

Investigação dos mecanismos das reações dos ativos e implantação de um programa de Química Verde no UNIPAM

Elisângela Cristina Barbosa Borges
Hugo Fernando Silvestre de Andrade
Graduados em Química e bolsistas do PIBIC

Valdir Peres
Professor titular do UNIPAM

Resumo

A geração de resíduos químicos nas universidades é um assunto pouco discutido no Brasil. Acompanhando a tendência mundial, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de fazer avançar no UNIPAM uma área de fronteira do conhecimento, a chamada “química verde”, um conjunto de diretrizes voltado à redução do impacto ambiental dos processos químicos. Fomentou-se uma metodologia com a inclusão de uma consciência ética, nos cursos de Farmácia e Química, com relação ao uso e ao descarte de produtos químicos, resultantes de atividades de ensino e de pesquisa, buscando atingir os 5 Rs da Agenda 21: reduzir, reutilizar, recuperar, reaproveitar e reprojeter. Foram tratados vários resíduos por via úmida, para ilustrar procedimentos gerais, na tentativa de demonstrar e apresentar situações reais, com o objetivo de preparar uma nova geração de profissionais qualificados, capazes de desenvolver meios de garantir melhor qualidade de vida à população em geral, buscando crescimento pessoal, conhecimento científico e cuidados redobrados para com o meio ambiente.

Palavras - Chave: Química ambiental. Resíduos químicos. Química Verde.

Abstract

The generation of chemical residues in university laboratories has been a subject of relatively limited debate, in Brazil. Following international trends on environmental issues, this work aimed at raising this matter at UNIPAM, representing a subject at a border field of the knowledge: the so known “green chemistry”. This implies a set of directives towards mitigating the environmental impacts of chemical residue outcoming from scientific researches or laboratory classes, involving chemical manipulations. In this respect, it is strongly recommended the insertion of an ethical consciousness in the courses of Chemistry and Pharmacy, calling the interest to the use and disposal of chemicals used in research and teaching activities. One purpose is to reach the 5Rs standards, as recommended by the Agenda XXI: to reduce, reuse, recycle, renew and respect. Several chemical residues were treated by a humid way, so as to illustrate general procedures, in an attempt to demonstrate and present real situations, by preparing a new generation of undergraduate students to be future well trained professionals, working to assure better life standards to individuals, by means of the improvement of personal and social consciousness, scientific knowledge and rational care of the natural environment.

Key-Words: Environmental chemistry. Chemical residues. Green Chemistry.

1. Introdução

Os Institutos e Departamentos de Química das Universidades, além de todas as unidades que utilizam produtos químicos em suas rotinas de trabalho, têm sido confrontados, ao longo de

muitos anos, com o problema relacionado ao tratamento e à disposição final dos resíduos gerados em seus laboratórios de ensino e pesquisa. Esses resíduos diferenciam-se daqueles gerados em unidades industriais por apresentarem baixo volume, mas grande diversidade de composição, o que dificulta a tarefa de estabelecer um tratamento ou uma disposição final padronizada para todos.

No atual cenário, onde 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 geradora de resíduos, mesmo porque esta atitude fere frontalmente o papel que ela própria desempenha quando avalia (e geralmente acusa) o impacto causado por outras unidades geradoras fora dos seus limites físicos. Assim sendo, frente ao papel importante que as universidades desempenham na sociedade, frente à importância ambiental que esses resíduos podem apresentar, e por uma questão de coerência de postura, é chegada a hora de as universidades implementarem seus programas de gestão de resíduos (JARDIM, 1998).

O Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), mantido pela Fundação Educacional de Patos de Minas (FEPAM), precisa urgentemente se inserir nesse contexto. Até 1998 existia na Instituição apenas um laboratório de química, no prédio da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, que atendia à plenificação (habilitação) em química, do Curso de Ciências. As aulas práticas se resumiam a umas poucas, durante o único ano da habilitação, sem regularidade. De lá para cá a coisa mudou significativamente: foram criados, dentre outros, os cursos de Ciências Biológicas – licenciatura e bacharelado, Farmácia, Química – licenciatura e Bacharelado, Agronomia, Nutrição e Zootecnia, todos com demanda contínua de aulas práticas de Química e/ou de Bioquímica. Teve início a partir de 2001, época da criação do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, a implantação de uma política agressiva de apoio à pesquisa e à extensão e, em decorrência disso, funcionam hoje no UNIPAM cerca de doze laboratórios envolvidos com a produção de resíduos químicos.

De maneira geral, a geração de resíduos químicos nos laboratórios de ensino e pesquisa atinge graves proporções, não só em Patos de Minas, e tem sido relegado a um plano secundário. Na maioria dos casos eles são estocados de forma inadequada e ficam aguardando um destino final, isso quando são estocados. Infelizmente, a cultura ainda dominante é de descartá-los na pia do laboratório, já que a maioria das instituições brasileiras de ensino e pesquisa não tem uma política institucional clara que permita um tratamento global do problema.

Para contornar essa situação, as legislações ambientais de todos os países do mundo vêm evoluindo e se adaptando às novas realidades, visando coibir severamente os abusos. Essas legislações vêm também incorporando novas exigências no monitoramento das emissões voláteis no ar e no lançamento de resíduos industriais nos corpos aquíferos.

No Brasil, no entanto, ainda não existe uma legislação específica relativa aos resíduos gerados em laboratórios, nem o enquadramento de universidades e órgãos de pesquisa como unidades poluidoras. Porém, nos últimos tempos, percebe-se movimentação nessa direção. O Conselho Nacional de Meio-Ambiente – CONAMA, baixou duas resoluções que tratam de resíduos: uma delas, a de número 313, trata do inventário dos resíduos industriais, e seu artigo 4º dispõe

que as indústrias, inclusive as que fabricam produtos químicos ou que os manipulam, devem declarar ao órgão estadual correspondente, informações sobre geração, características, armazenamento, transporte e destinação de seus resíduos sólidos. A Resolução 330 instituiu a Câmara Técnica de Saúde, Saneamento Ambiental e Gestão de Resíduos, com a finalidade de propor normas e critérios para o licenciamento ambiental de atividades potenciais ou efetivamente poluidoras (AFONSO, 2005). Ainda em 2005 (BRASIL, 2005) o CONAMA baixou a Resolução 357, dispondo sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelecendo as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Apesar de diversas ações isoladas, essa questão precisa ser encarada coletivamente por toda a comunidade científica e pelos órgãos de fomento, dada a sua relevância. O primeiro passo para enfrentar esse desafio é assumir conscientemente a responsabilidade para com os rejeitos gerados nos laboratórios de ensino e pesquisa e, depois, lutar pelo estabelecimento de uma política institucional de gerenciamento desses resíduos.

