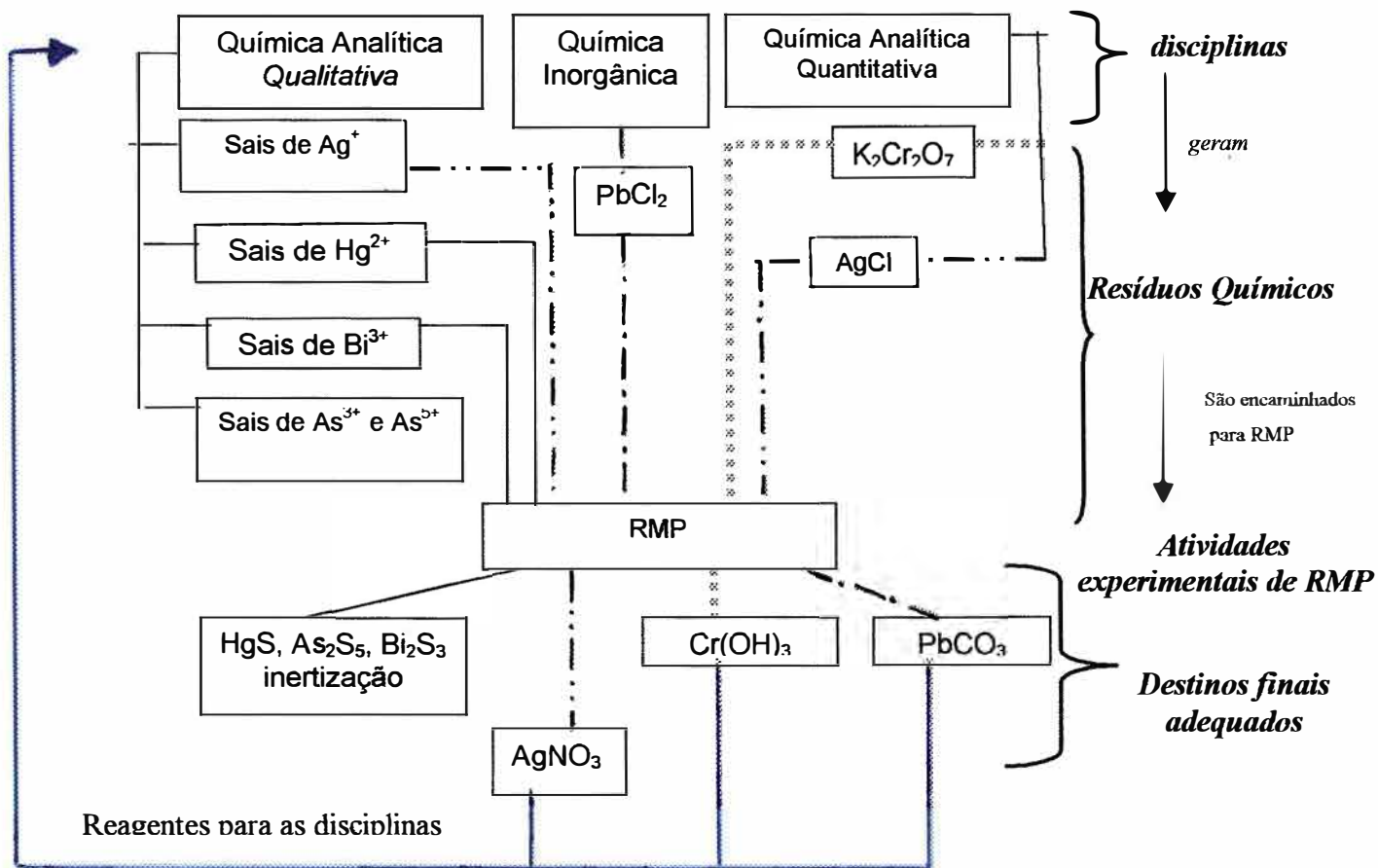
Método B: consiste na redução da Ag<sup>+</sup> utilizando zinco metálico como redutor em meio ácido. O excesso de Zn é retirado após lavagem da Ag com solução de

$\text{H}_2\text{SO}_4$  25%. A lavagem com água, até pH neutro, garante a remoção de todo  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . O tratamento da prata metálica obtida com  $\text{HNO}_3$  30% permite a obtenção da  $\text{AgNO}_3$  (Esquema 8) [Foust, 1984].

Os sais de prata gerados nos laboratórios de ensino foram recuperados, de acordo com metodologia proposta inicialmente por Foust (1984) com algumas modificações.

### 4.3 Andamento do curso

No início do curso foram selecionadas notícias de jornal sobre catástrofes ambientais devido à disposição incorreta de resíduos químicos. A classe foi dividida em grupos e cada grupo deveria discutir a responsabilidade de um dos envolvidos (a indústria, o químico, o governo, o morador que foi contaminado, etc) na notícia. Após as argumentações defendidas pelos estudantes, era possível perceber que todos os segmentos da notícia tinham sua parcela de responsabilidade. Neste momento, os princípios básicos de tratamento de resíduos [Jardim, 1998; Cunha, 2001] eram abordados. Os experimentos propostos na disciplina tiveram como objetivo dar destino adequado para alguns resíduos químicos gerados no Departamento de Química da Instituição (Esquema 9).



**Esquema 9.** Fluxograma dos destinos finais propostos para alguns dos resíduos inorgânicos gerados nos laboratórios de ensino

#### 4.3.1 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.* (1986), 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 propõe 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, cicloexanona, 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 RMP [Levine, 1986]. Os estudantes apresentaram soluções para o problema de descarte. Concluiu-se que o resíduo coletado nos últimos semestres (~40 l) não poderia ser descartado na 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, em condições diluídas, se os estudantes tivessem sido orientados adequadamente durante as aulas experimentais, prevenindo desta forma, a geração de um grande volume de resíduos. A legislação (Conselho Nacional do Meio Ambiente - Brasil - CONAMA 20/86) e manuais sobre segurança química 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.

### 4.3.2 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 [Jardim, 1998; Baird, 1997].

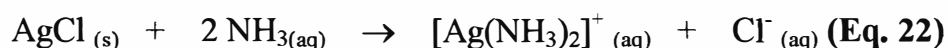
A disposição para alguns resíduos gerados nas disciplinas de Química Analítica Qualitativa e Quantitativa, e Química Inorgânica foram propostos (Esquema 9).

Sais de  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{As}^{5+}$  e  $\text{Bi}^{3+}$  gerados na disciplina de Química Analítica Qualitativa foram inertizados, sendo precipitados na forma de sulfetos [Armour, 1996]. O resíduo de cloreto de chumbo gerado em Química Inorgânica foi submetido ao extrato com soda [Baccan *et al.*, 1994] e obteve-se o  $\text{PbCO}_3$ , que é reagente para a própria disciplina. Além disso, os reagentes  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  e  $\text{AgNO}_3$  foram obtidos após o tratamento de resíduos de  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  e  $\text{Ag}^+$  [Armour, 1996; Faust, 1984], gerados na disciplina de Química Analítica Quantitativa.

A recuperação da prata é economicamente viável e adequada porque o sal  $\text{AgNO}_3$  é um reagente que pode ser usado em outras disciplinas. Há alguns anos o resíduo de  $\text{AgCl}$  gerado em aulas experimentais vem sendo armazenado.

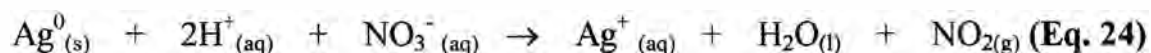
Uma conclusão óbvia é que a recuperação da prata é economicamente viável. Testes foram feitos com o objetivo de avaliar o método de recuperação de sais de prata mais viável para as condições do curso de RMP. A recuperação na forma de  $\text{AgNO}_3$  é adequada, pois este é reagente usado para vários experimentos.

Método A (Oliveira *et al.*, 1983): este método usa cobre metálico como redutor e na primeira etapa a  $\text{Ag}^+$  é complexada pela amônia. Numa segunda etapa, a prata é reduzida à  $\text{Ag}^0$  e o  $\text{Cu}^0$  vai para a solução na forma de amincomplexo (Esquema 6, página 80).



Foram necessárias aproximadamente 17 h para reduzir toda  $\text{Ag}^+$  à  $\text{Ag}^0$ . A lavagem da  $\text{Ag}^0$  com água foi bastante demorada, uma vez que a decantação desta era lenta. Além disso, no processo de lavagem ocorreu a formação de  $\text{CuO}$ , ao deixar a  $\text{Ag}^0$  em contato com  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  e água.

A prata metálica é oxidada em excesso de  $\text{HNO}_3$ , ocorrendo a geração de gás  $\text{NO}_2$ .



Após a saturação da solução, os cristais de  $\text{AgNO}_3$  foram obtidos. Resíduos de prata solúveis em amônia, como o cloreto, cromato e o tiocianato de prata, assim como o óxido de prata, podem ser tratados usando-se este método. Devido à natureza explosiva do  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ , o procedimento deve ser executado com cuidado e com quantidades de, no máximo, 20 g de  $\text{AgCl}$ .

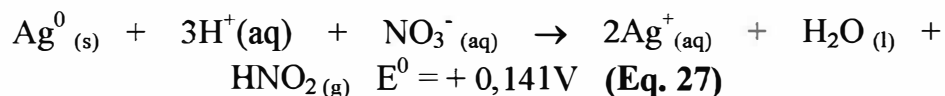
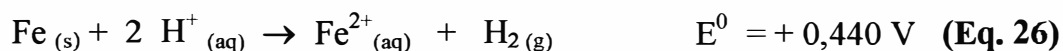
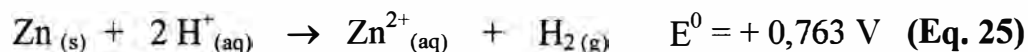
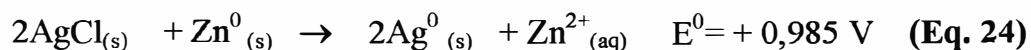
Método B [Foust, 1984]: consiste em reduzir a prata do  $\text{AgCl}$  com zinco metálico em meio de ácido sulfúrico (Esquema 7, página 81). A redução de toda  $\text{Ag}^+$  em solução à  $\text{Ag}^0$  foi feita em apenas 1 h. A lavagem da  $\text{Ag}^0$  com ácido sulfúrico 25% foi relativamente rápida (~ 2 h) e garantiu a remoção do excesso de zinco e possível traço de ferro (contaminante).

A prata que se separa pode ser então dissolvida em  $\text{HNO}_3$  e cristalizada como  $\text{AgNO}_3$ .

A lavagem por decantação da prata metálica com água até pH neutro antes da adição de  $\text{HNO}_3$  é uma etapa importante para eliminar íons  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{H}^+$ .

Conclui-se, a partir dos testes realizados, que o método B é o mais indicado para recuperar prata nos laboratórios didáticos. Assim, este foi o método proposto aos alunos da disciplina de RMP. O método A apesar de apresentar um rendimento um pouco maior (~80%) que o método B (~76%), como destacamos anteriormente, as etapas de redução do íon  $\text{Ag}^+$ , e da lavagem da prata foram muito demoradas além da forma  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  apresentar riscos de explosão.

Discutiu-se com os estudantes as etapas do procedimento baseando-se nas seguintes reações:



Os potenciais das reações foram calculados pelos estudantes e apresentados no relatório. Pode-se retomar princípios de reações redox estudados nos primeiros anos de graduação.

Este experimento requereu o uso de luvas e a limpeza das bancadas com solução de hipoclorito de sódio logo após o a aula para prevenir manchas na pele provocadas por  $\text{Ag}^+$ . Usamos com sucesso o método que consiste de uma solução



aquosa 10% de KI e 2% de iodo e solução 0,5M de tiosulfato de sódio [Oliveira *et al.*, 1983].

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

- As leis permitem o descarte de  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  e  $\text{Hg}_2^{2+}$  no esgoto?
- *Qual é o melhor destino para estes cátions, descarte ou recuperação? A relação custo/benefício recomenda a recuperação ou a inertização?*

#### 4.3.3 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.

#### 4.4.4 Multidisciplinaridade

Foi possível promover a multidisciplinaridade, como pode ser visto na discussão sobre  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  e  $\text{Cr}^{3+}$ , onde vários aspectos puderam ser explorados [Baird, 1997; Gray *et al.*, 1994]:

- comparação entre a química do ferro e do cromo, conceitos sobre labilidade cinética (Química Inorgânica);
- transporte de íons através da membrana celular,  $\text{Cr}^{3+}$  liga-se a pequenas moléculas, proteínas e DNA, danificando estes componentes celulares através de processos oxidativos (Bioquímica);
- hidrólise de  $\text{Cr}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  em solução aquosa, formação e solubilidade dos respectivos hidróxidos metálicos (Química Analítica).

Um outro exemplo de multidisciplinaridade é dado pela discussão sobre o chumbo<sup>3</sup>:

- utilização de chumbo desde a civilização Romana (História);
- o depósito de  $\text{Pb}^{2+}$  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).

#### 4.3.5 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, o daquela aula. Desta forma, pode-se retomar um dado conteúdo sempre que os alunos não tiverem compreendido corretamente, realizando-se assim uma avaliação diagnóstica e não meramente verificativa.

#### 4.4 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.*

# Considerações finais

## 5. Considerações finais

O apoio Institucional e a pronta colaboração dos professores responsáveis por disciplinas experimentais no Departamento de Química da FFCLRP/USP foram essenciais para a aplicação dos questionários para o inventário dos tipos e quantidades de resíduos químicos. Numa análise final, constatou-se que o segundo questionário (página 34) mostrou-se mais objetivo e, portanto, mais fácil de ser preenchido. Esta atividade contribuiu de forma decisiva para a elaboração do Projeto de Gerenciamento de Resíduos, que se encontra em fase inicial de implantação e é financiado atualmente pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Os resultados dos inventários prévios nos laboratórios de ensino mostraram que um aluno do curso diurno de química gera durante a sua graduação menos resíduos sólidos (~5,0 g) se comparado, por exemplo, com um aluno da UNICAMP (~11 kg) [Micaroni, 2001]. Provavelmente isto se deve à minimização adotada nos últimos anos e a experimentos realizados em grupo.

O material didático produzido na disciplina de Química Analítica Qualitativa (QAQ) procurou fazer com que o aluno passasse da posição de expectador [Masetto, 1998] para a de ator principal do processo de ensino-aprendizagem. A redução da carga horária da disciplina vista inicialmente, como um problema, mostrou que é possível trabalhar com qualidade num “tempo menor”, desde que o programa da disciplina seja revisto e os “excessos e repetições” sejam suprimidos. A disciplina de QAQ foi analisada e reformulada com a intenção de introduzir ações que promovessem a educação ambiental. Dentro de uma proposta educativa, a disciplina de QAQ abordou o tratamento

(QAQ) despertar nos alunos a consciência da preservação ambiental. Reduziu-se o número de íons estudados nas aulas práticas com relação ao que se estudava tradicionalmente [Baccan *et al.*, 1994; Vogel, 1981], adotando como principal motivo para a exclusão de um íon, seu potencial tóxico. Quando o estudo de um determinado íon de elevado potencial tóxico foi considerado relevante, manteve-se este na marcha analítica e inseriu-se procedimentos de tratamento dos resíduos gerados nas aulas. Foram também eliminados de seus grupos tradicionais, aqueles cátions que seriam utilizados como reagentes em experimentos posteriores. Por exemplo,  $\text{Cd}^{2+}$  e  $\text{Hg}^{2+}$  foram eliminados do grupo IV; porém, suas propriedades químicas foram discutidas, no momento em que se utilizava os reagentes destes cátions, nos testes para  $\text{S}^{2-}$  e  $\text{Sn}^{2+}$ , respectivamente. Assim, evitou-se a duplicação dos resíduos gerados. Adotou-se a discussão da aula prática após a realização do experimento. A abordagem dos fundamentos teóricos somente após a “problematização da prática”, fez com que o conteúdo fosse a ferramenta necessária para solucionar um problema prévio. A atividade de identificação de amostras desconhecidas desenvolveu a iniciativa e autonomia nos alunos, os quais deveriam, oralmente, propor e defender, com base em fundamentos teóricos, explicações e justificativas para os erros. Esta atividade contribuiu para que os alunos adquirissem habilidade de defender suas idéias em público.

Do total de alunos matriculados (40) na disciplina em 2002, apenas 5% não compreenderam o mínimo necessário dos conteúdos trabalhados, tendo um desempenho insatisfatório. Comparando-se com a porcentagem de alunos (baixo desempenho) em anos anteriores (40% em 1999, 17% em 2000 e 30% em 2001),

concluiu-se que as estratégias utilizadas, assim como o material didático, foi muito importante para a melhoria do processo de aprendizagem na disciplina.

A compreensão e a responsabilidade ambiental puderam ser trabalhadas com os estudantes, que começaram a se preocupar com "o que fazer" com o resíduo gerado por eles. Queriam saber onde descartar. A postura de "jogar tudo na pia", aos poucos, pôde ser visivelmente modificada.

Na disciplina de Resíduos de Metais Pesados (RMP), os estudantes foram preparados para analisar criticamente um problema ambiental, transferindo o conhecimento adquirido nos primeiros anos do curso de graduação para apresentar soluções que minimizassem o impacto ambiental dos resíduos químicos. Apesar de entender que a questão ambiental deva permear todas as disciplinas, as atividades desenvolvidas mostraram que 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 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 e correspondendo às atuais Diretrizes Curriculares para os Cursos de Química.



Esta disciplina recebeu o nome de Tratamento de Resíduos Químicos, pois além dos metais pesados, os resíduos orgânicos foram incluídos no programa. Pretende-se que a disciplina atue de forma colaborativa com o Laboratório de Resíduos Químicos do Campus da USP Ribeirão Preto, uma vez que os objetivos de redução e tratamento de resíduos são comuns e o aspecto educativo é fundamental para o alcance das metas.