Durante o 3.º Encontro Nacional de Segurança em Química, realizado em 2004, foi elaborado pelas instituições participantes, um documento intitulado “CARTA DE NITERÓI”, propondo ações visando a implementação de programas na área de gerenciamento de resíduos perigosos e, em âmbito mais geral, da gestão ambiental, sugerindo aos órgãos de financiamento e regulamentação do ensino e pesquisa no país (SBQ, 2005):

- que sejam alocados fundos e lançados editais específicos para Gestão Ambiental e Gerenciamento de Resíduos Perigosos nas Instituições de Ensino e Pesquisa;
- que se crie um grupo de trabalho de especialistas para propor Normas de Segurança em Química para as Instituições de Ensino e Pesquisa;
- que se crie um grupo de trabalho de especialistas para estruturar o gerenciamento de resíduos perigosos visando o futuro licenciamento ambiental nas Instituições de Ensino e Pesquisa; e
- que se inclua como critério de qualidade, para fins de avaliação por parte do MEC e da CAPES, a existência, ou projeto em implantação, de programa de gestão de resíduos perigosos em cursos de graduação e pós-graduação das Instituições de Ensino e Pesquisa.

2. Desenvolvimento

Fomentou-se uma metodologia com a inclusão de uma consciência ética, com relação ao uso e ao descarte de produtos químicos, buscando atingir os 5 Rs da Agenda 21: **reduzir**, **recuperar**, **reutilizar**, **reaproveitar** e **reprojetar**. Assim, muitas vezes o que era resíduo químico transformou-se em produto químico recuperado, ficando disponível para reutilização.

Normalmente, ao ser implementado, um programa de gestão contempla dois tipos de resíduos: o *ativo*, fruto das atividades rotineiras dentro da unidade geradora, e o *passivo*, que compreende todo aquele resíduo estocado, via de regra não caracterizado, aguardando destinação

final. Esse último inclui desde restos reacionais, passando por resíduos sólidos, até frascos de reagentes ainda lacrados, mas sem rótulos (ALBERGUINI, 2003). As unidades geradoras do UNIPAM não têm o passivo. Se, por um lado, a inexistência desse estoque muito facilita na implementação do Programa de Gestão, por outro lado, mostra a realidade com que os resíduos sempre foram tratados na Instituição.

Para o desenvolvimento deste trabalho, nenhum método sofisticado de análise foi empregado. Todos os roteiros foram baseados na aplicação de ensaios clássicos por via úmida aos materiais em estudo, os quais possibilitaram, pelo menos na maioria dos casos, a indicação de uma substância ou grupo de substâncias que pudessem atender aos objetivos dos 5Rs da Agenda 21.

O presente trabalho foi desenvolvido nos laboratórios de química da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras e, para ordená-lo, ficou estabelecido o fluxograma apresentado na Figura 1. Toda ação foi precedida da investigação mecanística das reações envolvidas, obtendo-se, assim, uma garantia da qualidade dos analitos gerados e da eficiência do tratamento efetuado. Foram estudados resíduos gerados apenas em aulas práticas de química orgânica e de química inorgânica, ministradas para os cursos de agronomia, farmácia, nutrição e química, seguindo roteiros elaborados por Peres (2006; 2007) e Ianhez (2005) Atualmente estão sendo geridos os resíduos gerados nos laboratórios de fitoquímica e de química farmacêutica, ambos do curso de farmácia.

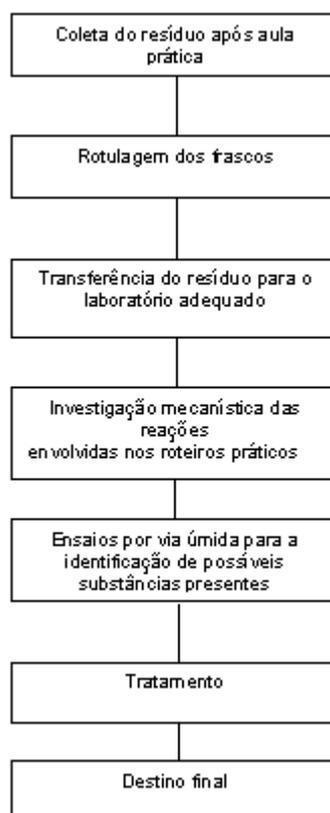


Figura 1. Fluxograma proposto para a implementação do programa de gestão de resíduos químicos no UNIPAM.

2.1. Gestão do resíduo gerado na síntese da acetanilida

A acetanilida, uma amida *N*-substituída, pode ser sintetizada por meio de uma reação de acetilação da anilina, a partir do ataque nucleofílico do grupo amino no carbono carbonílico do anidrido acético, seguido de eliminação do ácido acético, formado como um subproduto da reação.

Seguindo o roteiro proposto por Peres (2007), depois da aula prática foram recolhidos onze litros de resíduo monofásico e incolor, provavelmente constituído por acetanilida, ácido acético e cloreto de sódio, segundo o mecanismo mostrado na figura 2.

Para o tratamento do referido material, foi realizada inicialmente uma destilação simples, a qual forneceu um concentrado, provavelmente constituído de acetanilida e cloreto de sódio, e um destilado incolor formado provavelmente por ácido acético e água.

Ao concentrado foi adicionada água gelada e por meio de filtração simples, obteve-se um resíduo branco e um filtrado incolor. O resíduo foi seco e identificado como acetanilida (p.f. 114°C, não corrigido), em quantidade bastante significativa: 34,70 g. Isso confirma uma falha no procedimento da prática, a qual, sugere-se, deve ser reprojetaada.

Uma alíquota do filtrado foi tratada com nitrato de prata, o que confirmou a presença do cloreto de sódio previsto no mecanismo, pela formação de precipitado branco. Feita a evaporação total do solvente, o cloreto de sódio foi recuperado e purificado, obtendo-se a massa de 54,02 g.

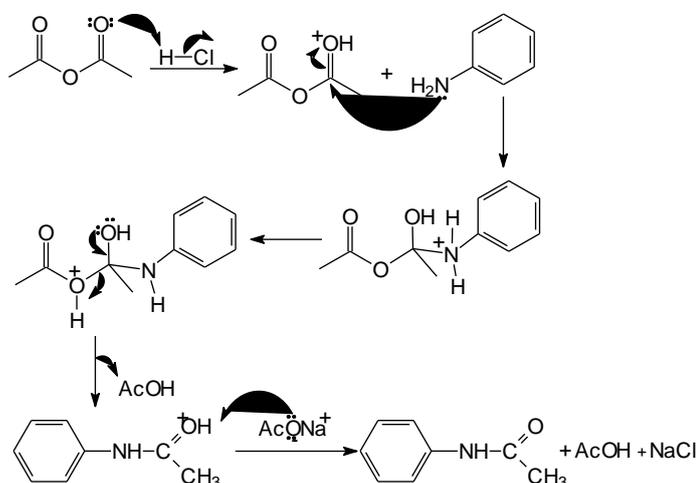


Figura 2. Mecanismo da síntese da acetanilida

O destilado foi neutralizado com hidróxido de sódio, resultando em acetato de sódio, assim identificado por teste de chama e água. O solvente foi totalmente evaporado e desse modo separaram-se 151,29g de acetato, que foram purificadas e armazenadas para reutilização.

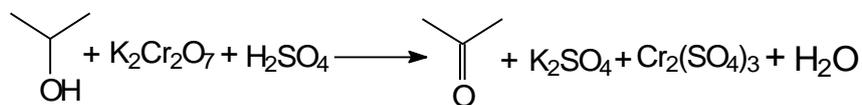
Com este tratamento, nenhum resíduo foi descartado na pia do laboratório. Além disso, para comprovar que realmente o processo precisa ser reprojetoado, foram feitos os cálculos da economia atômica para a reação, obtendo-se 67,9 %, a partir dos dados constantes do Quadro 1.

	Fórmula Química	Massa do reagente (g)	Átomo(s) utilizado(s)	Massa do(s) átomo(s) utilizado(s) (g)	Átomo(s) não utilizado(s)	Massa do(s) átomo(s) não utilizado(s) (g)
1	C ₄ H ₆ O ₃	102	2C, 3H, 1 O	43,0	2C, 3H, 2 O	59
2	HCl	36,5	1Cl	35,5	1H	1
3	C ₆ H ₇ N	93	6C, 6H, 1N	92,0	2H	2
4	CH ₃ COOH	60	2C, 4H, 2 ^o	60,0	-	-
5	CH ₃ COONa	82	1Na	23,0	2C, 3H, 2 O	59
Total		373,5		253,5		121

Quadro 1. Dados para o cálculo da economia atômica da síntese da acetanilida

2.2. Tratamento do resíduo gerado na oxidação do propan-2-ol

A oxidação do álcool isopropílico (propan-2-ol) por dicromato de potássio em meio sulfúrico produz acetona e esta prática tem sido realizada pelos cursos de farmácia e de química, seguindo roteiro proposto por Peres (2007). O cálculo da economia atômica mostrou um resultado próximo de 80% mas o processo apresenta um inconveniente: a enorme quantidade utilizada do agente oxidante e do resíduo gerado, dotado de grande capacidade poluidora. Procurou-se portanto fazer o tratamento visando os objetivos da química verde, ou seja, reduzindo o impacto ambiental do agente poluidor. A reação pode ser resumida pela seguinte equação:



Desta prática foram recolhidos onze litros de resíduos de cor esverdeada, constituídos supostamente de sulfato de crômio (III), sulfato de potássio e excesso de ácido sulfúrico, esse último por ter sido o único ácido utilizado na reação e devido ao pH 1,21 medido em pH metro.

Para a gestão deste resíduo, gerado na síntese da acetona, foi proposto o fluxograma da figura 3.