# **Bibliografia e referências adicionais**

## 6. Bibliografia

- ADAMS, D.L. *Issues – directed chemistry: teaching chemical reactions using waste treatment*. J. Chem. Educ. 76 (8), 1999, 1088-1091.
- ANASTAS, P.T.; KIRCHHOFF, M.M. *Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry*. Acc. Chem. Res. 35, 2002, 686-694.
- ARMOUR, M. A.; *Hazardous Laboratory Chemicals Disposal Guide*, Lewis Publishers: USA, 1996.
- ARMOUR, M.A.; BROWNE, L.M.; WEIR, G.L. *Tested disposal methods for chemical wastes from academic laboratories*. J. Chem. Educ. 62 (3), 1985, A 93.
- Artigo 225 da Constituição Federal Brasileira de 1988.
- BAIRD, C.; *Environmental Chemistry*, W.H. Freeman and Company: USA, 1997, chap. 9.
- BACCAN, N.; ALEIXO, L.M.; STEIN, E.; GODINHO, O.E.S. *Introdução à Semimicroanálise Qualitativa*. Campinas: Editora da Unicamp, 1994.
- BARNETT, E.L. and S.M.; RAY, B. *Pollution Prevention Guideline for Academic Laboratories*. J. Chem. Educ. 80(1), 2003, 45-49.
- BARROS, S. *Educação Ambiental no CEFET – RJ: um diagnóstico*. Dissertação apresentada à Universidade federal do Rio de Janeiro, 1992.
- BENDASSOLLI, J.A.; MÁXIMO, E.; TAVARES, G.A. IGNOTO, R.F. *Gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas no laboratório de isótopos estáveis do CENA/USP*. Quím. Nova. 26 (4), 2003, 612-617.
- CANN, M.C. *Bringing State-of-the-Art, Applied, Novel Green Chemistry to the Classroom by Employing the Presidential Green Chemistry Challenge Awards*. J. Chem. Educ. 1999, 76, 1639.
- COLLINS, T.J. *Introducing Green Chemistry in Teaching and Research*. J. Chem. Educ. 1995, 72, 96.
- CNUMAD (*Subsídios técnicos para a elaboração do relatório nacional do Brasil, para Conferência das Nações Unidas, para o Meio Ambiente e Desenvolvimento*). Brasília, 1991.
- CUNHA, C.J. *O Programa de Gerenciamento de Resíduos Laboratoriais do Departamento de Química da UFPR*, Quím. Nova. 24 (3), 2001, 424.

Decreto no 3179 de 21 de setembro de 1999.

DIAS, L.S. de M. *Interdisciplinaridade em tempo de diálogo in Práticas interdisciplinares na escola*. Editora Cortez. São Paulo, 1991.

*Diretrizes Curriculares para Ensino Superior de Química (1996), elaborada pela Comissão de Especialistas de Ensino de Química*, designada pelo Secretário de Ensino Superior do Ministério da Educação e do Desporto através da Portaria 146 de 10 março de 1998.

FOUST, D. *Recovery of silver and cobalt from laboratory wastes* J. Chem. Educ. 61, 1984, 924.

FAZENDA, I.C.A. *Novos Enfoques da Pesquisa Educacional*. Cortez, São Paulo, 1992.

GANNAWAY, S.P. *Chemical Handling and Waste Disposal Issues at Liberal Arts Colleges*. J. Chem. Educ. 67, 1990, , A183.

GRAY, H. B., BERTINI, I.; LIPPARD, S. J.; VALENTINE, J. S.; *Bioinorganic Chemistry*. University Science Books: USA, 1994.

*HANDBOOK OF CHEMICAL AND ENVIRONMENTAL SAFETY IN SCHOOLS AND COLLEGES*, the Forum for Scientific Excellence, Inc., 1990.

HATFIELD, T.H. and OTT, D.H. *Measuring Source Reduction of Laboratory Hazardous Wastes*. J. Environ. Health. 56, 1993, 7.

HIRATA, M.H.; FILHO, J.M.F. *Manual de Biossegurança*. São Paulo: Manole, 2002.

HJERESSEN, D.L.; SCHUTT, D.L.;BOESE, J.M. *Green Chemistry and Education*. J. Chem. Educ. 77, 2000, 1543.

HOGAN, D. J. *A questão ambiental e os cursos de graduação in IV Seminário Nacional sobre Universidade e Meio Ambiente*. IBAMA/UFSC, Florianópolis, 1990.

JARDIM, W.F. *Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa*. Quím. Nova. 21 (5), 1998, 671.

KARGER, B.L. *Whither Analytical Chemistry?* Anal. Chem. 72 (3), 2000, 85 A.

KIMBROUGH, D.R.; DYCKES, D.F.; MLADY, G.W. *Teaching Science and public policy through role playing*. J. Chem. Educ. 72 (4), 1985, 295-296.

KOURGANOFF, W. *A face oculta da universidade*. São Paulo: Editora UNESP, 1990.

Lei no 6938 de 31 de agosto de 1981.

Lei no 9605 de 12 de fevereiro de 1998.

Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999.

LENARDÃO, E.J.; FREITAG, R.A.; DABDOUB, M.J.; BATISTA, A.C.; SILVEIRA, C.C. *Green Chemistry – os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa*. Quím. Nova 26 (1), **2003**, 123-129.

LEVINE, S. P.; CHANG, J. C.; SIMMONS, M. S. *A laboratory exercise for compatibility testing of hazardous wastes in an environmental analysis course*. J. Chem. Educ. 63, **1986**, 640.

MANSUR, O. C.; MORETTO, R. A.. *Aprendendo a Ensinar*. Elevação: São Paulo, **2000**.

MASETTO, M. T. *Em sala de aula de terceiro grau, ainda se aprende*. Tese de Livre Docência, Faculdade de Educação/USP, **1991**.

MASETTO, M.T. *Docência na Universidade*. Campinas: Papirus, **1998**, 27-38.

MEDINA, N.M.; SANTOS, E.C. *Educação Ambiental: uma metodologia participativa de formação*. 2ª. edição. São Paulo: Editora Vozes, **1999**.

MENEZES, N.; VIVEIROS, M. *Folha de São Paulo*, São Paulo, **2000** (23/03/2000); caderno 3, pág. 12.

MICARONI, R.C. *Gestão de Resíduos em laboratórios do Instituto de Química da UNICAMP*. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da UNICAMP, **2001**.

MICARONI, R.C. C.M.; BUENO, S.; JARDIM, W. *Redução da escala como instrumento auxiliar na minimização de resíduos químicos de laboratório de ensino*. Livro de Resumos da XXIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, volume 3, resumo ED-066, **2000**.

MICARONI, R.C. C.M.; BUENO, S.; JARDIM, W. *Gestão de resíduos em laboratórios de ensino do Instituto de Química da UNICAMP*. Livro de resumos da XXIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, volume 3, resumo AB-001, **2000**.

NASH, J.J.; MEYER, J.A.R.; NURRENBERN, S.C. J. Chem. Educ. 73, **1996**, 1183-1185.

OLIVEIRA, D.; UCHIMI, F.; BEZERRA, S.; KUYA, M.K. *Métodos de Recuperação e Reciclagem de prata de Rejeitos de Laboratórios*. Monografia apresentada ao Instituto de Química da USP em 1983.

PEDRINI, A.G. *Educação Ambiental: reflexões e práticas contemporâneas*. 4<sup>a</sup>. edição. São Paulo: Editora Vozes, 1997.

PENTEADO, H. *Meio Ambiente e Formação de Professores*. São Paulo: Cortez, 1994.

SATO, M. Educação Ambiental. São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PG-ERN/UFSCar), 1997.

SENISE, E.E.A. *Quím. Nova*. 5, 1982 , 137.

SINGH, M.M.; SZAFRAN, Z. PIKE, R.M. *Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies*. *J. Chem. Educ.* 76, 1999, 1684.

SORRENTINO, M. *Educação Ambiental e Universidade: um estudo de caso*. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação -USP, 1995.

TAUBE, H. *Chem. Eng. News*. 62, 1984.

THOMPSON, G. R.; *Handbook of chemical and environmental safety in schools and colleges*, The Forum for Scientific Excellence, Inc : USA, 1990.

VOGEL, A. *Química Analítica Qualitativa*. São Paulo: Mestre Jou, 1981.

WISMER, R. K.; *Qualitative Analysis with Ionic Equilibrium*. Macmillan Publishing Company: United States of America, 1991 , 200.

WALTON, W.A. *Chemical Wastes in Academic labs*. *J. Chem. Educ.*, 64 (3), 1987, A-69.

ZAMORA, P. P.; ESPOSITO, E. ; DURÃN, N.; *Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas*. *Quim. Nova*. 23 (4), 2000, 504-511.

## 6.1 Referências adicionais

CARVALHO, P.R. *Boas Práticas Químicas em Biossegurança*. Rio de Janeiro: Interciência, 1999.