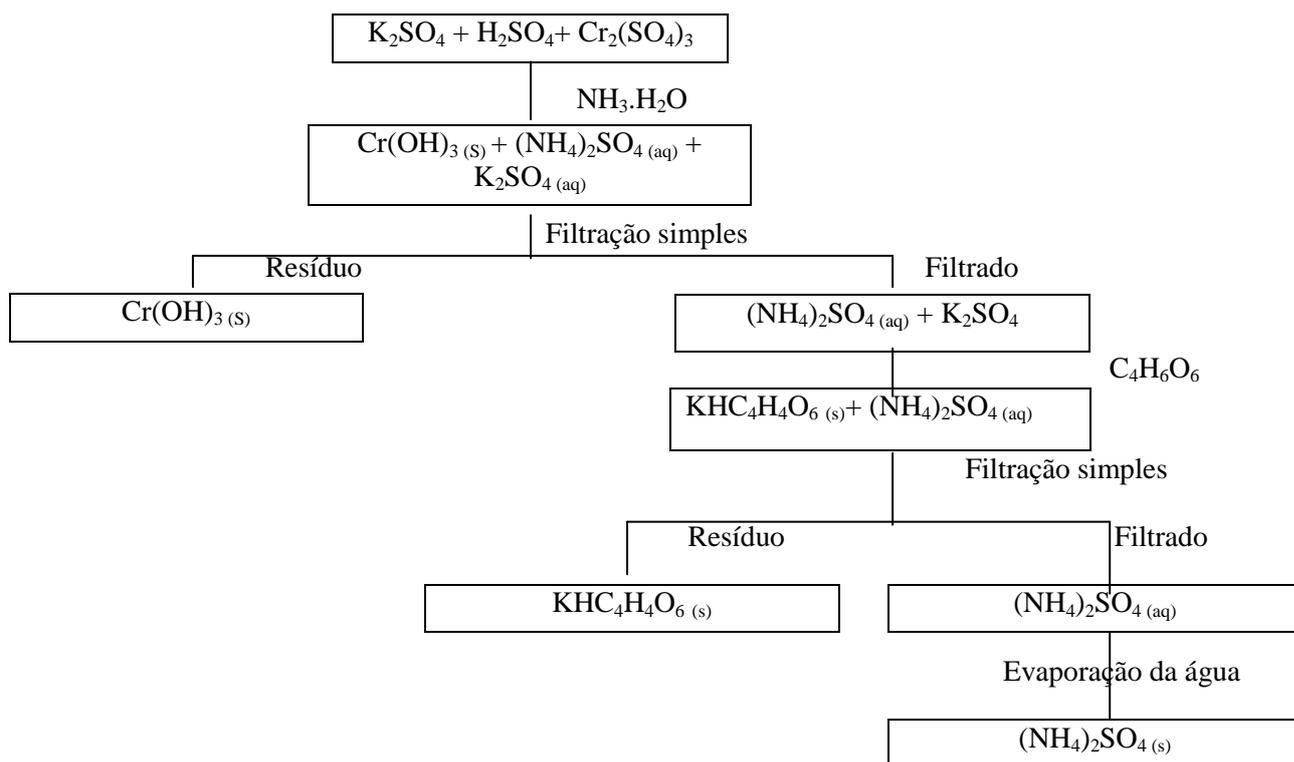


Figura 3. Fluxograma para o tratamento do resíduo da síntese da acetona

O primeiro passo para a gestão do resíduo foi o seu tratamento com amônia líquida, com o objetivo principal de neutralizar o excesso de ácido. O produto desta reação foi então submetido a uma filtração simples, originando um resíduo com características próprias do hidróxido de Cromo (III), um composto gelatinoso e de coloração verde-azulada, e de pH 8,9. Esta hipótese foi confirmada por meio de testes de oxidação com peróxido de hidrogênio e, depois de seco, o resíduo foi armazenado para uso em aulas de química inorgânica.

O filtrado obtido nessa etapa, de acordo com a previsão reacional, era constituído de sulfato de potássio e sulfato de amônio, ambos solúveis. Para separá-los, foi feito o tratamento com ácido tartárico, obtendo-se hidrogenotartarato de potássio, pouco solúvel, enquanto que o sulfato de amônio permaneceu inalterado. O produto foi então submetido à filtração simples, separando o resíduo do ácido tartárico, que foi secado em estufa a 60 °C por 48 horas e em seguida armazenado para utilização em outras aulas práticas. O filtrado, por sua vez, foi caracterizado como solução de sulfato de amônio, reagente muito utilizado em aulas práticas de química geral e como fertilizante. Promoveu-se a evaporação total do solvente, obtendo-se finalmente o produto seco, o qual foi purificado e armazenado para uso posterior.

2.3. Gestão do resíduo gerado na síntese do *m*-dinitrobenzeno

A síntese do *m*-dinitrobenzeno constitui-se em um ótimo exemplo de reação de substituição eletrofílica aromática e tem sido ministrada para os cursos de farmácia e de química, seguindo roteiro proposto por Peres (2007). Os produtos da reação podem ser previstos pelo mecanismo apresentado na figura 4.

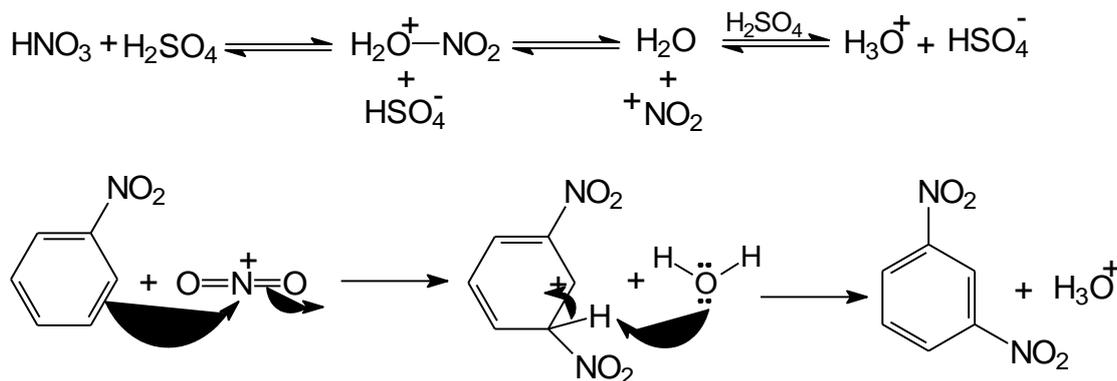
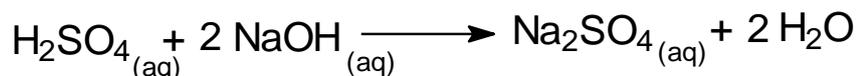


Figura 4. Mecanismo para a síntese do *m*-dinitrobenzeno

A análise do mecanismo apresentado na figura 4 permite inferir que os produtos resultantes da reação são *m*-dinitrobenzeno, água e ácido sulfúrico. Este último, provavelmente na mesma quantidade que foi adicionada inicialmente ao ácido nítrico, uma vez que sua ação na reação foi apenas catalítica.

Resultaram da referida aula prática cerca de 40 litros de um resíduo homogêneo, de cor amarelada e de odor característico de *m*-dinitrobenzeno. Feita a medida do pH, encontrou-se o valor de 3,67, o que comprovou a existência de ácido em quantidade incompatível para o descarte adequado de acordo com as normas do CONAMA.

Promoveu-se então uma destilação simples do resíduo, obtendo-se um destilado incolor e inodoro, o qual foi identificado como solução de ácido sulfúrico, mediante reação de uma alíquota com hidróxido de bário e obtenção de um precipitado branco. Este destilado foi então neutralizado com hidróxido de sódio de concentração 1,0 mol/L, de acordo com a reação expressa pela seguinte equação:



Promoveu-se a evaporação do solvente do produto dessa neutralização, obtendo-se um sal branco, identificado como sulfato de sódio, o qual foi purificado e armazenado para uso posterior.

O concentrado resultante da destilação simples foi recristalizado em etanol fervente em refluxo e, depois de filtrado a quente, originou um sólido amarelo claro, identificado como *m*-dinitrobenzeno pelo ponto de fusão (89,8 °C não corrigido).

Portanto, com esta gestão sustentável, evitou-se que 40 L de resíduo inadequado para descarte na pia do laboratório fossem assim descartados, reduzindo a zero o impacto ambiental que isto provocaria.

2.4. Gestão do resíduo gerado na síntese do $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

A síntese do sulfato de ferro (II) heptaidratado tem sido utilizada como uma maneira de ensinar a técnica de construção de fluxogramas químicos em aulas práticas de química geral para os cursos de Agronomia e de Química. No UNIPAM estas aulas têm sido realizadas seguindo roteiro proposto por Peres (2006), adaptado de Almeida (1998). Quando ministrada para o curso de Química, que possui apenas quatro grupos de quatro alunos em cada um, são gerados em média apenas 900 mL de resíduo heterogêneo esverdeado. No entanto, para as turmas de Agronomia esse volume ultrapassa 16 litros e mostra-se inadequado, segundo as normas do CONAMA, para ser descartado na pia do laboratório.