- CHENG, V.K.W. *An environmental chemistry curriculum using case studies.* J. Chem. Educ. 72(6), 1995, 525-527.
- CUSUMANO, J.A. *Environmentally sustainable growth in the 21 st century.* J. Chem. Educ. 72(11), 1995, 959-964.
- HILL, R.H.; Getting safety into the chemistry curriculum. Chemical health & safety, 2003.
- HÜTTENHAIN, S.H.; GUTIERREZ-MARTIN, F. Environmental educations: new paradigmas and engineering syllabus. J. Cleaner Produc., 11, 2003, 247-251.
- JUHL,L.; YEARSLEY, K.; SILVA, A. *Interdisciplinary project-based learning through an environmental water quality study.* J. Chem. Educ. 74(12), 1997, 1431-1433.
- KVITTINGEN, L.; LYKKNES, A. *Arsenic: not so evil after all?* J. Chem. Educ. 80(5), 2003, 497-500.
- LEVY, G.C. *Social and Legal aspects of Chemistry.* J. Chem. Educ. 72(4), 1995 , 289-294.
- LIBBY,R.D. *Piaget and Organic Chemistry: teaching introductory organic chemistry through learning cycles.* J. Chem. Educ. 72 (7), 1995, 626-631.
- OCHIAI, Ei-Ichiro. *Toxicity of heavy metals and biological defense: principles and applications in bioinorganic chemistry-VII.* J. Chem. Educ. 72(6), 1995, 479-484.
- RONDINI, J.A.; FEIGHAN, J.A. *An environmental science project on solid pollution.* J.Chem. Educ. 61(8), 1984, 740-741.
- SIMÕES, M; DOMINGUES, P. *Guia de Segurança.* Aveiro: Universidade de Aveiro, 2002.
- SPIRO, T.G.; SWAN, J.A. *Context in chemistry: integrating environmental chemistry with the chemistry curriculum.* J. Chem. Educ. 72(11), 1995, 967-970.
- STADTHERR, M.A.; BRENNECKE, J.F. *A course in environmentally conscious chemical process engineering.* Computers and chemical engineering, 26, 2002, 307-318.
- YODER, C.H.; HESS, K.R.; LEBER, P.A; HARLE, D.H. *A concept-based environmental project for the first-year laboratory: remediation of barium-contaminated soil by in situ immobilization.* J. Chem. Educ. 80(5), 2003, 561-562.

# **ANEXO 1**



## Gerenciamento de resíduos químicos

### Normas Gerais

#### 1. DEFINIÇÕES

- **Resíduos** são materiais considerados sem utilidade por seu possuidor.
- **Resíduo perigoso:** material (substância ou mistura de substâncias) com potencial de causar danos a organismos vivos, materiais, estruturas ou ao meio ambiente; ou ainda, que pode tornar-se perigosa por interação com outros materiais
- **Danos:** explosão, fogo, corrosão, toxicidade a organismos ou outros efeitos deletérios.

Em laboratórios químicos os resíduos perigosos mais usuais compreendem:

- . solventes orgânicos
- . resíduos de reações
- . reagentes contaminados, degradados ou fora do prazo de validade
- . soluções-padrão
- . fases móveis de cromatografia

#### II. HIERARQUIA NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS EM LABORATÓRIOS:

1. **Inventário:** O responsável pelo laboratório deve elaborar um inventário com os resíduos existentes (composição e quantidade) naquele local. Uma lista contendo uma estimativa da geração de resíduos (quantidade/mês ou ano), também é muito importante.
2. **Minimização:**
  - Substituição de substâncias perigosas por outras; ou mudança de processos. Devem ser adotadas sempre que possível
  - Minimização/redução: procedimentos de re-utilização, recuperação e tratamento. Redução na quantidade/freqüência de utilização de substâncias/materiais perigosos
3. **Segregação de resíduos perigosos**  
Definição de grupos de resíduos: deverão ser definidos considerando-se, além das peculiaridades do inventário, às características físico-químicas, periculosidade, compatibilidade e o destino final dos resíduos
4. **Tratamento e/ou destruição de resíduos no laboratório**
5. **Destinação final efetuada por empresas especializadas**

Nesta primeira versão deste documento, abordaremos apenas aspectos da segregação, do armazenamento e do tratamento/destruição de resíduos em laboratório.

**III. RESÍDUOS QUE PODEM SER DESCARTADOS DIRETAMENTE NA PIA OU****LIXO**

- Em geral, podem ser descartados diretamente na pia (após diluição-100x e sob água corrente) os compostos solúveis em água (pelo menos 0,1g ou 0,1ml/3 ml de água) e com baixa toxicidade. Para os orgânicos é preciso que também sejam facilmente biodegradáveis. Quantidade máxima recomendável: 100 g ou 100 ml.
- Compostos com PE <50°C não devem ser descartados na pia, mesmo que extremamente solúveis em água e pouco tóxicos
- Misturas contendo compostos pouco solúveis em água, em concentrações abaixo de 2% podem ser descartadas na pia

**Alguns compostos que podem ser descartados diretamente na pia:****ATENÇÃO:**

- Considerar sempre a toxicidade (aguda e crônica), inflamabilidade e reatividade, além da quantidade e concentração, obviamente
- Compostos com características ácido-base pronunciadas (pH < 6 ou pH > 8) deverão ser neutralizados antes do descarte
- Compostos com odor forte devem ser neutralizados/destruídos, diluídos pelo menos 1000 vezes com água e depois descartados sob água corrente

**Orgânicos**

- Álcoois com menos de 5 carbonos
- Dióis com menos de 8 carbonos
- Glicerol
- açúcares
- Aldeídos alifáticos com menos de 7 carbonos
- Amidas : RCONH<sub>2</sub> e RCONHR c/ menos de 5 carbonos
- RCONR<sub>2</sub> c/ menos de 11 carbonos
- Aminas alifáticas com menos de 7 carbonos

- Ácidos carboxílicos com menos de 6 carbonos e seus sais de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>
- Ésteres com menos de 5 carbonos
- Cetonas com menos de 6 carbonos

**Inorgânicos**

- Cátions: Al(III), Ca(II), Cu(II), Fe(II), Fe(III), Li(I), Mg(II), Na(I), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Sn(II), Sr(II), Zn(II), Zr (II)
- Ânions: BO<sub>3</sub><sup>3-</sup>, B<sub>4</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>, Br<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SCN<sup>-</sup>, SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, OCN<sup>-</sup>

**Materiais assemelhados a resíduos domésticos**

- Compostos com DL<sub>50</sub> > 500 mg/Kg, não inflamáveis ou reativos, toxicidade crônica baixa

**Alguns compostos que podem ser descartados no lixo****Orgânicos:**

- açúcares, amido, aminoácidos e sais de ocorrência natural, ácido cítrico e seus sais (Na, K, Mg, Ca, NH<sub>4</sub>); ácido láctico e seus sais (Na, K, Mg, Ca, NH<sub>4</sub>)

**Inorgânicos:**

- Sulfatos, fosfatos, carbonatos: Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba, NH<sub>4</sub>
- Óxidos: B, Mg, Ca, Sr, Al, Si, Ti, Mn, Fe, Co, Cu, Zn
- Cloretos: Na, K, Mg
- Fluoretos: Ca
- Boratos: Na, K, Mg, Ca

**Outros materiais de laboratório não contaminados com produtos químicos****perigosos:**

- adsoventes cromatográficos: sílica, alumina, etc
- material de vidro

- papel de filtro
- luvas e outros materiais descartáveis

#### IV. SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS

A seguir estão arroladas as categorias mais comuns em que os resíduos devem ser separados. Substâncias que não se enquadram nestas categorias devem ser avaliadas quanto a compatibilidade química e adicionadas a uma delas, ou armazenadas em separado, conforme o caso. Informações sobre toxicidade, reatividade e compatibilidade de inúmeras substâncias químicas podem ser encontradas em MSDS (*Material Safety Data Sheets*), disponíveis em vários sites da internet (alguns estão listados na Seção de Bibliografia deste documento). Na Biblioteca do IQ também podem ser encontradas monografias da OMS para algumas substâncias. A responsabilidade pela correta segregação dos resíduos é do pesquisador (docente ou aluno PG/IC) que o gerou.

#### CLASSES DE RESÍDUOS QUÍMICOS QUE DEVEM SER ADOTADAS NO IQ:

##### **Inorgânicos**

- soluções aquosas de metais pesados
- ácidos
- bases
- sulfetos
- cianetos
- mercúrio metálico (recuperação)
- sais de prata (recuperação)

##### **Orgânicos**

###### Para descarte (incineração):

- solventes não halogenados, < 5% água
- solventes não halogenados, > 5% água
- solventes halogenados
- peróxidos orgânicos
- pesticidas

###### Para recuperação

- clorados
- acetatos e aldeídos
- ésteres e éteres
- hidrocarbonetos
- álcoois e cetonas

#### V. ROTULAGEM

1. Todos os frascos contendo resíduos devem ser identificados adequadamente pelo uso de uma etiqueta similar a mostrada na Figura 1. Para maior clareza, na Figura 2 pode ser visto um exemplo de preenchimento correto da etiqueta. É imprescindível que todas as informações estejam preenchidas.
2. Frascos sem rótulo, ou com informações parcial ou inadequadamente preenchidas, não serão aceitos para armazenamento no Depósito de Resíduos.

**RESÍDUOS PERIGOSOS**

COLOCAR SOMENTE RESÍDUOS DE.....