A previsão reacional para os produtos obtidos pode ser feita pela análise da reação expressa pela seguinte equação:



O gás que é produzido durante o experimento é recolhido em um balão de borracha e no final da aula é submetido à combustão, a qual ocorre com uma grande explosão. Para separar os cristais de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ da sua solução aquosa usa-se etanol absoluto. Deste modo, o resíduo a ser gerido é constituído supostamente por impurezas do metal (normalmente utiliza-se uma bucha de lã de aço), excesso de ácido sulfúrico, sulfato não retido pelo filtro, etanol e água. Para sua gestão foi então proposto o fluxograma da figura 5, adaptado de Cardoso et al (2006):

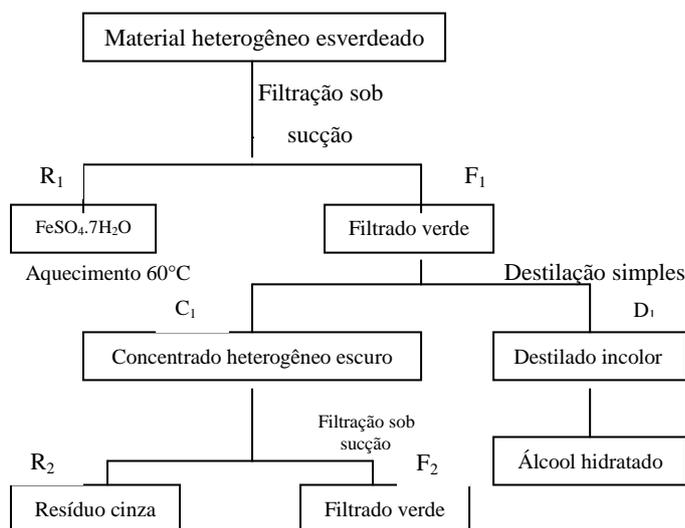


Figura 5. Fluxograma para gestão do resíduo resultante da síntese do $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Inicialmente, foi realizada uma filtração simples do material heterogêneo esverdeado, o que resultou em um resíduo verde (R_1) e um filtrado verde (F_1). O resíduo verde (R_1) foi levado à estufa a 60 °C para retirada da umidade e, após esse procedimento foi pesado, obtendo-se a

massa seca de 33,71g. Esse material foi identificado como sulfato de ferro (II) heptaidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), em função da previsão mecanística reacional e da coloração característica deste sal. Posteriormente ele foi armazenado em frasco devidamente rotulado e disponibilizado para reutilização.

O filtrado (F_1), um material homogêneo verde, foi submetido à destilação simples, resultando em 580 mL de um destilado (D_1) e um concentrado (C_1). O destilado (D_1), mostrou-se como um azeótropo etanol/água, assim identificado pelo teste de inflamabilidade. Este material teve sua concentração medida por pesa-álcool “Gay Lussac”, resultando na graduação 60° GL, sendo então armazenado em frasco devidamente rotulado e enviado para ser utilizado como produto de limpeza.

O concentrado (C_1), constituído de um material heterogêneo, foi filtrado, resultando em um resíduo cinza (R_2), constituído supostamente de restos de esponja de aço e excesso de ácido sulfúrico e um filtrado verde (F_2). O referido resíduo foi descartado no lixo e o filtrado verde encaminhado para o tratamento.

Mediu-se o pH de F_2 em pH metro, obtendo-se valor negativo. A uma alíquota deste filtrado, acrescentou-se cloreto de bário, ocorrendo a formação de um precipitado branco identificado como sulfato de bário, o que confirmou a presença de ácido sulfúrico. Este ácido foi então neutralizado com hidróxido de sódio 2,0 mol/L, de acordo com a seguinte equação:



Promoveu-se finalmente a evaporação do solvente, obtendo-se um sal branco identificado como sulfato de sódio, o qual foi purificado e disponibilizado para utilização em outras aulas.

2.5. Estudo do resíduo da prática “Purificação de Reagentes”

Outro resíduo que teve proposta de gestão no presente trabalho foi o resultante da aula prática “Purificação de Reagentes a Frio e a Quente”, ministrada para os cursos de Agronomia e de Farmácia do UNIPAM, segundo roteiro proposto por Ianhez (2005), adaptado de Almeida (1998). Dessa aula foram recolhidos e tratados 500 mL de resíduo homogêneo de cor amarelada, quando ministrada para o curso de Farmácia. No entanto, nas aulas da Agronomia foram produzidos seis litros, os quais se mostraram inadequados para o descarte de acordo com as normas do CONAMA. O procedimento descrito no roteiro foi o seguinte:

“4. Procedimento

4.1. Triture o sal de cozinha em almofariz, separando uma porção de 20 g. Transfira o sal triturado para um béquer de 250 mL e adicione 50 mL de água destilada. Agite com um bastão de vidro por 5 minutos, tentando dissolver o máximo possível. Transfira a solução saturada para um kitasato conectado com um gerador de cloro e com um béquer contendo solução diluída de hidróxido de sódio, de acordo com a figura abaixo. Trabalhando na capela, inicie a fabricação de Cl_2 , gotejando HCl sobre o MnO_2 , deixando borbulhar o gás por 1 minuto. Se necessário, aqueça o kitasato contendo MnO_2 para aumentar o rendimento de Cl_2 . Após o borbulhamento, desligue o aparelho e retire o kitasato contendo a solução saturada de NaCl, transferindo-a para um béquer

adequado. Adicione, então, álcool etílico absoluto até a precipitação do sal e filtre sob sucção. Seque em estufa a 105 °C pese e calcule o rendimento”.