**MANUSEIE COM CUIDADO**

**MANTENHA ESTE FRASCO SEMPRE BEM FECHADO**

**NÃO ENCHA ATÉ A CAPACIDADE MÁXIMA**

Composição: *componentes principais e concentração relativa (%) aproximada*  
*Usar nomes químicos, por extenso, em letra de imprensa legível*

pH:

Data do início do uso desta embalagem:

Data do término do uso desta embalagem:

Responsável:

Departamento/Laboratório:

Figura 1: Modelo de rótulo para frascos contendo resíduos

**RESÍDUOS PERIGOSOS**

COLOCAR SOMENTE RESÍDUOS DE **SOLVENTES NÃO CLORADOS COM**  
**ATÉ 5% DE ÁGUA**

**MANUSEIE COM CUIDADO**

**MANTENHA ESTE FRASCO SEMPRE BEM FECHADO**

**NÃO ENCHA ATÉ A CAPACIDADE MÁXIMA**

Composição: tolueno (80%), hexano (10%), ciclohexano (5%), iso-octano(5%)

pH: 7,0

Data do início do uso desta embalagem: 10/03/99

Data do término do uso desta embalagem: 27/07/99

Responsável: Mary Santiago Silva

Departamento/Laboratório: Química Analítica/Lab.Cromatografia

Figura 2: Exemplo de preenchimento correto do rótulo para frascos de resíduos

## VI. ARMAZENAMENTO

1. A responsável pelo recebimento e aceitação dos resíduos para armazenamento no Depósito de Resíduos será a Sra. Edna Samira B. Gobatti, da Seção de Apoio Técnico Químico.
2. Serão aceitos para armazenamento no Depósito de Resíduos, em frascos apropriadamente rotulados:
  - resíduos destinados à incineração;
  - resíduos de solventes orgânicos destinados à recuperação
3. Como regra geral os frascos de resíduos cheios não deverão permanecer nos Laboratórios. Deverão ser encaminhados para o Depósito de Resíduos, ou tratados no próprio laboratório, conforme o caso.
4. **NÃO** serão aceitos para armazenamento no Depósito de Resíduos:
  - frascos com identificação incompleta ou inexistente
  - resíduos destinados a tratamento/destruição em laboratório (exceto recuperação de solventes)
  - frascos inadequados para o tipo de resíduo
  - frascos que não estejam adequadamente tampados
5. Os resíduos de metais destinados à recuperação deverão ser armazenados e tratados nos próprios Departamentos que os geraram.

### **Embalagens apropriadas:**

- cada tipo de resíduo deve ser acondicionado em embalagem adequada às suas características.
- As embalagens plásticas (PE alta densidade) são preferíveis, exceto quando há incompatibilidade com o resíduo.
- Na falta de embalagem de PE, os frascos vazios de reagentes/solventes, também poderão ser utilizados após triplice enxágue com água ou solvente apropriado (atenção às incompatibilidades com o resíduo que se pretende armazenar no frasco)
- Não usar embalagens metálicas

**Armazenamento de resíduos no laboratório**

- Deverão ser armazenados nos laboratórios os resíduos de metais para recuperação e os resíduos passíveis de tratamento/destruição (exceto solventes a recuperar).
- Por questões de segurança, recomenda-se não acumular grandes quantidades de resíduos no laboratório. O ideal é que em cada local exista apenas um frasco, em uso, para cada tipo de resíduo e nenhum frasco cheio esperando ser tratado ou levado ao Depósito de Resíduos.
- Os frascos de resíduos deverão permanecer sempre tampados
- Os frascos para resíduos jamais devem ser rotulados apenas como "Resíduos". Mesmo para os resíduos que não serão destinados ao Depósito de Resíduos, deve ser adotada a rotulagem explicitada anteriormente.
- Ao utilizar frascos de reagentes para os resíduos, tomar o cuidado de retirar completamente a etiqueta antiga, para evitar confusões na identificação precisa do resíduo.
- Frascos destinados a resíduos ácidos e básicos deverão ser armazenados em locais diferentes, para evitar confusões no momento do descarte. O mesmo deve ser feito para resíduos ácidos e orgânicos.
- **NUNCA** armazenar frascos de resíduos na capela
- **NUNCA** utilizar embalagens metálicas para resíduos. Mesmo próximo à neutralidade, sólidos e líquidos podem corroer facilmente este tipo de embalagem.
- **NÃO** armazenar frascos de resíduos próximo a fontes de calor ou água.

**Frascos vazios de reagentes/solventes**

- Deverão passar por tríplice lavagem com água
- Após esta limpeza deverão ser encaminhados ao Setor de Apoio Técnico Químico

**VII. TRATAMENTO DE RESÍDUOS EM LABORATÓRIO**

## Regras Gerais:

- os resíduos que são passíveis de destruição/ neutralização no próprio laboratório, para posterior descarte na pia, não deverão ser acumulados. É sempre mais fácil e menos perigoso o tratamento de pequenas quantidades dos resíduos. O tratamento destes resíduos deverá ser feito no próprio laboratório que os gerou, sob a responsabilidade de um docente

Colocamos aqui os tratamentos para destruição, neutralização ou inertização das substâncias frequentemente encontradas em resíduos dos laboratórios do IQ. Procedimentos recomendados para outras substâncias, ou alternativas aos procedimentos aqui descritos, poderão ser encontrados nas obras citadas no item Bibliografia.

TODOS OS PROCEDIMENTOS, DESCRITOS A SEGUIR, DEVEM SER EFETUADOS EM CAPELA COM BOA EXAUSTÃO, FAZENDO-SE USO DE EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL COMO AVENTAL, LUVAS E ÓCULOS DE SEGURANÇA. É ACONSELHÁVEL A SUPERVISÃO DE UM DOCENTE.

1. **Ácidos e bases:** neutralizar com NaOH e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, respectivamente, utilizar papel indicador ou gotas de fenolftaleína, para garantir que o pH da solução resultante situe-se entre 6 e 8. Após a neutralização, descartar lentamente na pia sob água corrente.
2. **Metais:** tratar com soda cáustica (NaOH + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) em excesso. Descartar a mistura nos tambores apropriados para este fim que encontram-se no Depósito de Resíduos.
3. **Cianetos:** A destruição deve ser feita em capela com boa exaustão. O procedimento relatado a seguir é adequado para cianetos solúveis e insolúveis, não é recomendado para complexos com alta estabilidade.
  - basificar o meio com NaOH não muito concentrado (pH entre 10 e 11)

- sob agitação adicionar hipoclorito de sódio ou cálcio (50% em excesso em relação ao  $\text{CN}^-$  em  $\text{mol.l}^{-1}$ )
  - manter sob agitação, na capela por cerca de 12 horas
  - abaixar o pH com HCl até cerca de 8
  - descartar lentamente na pia da capela, sob água corrente
4. Acetonitrila (sozinha em em misturas com água):
- dissolve-se cuidadosamente no resíduo de acetonitrila uma massa de NaOH que resulte numa relação molar 2:1 com a  $\text{CH}_3\text{CN}$ .
- $$\text{Mol}_{\text{NaOH}} = 50 \text{ g} \qquad \text{Mol}_{\text{CH}_3\text{CN}} = 51 \text{ g}$$
- $$d_{\text{CH}_3\text{CN}} = 0,805 \text{ g.cm}^{-3}$$
- $$m_{\text{CH}_3\text{CN}} = d_{\text{CH}_3\text{CN}} \times V_{\text{resíduo}}$$
- Após a dissolução do hidróxido, leva-se a mistura a um equipamento de refluxo com captação de amônia (similar ao utilizado na determinação de N amoniacal por Kjeldhal), por 6 horas
  - Finalizado o refluxo, neutraliza-se a solução e descarta-se na pia se o resíduo não contiver outras substâncias tóxicas.
5. Agentes oxidantes:
- hipocloritos, cloratos, bromatos, iodatos, periodatos, peróxidos e hidroperóxidos inorgânicos, cromatos e dicromatos, molibdatos, manganatos e permanganatos podem ser reduzidos por hipossulfito de sódio.
  - O excesso de hipossulfito deve ser destruído com  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Depois disso, diluir a 3% e descartar na pia
6. Sulfetos inorgânicos
- precipitar na forma de sulfeto de Fe(II), decantar,
  - o precipitado deve ser descartado nos resíduos de metais,
  - o sobrenadante pode ser descartado na pia após diluição, se não contiver metais pesados/tóxicos

7. Metais finamente divididos (Al, Co, Fe, Mg, Mn, Ni, Pd, Pt, Ti, Sn, U, Zn, Zr, e suas ligas)
- suspender o pó em água, até formar uma pasta
  - colocar em um recipiente metálico formando uma camada fina
  - deixar secar ao ar. Conforme a mistura for secando, formar-se-ão, óxidos que não são pirofóricos
  - Descartar como resíduos de metal ou recuperar, dependendo do metal
  - Outra alternativa: solubilizar com ácido e depois descartar como resíduo de metais
8. Haletos metálicos que reagem violentamente com água ( $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{ZrCl}_4$ )
- adicionar os haletos à água em um balão de 3 bocas, com resfriamento (banho de gelo) e agitação constante
  - A solução resultante deve ser tratada com resíduo de metais
9. Haletos e haletos ácidos de não-metais ( $\text{BCl}_3$ ,  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SOCl}_2$ ,  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{PCl}_5$ ). O procedimento descrito abaixo também pode ser utilizado na destruição de:  $\text{RCOX}$ ,  $\text{RSO}_2\text{X}$ ,  $(\text{RCO})_2\text{O}$
- colocar em um balão de 3 bocas, provido de termômetro, balão de adição e agitador mecânico, 600 ml de NaOH 2,5  $\text{mol.l}^{-1}$
  - adicionar lentamente o resíduo sob agitação constante
  - se a temperatura aumentar com a adição do resíduo, deve-se continuar a adição do mesmo sem aquecimento. Se isto não ocorrer, aquecer o balão até cerca de 90 °C, antes de continuar a adição do resíduo
  - continuar o aquecimento até que solução seja clara
  - resfriar à temperatura ambiente
  - neutralizar a pH 7 e descartar na pia, lentamente e sob água corrente

OBS:

\*  $\text{PCl}_5$  e outros sólidos, devem ser tratados em um bequer (tendem a endurecer no balão) com gelo pela metade, depois que o gelo derreter, se não solubilizou completamente, aquecer ligeiramente

\*  $S_2Cl_2$  forma  $Na_2S$ , deve passar pela destruição de sulfetos antes de ser descartado na pia

#### 10. Aminas aromáticas

- Destruição em laboratório: oxidação por  $KMnO_4$  em meio ácido
- 0,2 mol  $KMnO_4$  para 0,01 mol de amina, em  $H_2SO_4$  2 mol.l<sup>-1</sup>
- temperatura ambiente por 8 horas
- +  $NaHSO_4$ , para destruir o excesso de  $MnO_4^-$
- neutralizar com  $NaOH$ , diluir e descartar na pia sob água corrente

### VIII. BIBLIOGRAFIA

1. IUPAC – IPCS. *Chemical Safety Matters*. Cambridge University Press, 1992
2. ACS Task Force on Laboratory Waste Management – *Laboratory Waste Management: a guidebook*, ACS, 1994
3. WHO. International Programme on Chemical Safety (IPCS). *Health and Safety Guides*. WHO, 1996
4. D.A. Pipitone (editor). *Safe Storage of Laboratory Chemicals*. John Wiley & Sons, 1991
5. S.E. Manahan. *Hazardous waste chemistry, toxicology and treatment*. Lewis Pub., 1990
6. R. Purchase (editor). *The laboratory environment*. Royal Society of Chemistry, 1994
7. J.A. Young. *Improving safety in the chemical laboratory: a practical guide*. John Wiley & Sons, 1991
8. J.P. Dux, R.F. Stalzer. *Managing safety in the chemical laboratory*. Van Nostrand, 1988
9. G. Lunn, E.B. Sansone. *Destruction of hazardous chemicals in the laboratory*. John Wiley & Sons, 1994
10. J.A. Kaufman (editor). *Waste disposal in academic institutions*. Lewis Publishers, 1997
11. R.W. Phifer, W.R. McTigue, Jr. *Waste management for small quantity generators*. Lewis Publishers, 1996
12. Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (INST). *Seguridad y condiciones de trabajo en el laboratorio*. INST, 1992
13. <http://cchas.cehs.siu.edu>
14. <http://rcct-lac.org.uv/bases/sustanc.htm>
15. <http://www.ehs.utah.edu>

16. <http://ecdin.etomep.net>

17. <http://www.ehs.cornell.edu>

18. <http://keats.admin.virginia.edu>

# **ANEXO 2**



## Laboratórios de Pesquisa

	menos que 100 g quais?	entre 100 g e 1 kg quanto? quais?	mais que 1 Kg ou 1L; quanto? quais?
<b>Ácidos inorgânicos</b>	H <sub>3</sub> Bo <sub>3</sub> – 0,02 L	Ác. Cromossulfúrico – 0,5 L HF – 0,1 L Ác. Clorosulfônico – 0,1 L	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 72 L HNO <sub>3</sub> – 33 L HCl – 35 L H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> – 2 L HClO <sub>4</sub> – 1,3 L
<b>Ácidos orgânicos</b>	Ác. Salicílico – 0,25 g Ác. Cólico – 0,25 g Ác. cítrico – 0,3 g Ác. Oxálico – 0,1 g Ácido Benzóico – 0,1 g Ác. Trifluoroacético – 0,13 ml	Ác. Propiônico – 0,7 L Ác. Trifluorometanossulfônico – 0,1 L	Ác. Acético – 6,4 L Vários – 2 L
<b>Anidridos</b>	Anidrido Acético – 0,2 g		
<b>Bases</b>		Hidróxido de Zn e Cu – 0,5 kg LiOH – 0,5 kg Ca(OH) <sub>2</sub> – 0,5 kg Al(OH) <sub>3</sub> – 0,5 kg NH <sub>4</sub> OH – 0,3 L Hidraxina Hidrato – 0,5 L	NaOH – 22 Kg KOH – 11 kg Hidróxido de Mg e Al – 2 kg
<b>Álcoois e cetonas</b>		Isopropanol – 0,1 L Cicloexanol – 0,1 L Adamantanol – 0,1 L Cicloexanona – 0,1 l. Adamantanona – 0,1 L Xantona – 0,1 L Tioxantona – 0,1 L Benzofenona – 0,1 L	Etanol – 1 335 L Metanol – 71 L N-butanol – 2 L Acetona – 183 L
<b>Aldeídos e</b>	Acetato de Na – 0,1 g	Formaldeído – 01 L Acetaldeído – 0,1 L Benzaldeído – 0,2 L Nitrobenzaldeído – 0,2 L	Acetato de Etila – 1,005 L Acetato de n-butila – 02 L

<b>acetatos</b>		<b>Pentabfluorebenzaldeído-0,2 L.</b>	
<b>Fenóis</b>		<b>4-clorofenol – 0,3 L.</b>	<b>Fenol – 1,2 kg</b>
<b>Ésteres e éteres</b>			<b>Éter Etilico – 610 L</b> <b>Éter de Petróleo – 03 L</b> <b>THF – 27 L</b>
<b>Hidrocarbonetos</b>		<b>Cicloexeno – 0,5 L</b> <b>Ciclooctano – 01 L</b> <b>Pireno – 0,1 L</b> <b>Heptano – 0,5 L</b>	<b>Pentano – 07 L</b> <b>Hexano – 937 L</b> <b>Isooctano – 02 L</b> <b>Cicloexano – 38 L</b> <b>Benzeno – 28 L</b> <b>Tolueno – 04 L</b>
<b>Halogenados</b>		<b>Cloreto de Tionila – 0,1 L</b> <b>Borotrifluoroesterato(?) - 0,1L</b>	<b>Diclorometano – 347 L</b> <b>Clorofórmio – 125 L</b> <b>Tetracloroeto de Carbono – 14 L</b> <b>Diclorooctano – 15 L</b>
<b>Amina, Amida, Imina, Nitrilas, utros, compostos nitrogenado</b>	<b>Diisopropilamina – 0,05 L</b>	<b>Dimetilamina – 1 L</b> <b>Nitrobenzeno – 0,5 L</b> <b>Hydrocloroeto de Guanidina-0,5 kg</b> <b>Trietilamina – 0,13 Kg l</b> <b>Pirrol – 0,1 L</b> <b>Diisopropiletilamina – 0,1 L</b>	<b>Piridina – 2,54 L</b> <b>Dimetilformamida – 6,5 L</b> <b>Acetonitrila – 21 L</b>
<b>Organossulfurados</b>		<b>Sulfato de dimetila – 0,5 L</b> <b>DMSO – 0,5 L</b> <b>Vários – 1 L</b>	
<b>Fosforados</b>	<b>Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 0,1 g</b>	<b>Trifenilfosfinóxido – 0,3 kg</b>	
<b>Metais pesados</b>	<b>CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O – 0,01 kg</b>	<b>Complexos de Ru, Rr, Pd, Hg – 01 kg</b> <b>Ru – 0,1 kg</b>	

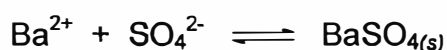
		<p>Ti – 0,1 kg  Pb – 0,1 kg  Co, Ni, V – 0,5 kg  FeCl<sub>2</sub> – 0,1 kg  MgCl<sub>2</sub> (?) – 0,1 kg  Hg – 0,2 L</p>	
<b>Peróxidos e hidroperóxidos</b>			<b>Peróxido de Hidrogênio – 1,8 L</b>
<b>Agentes oxidantes</b>		<p>PCC – 01 kg  PDC – 01 kg  KMnO<sub>4</sub> – 01 kg  Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,3 kg  DDQ – 0,1 L  Iodozilbenzeno – 0,1 L  P-cloranil – 0,1 L  K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – 01 kg  Vários – 0,5 kg  Persulfato de sódio – 0,1 kg</p>	
<b>Agentes redutores</b>		<p>Na – 01 kg  Vários – 0,5 kg  Reagente de Folin – 0,5 L</p>	
<b>Sulfetos</b>			
<b>Cianetos</b>			
<b>Outros</b>	<p>NaN<sub>3</sub> – 0,01 kg  Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> – 0,05 kg</p>	<p>CaSO<sub>4</sub> – 0,8 kg  NaClO<sub>4</sub> – 0,1 kg  Silano – 0,1 L</p>	<p>NaCHO<sub>3</sub> – 2,6 kg  Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 03 kg  MgSo<sub>4</sub> – 10 kg  Organotelúrio - &gt; 1 kg  Organo Selênico - &gt; 1 kg  Organo Estanho &gt; 1 kg</p>

# **ANEXO 3**

## III - REAÇÕES IÔNICAS EM SOLUÇÃO AQUOSA

### III.1- EQUAÇÕES IÔNICAS

A forma mais adequada para expressar as reações entre íons é através de equações iônicas. Nestas, apenas os reagentes e produtos que participam da transformação química observada são representadas. Assim se misturarmos uma solução de um sal de bário (por exemplo:  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  ou  $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$ ) com uma solução de um sulfato solúvel (por exemplo:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ou  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) há formação de um precipitado branco de  $\text{BaSO}_4$ . Pode-se desta forma concluir que nesta reação estão envolvidos somente íons bário e sulfato e a equação pode ser expressa como:



Observe que os ânions do sal de bário e os cátions do sal de sulfato utilizados não participam do processo de precipitação.