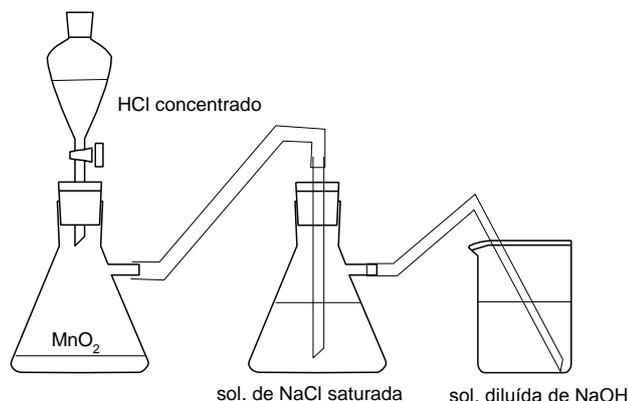


Figura 6. Dispositivo utilizado na fabricação do gás cloro

Os 500 mL de resíduo resultantes desse procedimento eram supostamente constituídos de ácido clorídrico e dióxido de manganês em excesso, cloreto de manganês (II) (MnCl_2), cloreto de sódio (NaCl), álcool etílico, água e impurezas solúveis. Tal afirmação é suportada pela previsão mecanística da produção de gás cloro a partir de ácido clorídrico concentrado e dióxido de manganês, seguida do seu borbulhamento em solução saturada de cloreto de sódio comum, como sugere o roteiro da prática no procedimento 4.1. Assim, os 500 mL de resíduos foram considerados como a mistura de (A) e (B), constantes do esquema da figura 7.

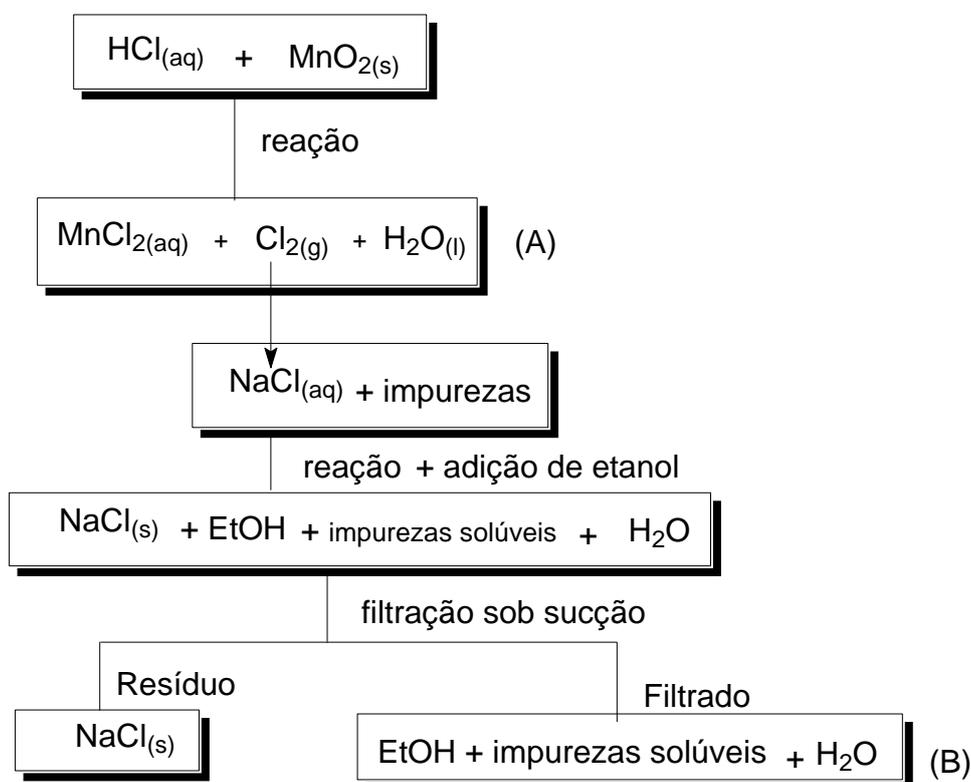
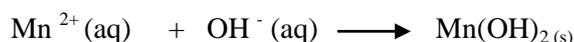


Figura 7. Fluxograma proposto para o tratamento do resíduo gerado na produção de gás cloro

Para o planejamento da gestão do resíduo resultante da mistura de (A) e (B) foi inicialmente medido o pH do material em pH metro Marte, modelo MB-10, calibrado com soluções tampão de pH 4,00 e 7,00, obtendo-se valor negativo, o que comprovou o excesso de HCl no meio. Esse resultado também mostrou que o resíduo não se encontrava em condições de ser descartado adequadamente, de acordo com a Resolução do CONAMA.

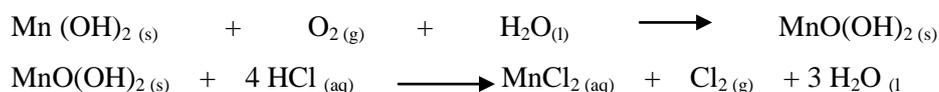
Seguindo-se à determinação do pH, separou-se uma alíquota do resíduo, adicionando-se a ela solução de nitrato de prata (AgNO_3) o que resultou na formação de um precipitado branco, confirmando a presença de cloreto no meio (VOGEL, 1981).

Adicionou-se a outra alíquota hidróxido de sódio (NaOH) a 25%, gota-a-gota, observando-se a formação de um precipitado marrom. Segundo a previsão mecanística o produto formado é o hidróxido de manganês (II):



Acontece que a literatura registra esse hidróxido como dotado de coloração branca e não marrom. Diante de tal resultado optou-se por acrescentar HCl concentrado, gota-a-gota, observando-se a diluição do precipitado, o que resultou em um sistema homogêneo de coloração amarelada. Para fins de comparação separou-se uma alíquota de uma solução conhecida de Mn^{2+} realizando-se com ela os mesmos testes anteriormente descritos. Formou-se um precipitado branco, conforme esperado, e observou-se também o escurecimento da superfície de contato do material, a qual ficou de coloração marrom, observando-se a diluição do precipitado logo após o acréscimo de HCl 1:1.

Diante dos ensaios realizados pôde-se concluir que estavam presentes no resíduo íons cloreto, próton e manganês. Segundo ensaios realizados, o manganês encontrava-se sob a forma de Mn^{2+} que evoluiu a Mn^{4+} , o qual originou o precipitado de cor marrom, de acordo com as equações apresentadas a seguir:



Para verificar se havia álcool presente no resíduo realizou-se o teste de inflamabilidade e, para a confirmação do cátion sódio (Na^+), realizou-se o ensaio do teste da chama obtendo-se resultado negativo para ambos os ensaios. Tais ensaios constataram que o resíduo é constituído de HCl, MnCl_2 , H_2O e que foi recolhido como resíduo da prática apenas o conteúdo do kitasato, resultante do gotejamento de HCl em MnO_2 conforme representado na figura 6. Optou-se então por neutralizar este resíduo e descartá-lo.