### III.2 - Regras práticas para escrever reações iônicas

- São escritos como íons:
  - todos os eletrólitos fortes, p. ex.  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  /  $\text{Na}^+$ ,  $\text{OH}^-$  /  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , etc;
  - íons complexos solúveis, p. ex.  $[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]^{3-}$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ,  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ , etc.
- São escritos como fórmulas moleculares:
  - todos os sólidos, p. ex.  $\text{CuS}$ ,  $\text{AgCl}$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , etc;
  - todos os gases, p. ex.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc;
  - todos os eletrólitos fracos solúveis, p. ex.  $\text{HCN}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ , etc;
  - complexos precipitados, p. ex.  $\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ ,  $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , etc.
  - maioria dos compostos orgânicos solúveis; p. ex. açúcar ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ), álcool etílico ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), etc.
- É necessário que se conheça as solubilidades dos compostos para se expressar a reação corretamente. Deve-se considerar as regras de de solubilidade.

**EXERCÍCIO:** Converter cada uma das equações moleculares abaixo em equações iônicas balanceadas:

- $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{BaSO}_4 + \text{Al}(\text{NO}_3)_3$
- $\text{CuCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{CuCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- $\text{FeCl}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{NaCl}$
- $\text{FeSO}_4 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
- $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{BaCrO}_4 + \text{KNO}_3 + \text{HNO}_3$
- $\text{Fe} + \text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2$
- $\text{FeCl}_3 + \text{HCl} + \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \rightarrow \text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] + \text{HCl}$

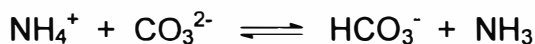
#### IV- GRUPO II: $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ e $\text{Ba}^{2+}$

O grupo II é constituído pelos cátions dos metais alcalinos terrosos ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  e  $\text{Ba}^{2+}$ ) e são caracterizados pela insolubilidade de seus carbonatos. Podemos ter uma idéia da solubilidade de seus sais a partir da tabela abaixo (Tabela 1). A separação destes íons se baseia nestas diferenças de solubilidade.

**Tabela 1:** Constantes de produtos de solubilidade ( $K_{ps}$ ) em água de alguns compostos dos cátions do grupo II, a 25° C

	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Sr}^{2+}$	$\text{Ba}^{2+}$
$\text{OH}^-$	$5,9 \times 10^{-12}$	-	-	-
$\text{CO}_3^{2-}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$4,8 \times 10^{-9}$	$7,0 \times 10^{-10}$	$4,9 \times 10^{-9}$
$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	$8,6 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-9}$	$5,6 \times 10^{-8}$	$2,3 \times 10^{-8}$
$\text{SO}_4^{2-}$	-	$6,1 \times 10^{-5}$	$2,8 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-10}$
$\text{CrO}_4^{2-}$	-	$7,1 \times 10^{-4}$	$3,6 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-10}$

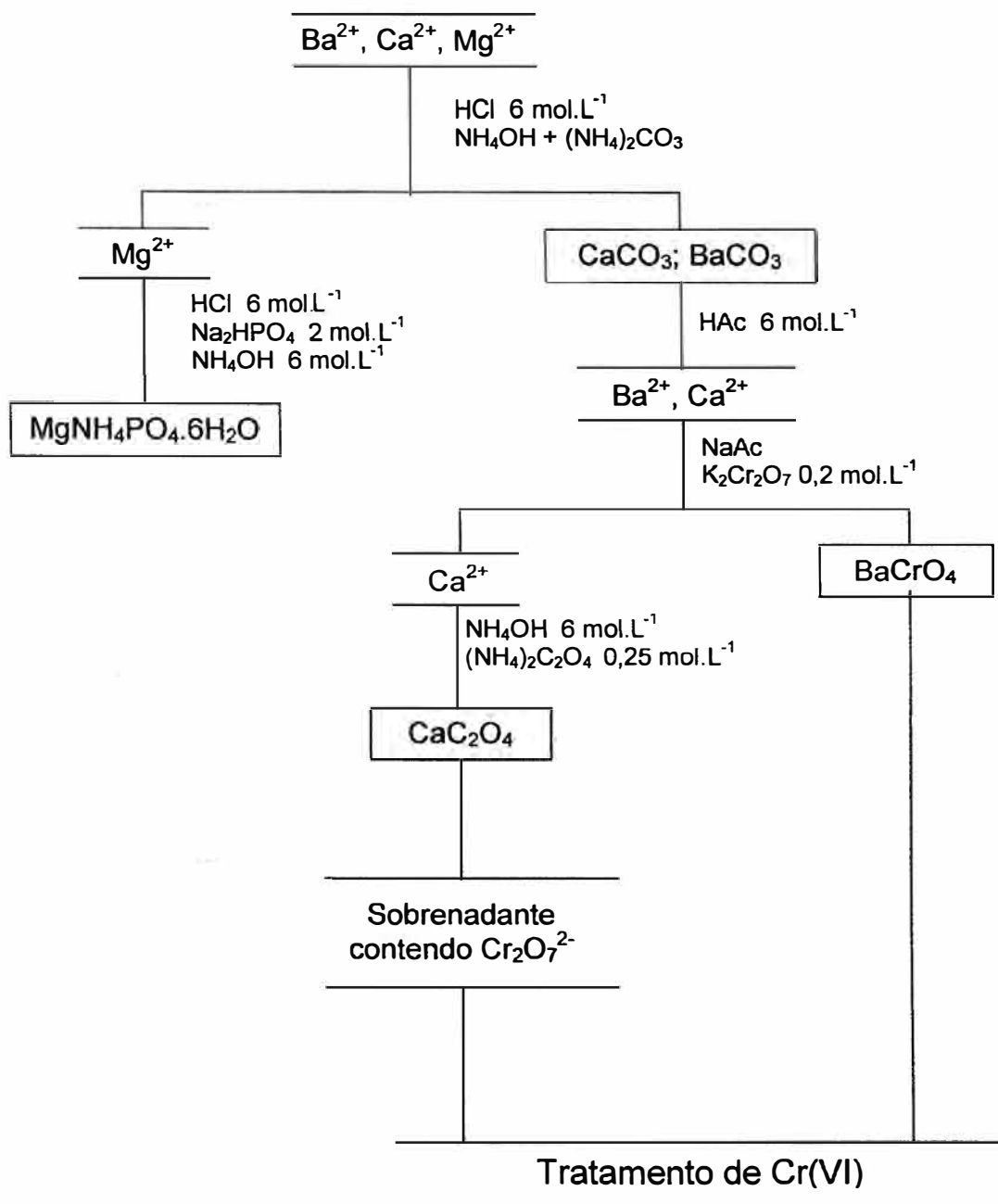
É possível separar  $\text{Mg}^{2+}$  de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  e  $\text{Ba}^{2+}$  através do uso de carbonato de amônio como reagente precipitante na presença de cloreto de amônio (tampão pH ~ 9). Assim, o íon  $\text{NH}_4^+$  é usado para controlar a concentração do íon carbonato na solução.



Aumentando-se a concentração do íon  $\text{NH}_4^+$ , o equilíbrio é deslocado para direita, e a concentração de  $\text{CO}_3^{2-}$  diminui, não alcançando o  $K_{ps}$  do  $\text{MgCO}_3$ .

#### IV.1- SEPARAÇÃO E ANÁLISE DOS CÁTIONS DO GRUPO II

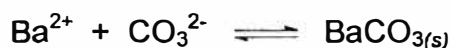
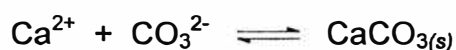
Misture em um tubo de ensaio 5 gotas de cada solução de  $M(NO_3)_2$   $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$ . ( $M^{2+} = Mg^{2+}, Ca^{2+}, Ba^{2+}$ ).



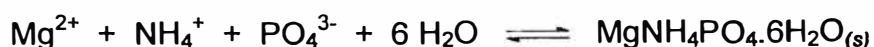
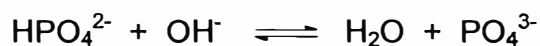
Esquema de Separação do Grupo II

Adicione em seguida, 5 gotas de ácido clorídrico 6 mol.L<sup>-1</sup> e ~10 gotas de hidróxido de amônio concentrado **às gotas, com agitação**, até o meio se tornar básico (pH ~ 9) (ver *nota 1*). Aqueça a solução em banho-maria e junte cerca de 30 gotas de solução de carbonato de amônio 1,5 mol.L<sup>-1</sup>. Agite vigorosamente a solução para homogeneizar, aqueça o tubo **sem ferver** cerca de 5 minutos e centrifugue o precipitado.

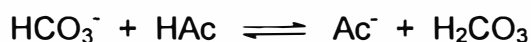
Teste se a precipitação foi quantitativa. Acrescente 2 a 3 gotas de NH<sub>4</sub>OH 6 mol.L<sup>-1</sup>, verifique se o pH está alcalino (pH ~ 9) e junte algumas gotas de carbonato de amônio 1,5 mol.L<sup>-1</sup> ao líquido sobrenadante. Se ainda houver precipitação, repita esse procedimento até não haver mais precipitação pela adição de carbonato de amônio ao sobrenadante. Agite para homogeneizar, centrifugue e separe por decantação. **Atenção: Quando a solução testada fica turva, significa que está havendo formação de precipitado.**



O líquido sobrenadante deve conter íons Mg<sup>2+</sup> e sua presença deve ser confirmada pela reação com hidrogenofosfato de sódio, com a conseqüente formação de um precipitado branco cristalino de MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O.