2.6. Gestão do resíduo gerado no estudo sistemático do cobre

O estudo sistemático do cobre é feito na disciplina de química inorgânica, ministrada para os cursos de Farmácia e de Química. Para comprovar as características reacionais desse elemento, usa-se, nas aulas práticas, um roteiro proposto por Ianhez (2005), adaptado de Almeida (1998). Comprova-se nessa atividade que realmente o cobre não reage diretamente com o ácido sulfúrico, como acontece com o ferro e os outros metais mais reativos. Assim, para a obtenção do sulfato de cobre (II) o roteiro indica o seguinte procedimento:

2.2.2. Coloque cerca de 7,5 g de CuO em um erlenmeyer de 250 mL e acrescente 25 mL de solução de ácido sulfúrico a 20% v/v. Agite a mistura com bastão de vidro e deixe reagir por aproximadamente 30 minutos. Se ao final desse tempo ainda persistir algum CuO (preto) sem reagir, acrescente mais um pouco de ácido sulfúrico a 20% v/v.

2.2.3. Terminada a reação, adicione ao sistema 75 mL de água destilada e agite até a completa dissolução dos cristais de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ formados. Se necessário, aqueça um pouco. Nessa altura, se existir algum sólido no sistema, filtre em funil analítico. O $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ é muito solúvel em água e para obtê-lo na forma cristalina acrescente ao sistema um volume de etanol absoluto igual ao já existente, e agite constantemente com o bastão de vidro. Filtre sob sucção e seque o composto sólido ao ar livre.”

A previsão dos produtos obtidos pode ser feita pela análise da reação expressa pela seguinte equação:



Muito embora a equação mostre apenas a fórmula CuSO_4 pode-se reconhecer facilmente que o produto se refere à forma pentaidratada do sal, devido à sua coloração azul característica. Realmente, o sal anidro é de coloração branca, o que pode ser evidenciado tomando-se uma pequena amostra do $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ em um tubo de ensaio e aquecendo-o com a chama de um bico de Bunsen. Aos poucos vão se formando gotículas de água nas paredes internas do tubo e o sal vai se tornando esbranquiçado.

Com a aplicação do roteiro proposto em 2.2.2 e 2.2.3. para o curso de Química (turma menor) foram recolhidos 03 lotes com um total de 2800 mL de resíduo heterogêneo de coloração azul. Pela coloração característica e pela previsão reacional, pôde-se supor que tal resíduo era constituído de sulfato de cobre (II) pentaidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), ácido sulfúrico (H_2SO_4) em excesso, etanol e água. Para sua gestão foi proposto o fluxograma da figura 7.

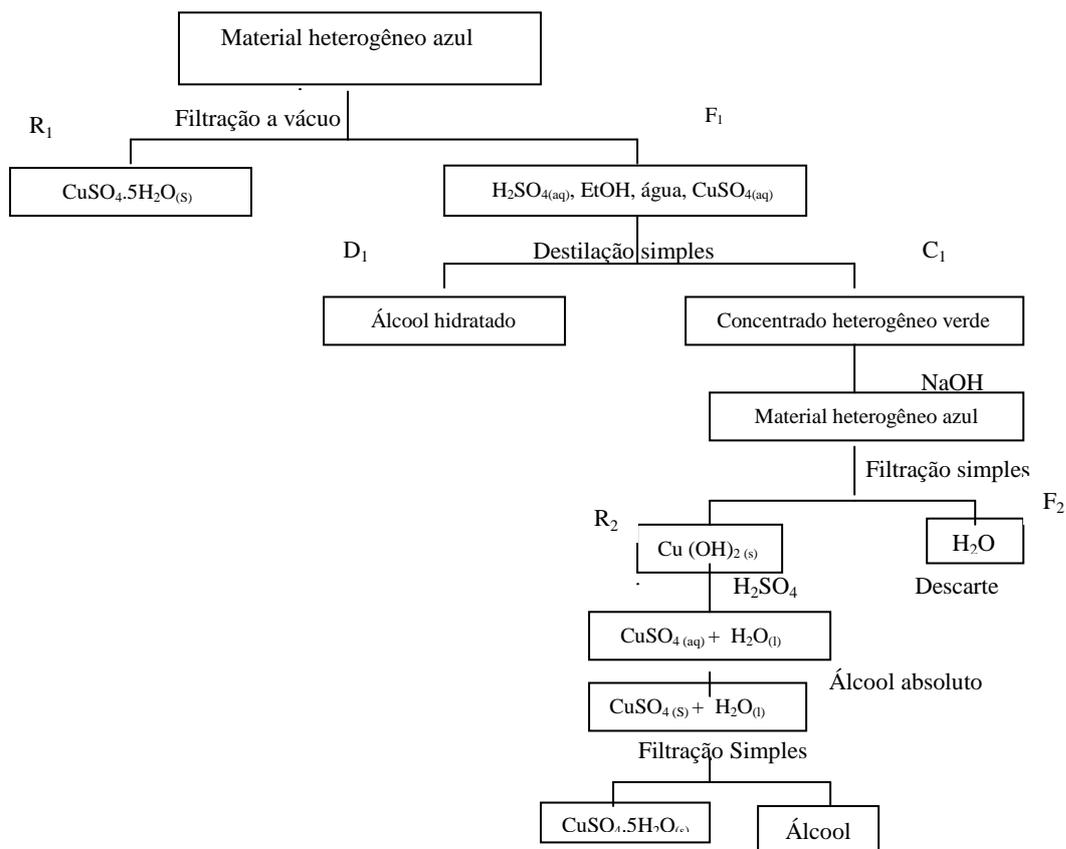
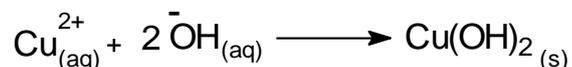
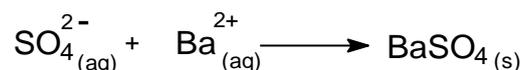


Figura 8. Fluxograma para gestão do resíduo gerado no estudo sistemático do cobre.

Inicialmente foi medido o pH de todos os lotes (L) obtendo-se os seguintes resultados: L₁, 1,03; L₂, 1,04; L₃, 1,11. Em seguida o material foi filtrado por sucção resultando em um filtrado (F₁) e um resíduo (R₁). O R₁, formado supostamente por CuSO₄.5H₂O é oriundo de restos do produto obtido na aula prática que passaram pelo filtro. Para verificação foram realizados ensaios para caracterização desse material, diluindo-se o resíduo em água e em uma alíquota adicionando-se hidróxido de sódio 0,1mol/L. Essa reação resultou na precipitação de um material com coloração azul, segundo a seguinte equação:



Em outra alíquota adicionou-se solução de cloreto de bário, ocorrendo a precipitação de um material branco decorrente da reação expressa pela seguinte equação:



Conclui-se assim que R₁ é constituído de CuSO₄.5H₂O o qual foi levado para a estufa a 60°C para retirada da umidade. Após esse procedimento foi pesado e reservado.

F₁ foi submetido a destilação, que se iniciou a 75°C, resultando em um destilado (D₁) e em um concentrado (C₁).

Com D₁, supostamente álcool hidratado, realizaram-se ensaios para verificação se também estavam presentes nesta solução os íons SO₄²⁻, Cu²⁺. Separaram-se duas alíquotas e em uma adicionou-se hidróxido de sódio 0,1mol/L e, em outra, cloreto de bário 0,1mol/L, obtendo-se um resultado negativo. Logo após foi realizado o teste de inflamabilidade, com resultado positivo, sendo assim identificado como um azeótropo etanol/água. Sua concentração medida por pesa-álcool, “Gay Lussac”, resultou em uma graduação de 48° GL. Este material foi devidamente armazenado em frasco rotulado e enviado para reutilização como material de limpeza.

O concentrado (C₁), constituído de um material heterogêneo, composto supostamente de ácido sulfúrico e sulfato de cobre (II) pentaidratado foi submetido à neutralização com hidróxido de sódio, observando-se a formação de uma pequena quantidade de precipitado azul.

Foi feita a leitura de pH, utilizando-se um pH metro, obtendo-se o valor de 13,98. Logo após adicionou-se ácido clorídrico para reduzir o valor deste pH e observou-se a formação de uma quantidade maior de precipitado. Novamente foi feita a leitura de pH com um valor de 9,46. Submeteu-se então o material a uma filtração simples, o que resultou em um filtrado (F₂), que foi descartado, e um resíduo (R₂).

R₂ é supostamente Cu(OH)₂, considerando-se a previsão mecânica e sua coloração característica. Foram então realizados os seguintes ensaios para determinação desse resíduo: em uma alíquota acrescentou-se ácido clorídrico até a solubilização de todo o precipitado e logo após acrescentou-se NH₃.H₂O ocorrendo novamente uma precipitação. Após os ensaios, tendo-se confirmado a presença de Cu(OH)₂, adicionou-se ácido sulfúrico para diluição do mesmo e logo após álcool absoluto até a precipitação completa do sulfato de cobre (II). Esse material foi separado por filtração e levado a estufa à 60°C para retirada da umidade e juntado ao material obtido no princípio. Foi pesado e armazenado em um frasco devidamente rotulado e enviado para reutilização.

3. Considerações finais

O presente trabalho mostra que um programa de gestão e gerenciamento de resíduos no UNIPAM é viável e indispensável, não somente daqueles gerados das práticas laboratoriais em aulas dos diversos cursos que oferecem a disciplina de Química, como também daqueles produzidos nos trabalhos de iniciação científica atualmente em grande número na instituição.

O seu desenvolvimento proporcionou uma experiência grande em Química, o que neste caso, provocou uma enorme preocupação acerca de todo tipo de substância que é descartada indiscriminadamente na pia dos laboratórios.

Acompanhando a tendência mundial, o presente trabalho fez avançar no UNIPAM uma área de fronteira do conhecimento, a chamada “química verde”, um conjunto de diretrizes voltado à redução do impacto ambiental dos processos químicos. Fomentou-se uma metodologia com a inclusão de uma consciência ética, nos cursos de Farmácia e de Química, com relação ao uso e ao descarte de produtos químicos, resultantes de atividades de ensino e de pesquisa, buscando atingir os 5 Rs da Agenda 21: **reduzir**, **reutilizar**, **recuperar**, **reaproveitar** e **reprojetar**.

Com a presente ação, mais de 200 litros de resíduos químicos deixaram de ser descartados nas pias do laboratório, evitando-se assim o impacto ambiental que poderia ser causado pelos elementos e substâncias envolvidas. Vale ressaltar também a recuperação de grande quantidade de reagentes e ainda de álcool etílico utilizado nos processos de cristalização. Conclui-se daí a importância de se promover o tratamento de resíduos, transformando-os em matéria-prima para ser reutilizada em outros processos, atingindo-se assim os objetivos do presente trabalho.

Referências

AFONSO, J. C.; SILVEIRA, J. A.; OLIVEIRA, A. S.; LIMA, R. M. G. Análise sistemática de reagentes e resíduos sem identificação. *Química Nova*, v. 28, n. 1, p. 157-165, 2005.

ALBERGUINI, L. B. A.; SILVA, L. C.; REZENDE, M. O. O. Laboratório de resíduos químicos do campus USP - São Carlos – resultados da experiência pioneira em gestão e gerenciamento de resíduos químicos em um campus universitário. *Química Nova*, v. 26, n. 2, p. 291-295, 2003.

ALMEIDA, P. G. V. (org.). *Química geral, práticas fundamentais*. 3. ed., Viçosa-MG: Editora UFV, 1998. 111 p.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução n.º 357, de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 mar. 2005. Disponível em < <http://www.notadez.com.br/conten/normas.asp?id=8284> >. Acesso em Agosto. 2007.

CARDOSO, Bruno Dias et al. Gerenciamento do Resíduo gerado da síntese do sulfato de ferro (II) heptaidratado, in: *Anais do I Encontro de Química do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba*. Uberlândia, MG: Gráfica Composer Editora Ltda, 2006. p 162-164.

IANHEZ, R. *Aulas Práticas de Laboratório de Química Inorgânica*. Patos de Minas: UNIPAM, 2005. 55 p. Apostila.

JARDIM, W. F. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. *Química Nova*, v. 21, n. 5, p. 671-673, 1998.

PERES, V. *Aulas Práticas de Laboratório de Química Fundamental*. 5 ed. Patos de Minas: UNIPAM, 2006. 59 p. Apostila.

_____. *Aulas Práticas de Química Orgânica I e II*. 5 ed. Patos de Minas: UNIPAM, 2007. 63 p. Apostila.

SBQ. Carta de Niterói. *Química Nova*, v. 28, n. 1, p. 1, 2005.