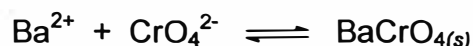
Lave o precipitado, que deve conter os carbonatos de cálcio e bário, com água quente, centrifugue e despreze o sobrenadante. Ao precipitado adicione ácido acético 6 mol.L<sup>-1</sup> às gotas até completa dissolução (ver *nota 2*).



A seguir, junte 3 gotas de acetato de sódio 6 mol.L<sup>-1</sup> (ver *nota 3*) e 5 gotas de dicromato de potássio 0,5 mol.L<sup>-1</sup> e agite a solução. Aqueça em banho-maria, centrifugue e verifique se a precipitação foi completa. Após a precipitação quantitativa, centrifugue e separe o sobrenadante por decantação. O precipitado



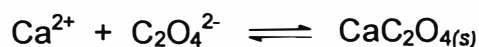
amarelo formado deve ser  $\text{BaCrO}_4$ , enquanto que o sobrenadante deve conter os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e excesso de  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ .



Lave o precipitado de 2 a 3 vezes com água destilada, centrifugue e descarte o sobrenadante.

Adicione ao precipitado de  $\text{BaCrO}_4$  2 a 3 gotas de ácido clorídrico concentrado e confirme a presença de  $\text{Ba}^{2+}$  pelo teste da chama, cuja coloração deverá ser verde - amarelada. **Reserve o resíduo contendo  $\text{BaCrO}_4$**  (ver nota 5).

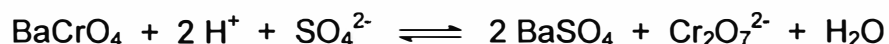
Ao líquido sobrenadante contendo  $\text{Ca}^{2+}$ , adicione 3 gotas de  $\text{NH}_4\text{OH}$  6 mol.L<sup>-1</sup> e depois 3 gotas de oxalato de amônio 0,25 mol.L<sup>-1</sup>, agite e deixe em repouso cerca de 2 minutos. A formação de um precipitado branco de  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , confirma a presença de cálcio. Centrifugue e **separe o sobrenadante amarelo-alaranjado que contém  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , junte a este o resíduo contendo  $\text{BaCrO}_4$  que deve ser tratado conforme descrito no item III.1** (ver nota 5).



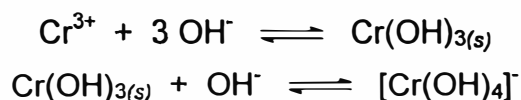
Lave o precipitado várias vezes com água destilada e despreze a água de lavagem. Adicione ao resíduo 2 a 3 gotas de ácido clorídrico concentrado e faça o teste de chama, cuja coloração vermelho-tijolo, indica a presença de cálcio.

### Procedimento para tratamento da solução contendo Crômio VI

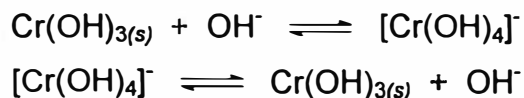
Ao resíduo contendo  $\text{BaCrO}_4$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  adicione ~20 gotas de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado para acidificar o meio (pH~2) (ver nota 5). Aqueça lentamente a solução com agitação, até formar o precipitado branco de  $\text{BaSO}_4$ , centrifugue e separe o sobrenadante amarelo.



A seguir adicione 22 gotas de uma solução saturada de bissulfito de sódio ( $\text{NaHSO}_3$ ). Nesta etapa o sobrenadante apresenta variação de cor, passando de amarelo - alaranjado para verde. Adicione 45 gotas de hidróxido de sódio 3 mol.L<sup>-1</sup>. Evapore a solução quase à secura em um béquer de 25 mL. Depois, transfira quantitativamente a solução para um tubo de ensaio, usando algumas gotas de água (~10 gotas).



No caso do  $\text{Cr}^{3+}$ , o  $\text{Cr(OH)}_3$  possui caráter anfótero e com excesso de  $\text{OH}^-$  solubiliza formando o íon  $[\text{Cr(OH)}_4]^-$  (ou cromito,  $\text{CrO}_2^-$ ). Ao aquecer a solução observa-se a precipitação do  $\text{Cr(OH)}_3$  (verde-acinzentado).



Pode-se destacar a diferença entre o comportamento do  $[\text{Cr(OH)}_4]^-$  e  $[\text{Al(OH)}_4]^-$  (que estudaremos no grupo III). O  $[\text{Al(OH)}_4]^-$  é mais estável, não precipitando o  $\text{Al(OH)}_3$  correspondente com o aquecimento.

**Responda:**

- i) Escreva as equações iônicas para todas as etapas do tratamento de resíduo de Cr(VI).**
- ii) Para reduzir o  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  a  $\text{Cr}^{3+}$  poderíamos usar ferro metálico (palha-de-aço) como redutor ao invés de bissulfito? Justifique sua resposta. Aponte as vantagens e desvantagens para cada um dos tratamentos. (Veja potenciais redox)**
- iii) Proponha um destino final para o  $\text{Cr(OH)}_3$  sólido recolhido.**

### ➤ Nota 1

Neste caso, o HCl adicionado foi neutralizado com  $\text{NH}_4\text{OH}$  concentrado (ou amônia) até o meio se tornar alcalino.



Lembrar que  $\text{NH}_3$  (ou  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) é uma base e tem afinidade por  $\text{H}^+$ . O íon  $\text{NH}_4^+$  formado é um ácido fraco ( $K_a(\text{NH}_4^+) = 5,5 \times 10^{-10}$ )

**Responda:**

- i) Quais as espécies presentes na solução após a neutralização (pH ~9)?**
- ii) Por que esta é uma solução tampão?**

### ➤ Nota 2

A rigor o íon  $\text{CO}_3^{2-}$  reage com íon  $\text{H}^+$  que provém da dissociação do ácido acético:



O íon carbonato é um ânion de ácido fraco. Todo ânion de ácido fraco comporta-se como base e tem afinidade por  $\text{H}^+$  (da mesma forma que  $\text{NH}_3$ ).

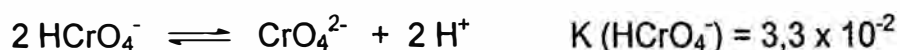
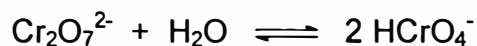
Exemplos de reações de neutralização	Constantes de dissociação do ácido formado
$\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCO}_3^-$	$K_a(\text{HCO}_3^-) = 4,6 \times 10^{-7}$
$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$	$K_a(\text{H}_2\text{CO}_3) = 5,6 \times 10^{-11}$
$\text{Ac}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{HAc}$	$K_a(\text{HAc}) = 1,8 \times 10^{-5}$
$\text{NO}_2^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{HNO}_2$	$K_a(\text{HNO}_2) = 5,1 \times 10^{-4}$

### ➤ Nota 3

Observe que neste momento têm-se uma solução tampão,  $\text{MCO}_3$  foi dissolvido com ácido acético e a seguir foi adicionado acetato de sódio e o pH deve estar próximo a 5.

### ➤ Nota 4

Considerando-se o equilíbrio:



Pode-se observar aqui, mais uma vez que a  $[\text{CrO}_4^{2-}]$  será controlada com o pH. Compare a solubilidade do  $\text{BaCrO}_4$ ,  $\text{CaCrO}_4$  e  $\text{SrCrO}_4$  (ver Tabela 1, pág.2).

**Responda: Qual o problema na separação do  $\text{Ba}^{2+}$  como  $\text{BaCrO}_4$  de uma mistura de  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Sr}^{2+}$ , se: i) estiver muito ácida; ii) estiver muito alcalina.**

➤ **Nota 5**

O Cr(VI) pelo fato de ser cancerígeno deve ser reduzido a Cr (III) para que possa ser descartado ou reciclado.

## EXERCÍCIOS

- 1) Na separação dos cátions do grupo II, com solução de carbonato de amônio, qual é a função do cloreto de amônio?
- 2) Na separação de íons  $\text{Ba}^{2+}$  de íons  $\text{Sr}^{2+}$ , explicar:
  - a) Por que é necessária uma solução ácida?
  - b) Qual a função do acetato de sódio?
  - c) Por que deve ser evitada uma alta concentração de  $\text{H}^+$ ?
- 3) Se  $\text{Sr}^{2+}$  estivesse presente na amostra em que foi analisado o grupo II, como deveria ser sua separação dos demais cátions?
- 4) No processo de separação dos cátions do grupo II, qual será o resultado se íons  $\text{Mg}^{2+}$  não forem completamente removidos antes da precipitação dos íons  $\text{Ca}^{2+}$ ?
- 5) Que reagente ou combinação de reagentes se poderia usar para separar-se em um único passo os componentes de cada par:
  - a)  $\text{Ba}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$
  - b)  $\text{Sr}^{2+}$  e  $\text{Ba}^{2+}$
  - c)  $\text{Sr}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$
  - d)  $\text{Sr}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$