

# GERENCIAR RESÍDUOS QUÍMICOS: UMA NECESSIDADE

PAIM, C.P.; PALMA, E.C.; EIFLER-LIMA, V.L.

Laboratório de Síntese Orgânica de Fármacos, Faculdade de Farmácia da UFRGS.

**RESUMO:** A geração em grande escala e o armazenamento incorreto de resíduos químicos é um problema sério nas Instituições Superiores de Ensino. Devido a isto, este artigo apresenta sugestões para o gerenciamento e o descarte dos principais resíduos químicos gerados. Para iniciar um programa de gerenciamento é necessária a segregação dos diferentes tipos de resíduos químicos gerados, visando facilitar o seu tratamento e disposição final. Também são sugeridas algumas regras que deveriam ser seguidas para o correto armazenamento dos resíduos: desde a verificação da adequação do recipiente de armazenagem até a compatibilidade entre os resíduos armazenados. Em relação ao descarte, o artigo apresenta sugestões sobre o correto descarte ou o possível reaproveitamento de uma série de resíduos de diferentes classes químicas.

**UNITERMOS:** Resíduos químicos, gerenciamento, minimização, descarte, reaproveitamento, tecnologia limpa.

**ABSTRACT:** *MANAGEMENT OF CHEMICAL RESIDUES: A NECESSITY.* The large scale generation of chemical residues and its storage constitute a serious problem in university laboratories. To initiate a residue management program, it's necessary to proceed a correct separation of the different kinds of chemical residues, in order to apply the best treatment and final disposition. In this paper, some attitudes are suggested towards the best way of discard toxic residues produced in chemistry laboratories. Some rules are also proposed, which may be follow in order to achieve a safe storage of chemical residues such as the simple verification of the possible compatibilities among the residues in storage. The authors suggest appropriate discard and adequate procedures for a series of residues of different chemical substances.

**KEYWORDS:** Chemical Residues, Management, Minimization, Discard, Reutilization, Clean Technology.

## INTRODUÇÃO

Laboratórios de instituições de ensino, de fiscalização do governo, empresas de consultoria ou fábricas, ainda tem tido pouca preocupação com relação aos resíduos gerados em suas atividades analíticas ou de produção<sup>5</sup>. A problemática causada pela geração de resíduos químicos não pode mais ser colocada em segundo plano. De maneira generalizada, observa-se que, nos laboratórios de diversos institutos e departamentos das universidades, a geração de resíduos não é gerenciada e o descarte inadequado continua a ser praticado. Frequentemente observam-se laboratórios armazenando uma grande quantidade de frascos sem a identificação do seu conteúdo ou apenas rotulados com a inscrição "resíduo químico". Este tipo de posicionamento se opõe ao principal papel da universidade que, freqüentemente, avalia e critica os impactos causados por outras unidades geradoras de resíduos.

O desenvolvimento de tecnologias que permitam a obtenção de novos produtos, sejam eles fármacos ou outras substâncias, não deve visar apenas o sucesso das reações envolvidas nas diversas etapas de uma síntese. Uma tecnologia realmente moderna deve, igualmente, estar atenta aos aspectos relacionados com os resíduos gerados no processo. É de extrema importância a busca de rotas sintéticas que gerem efluentes de baixa toxicidade e/ou que possam ser facilmente reaproveitados, reciclados ou neutralizados. Não apenas por razões ecológicas, mas também por razões econômicas, sabe-se que a melhor rota sintética é aquela que não gera resíduos o que normalmente é difícil de ocorrer. Contudo, a otimização de uma determinada síntese é um objetivo que deve sempre ser priorizado<sup>14</sup>. Atualmente é obrigatório o desenvolvimento de tecnologias que considerem a questão da poluição e do impacto ambiental. A Resolução nº 283, de 12 de julho de 2001 define o Plano de

Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS), contemplando os aspectos referentes à geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, bem como a proteção à saúde pública, devendo ser elaborado pelo gerador dos resíduos e de acordo com os critérios estabelecidos pelos órgãos de vigilância sanitária e meio ambiente federais, estaduais e municipais<sup>2</sup>.

Portanto, o gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de pesquisa e ensino é uma necessidade e a implementação de um sistema de gestão para estes produtos é de extrema importância<sup>5</sup>. Frente a esta problemática, este trabalho pretende expor, em linhas gerais, algumas metodologias básicas, de fácil aplicação, que permitam um melhor gerenciamento dos resíduos químicos gerados em laboratórios de ensino e pesquisa, principalmente nas universidades.

### 1. Implementação de um Plano de Gestão

A correta implementação de um sistema de gestão de resíduos inicia com o conhecimento do problema e quais os caminhos adequados para administrá-lo e resolvê-lo. O passo seguinte é a conscientização e divulgação da problemática causada pela geração de resíduos e quais as medidas corretas a serem tomadas. A seguir é importante que se busque a mudança de atitudes do pessoal envolvido com as atividades geradoras, devendo ficar claro que os resultados obtidos são de médio a longo prazo. Em uma universidade é importante, sobretudo, que o programa tenha apoio da instituição, priorize o lado humano do programa frente o tecnológico, divulgue de forma clara as metas de cada fase e reavalie continuamente os resultados, de acordo com os objetivos estipulados<sup>5</sup>.

Um importante passo para o início do programa de gestão é a diferenciação de dois tipos de resíduos. O **resíduo ativo** que corresponde àquele resíduo gerado continuamente nas atividades rotineiras, o principal alvo do programa de gestão, cujo exemplo a ser citado são os solventes utilizados em uma determinada reação química. Enquanto que aquele que está estocado, e, geralmente não está caracterizado, é chamado de **resíduo passivo**. No Brasil observam-se de poucas unidades apresentam este último tipo de resíduo, fato preocupante, já que demonstra o descarte incorreto de resíduos gerados<sup>5</sup>.

As atividades implementadas num laboratório de ensino e pesquisa devem seguir uma determinada hierarquia e procedimentos padronizados, que podem ser assim definidos:

1. Prevenir a geração de resíduos;
2. Minimizar a proporção de resíduos perigosos que são inevitavelmente gerados;
3. Segregar e concentrar correntes de resíduos de modo a tornar viável a atividade gerenciadora;
4. Reuso interno ou externo;
5. Reciclar o material ou componente energético do resíduo;
6. Manter todo o resíduo produzido na forma mais passível de tratamento;
7. Tratar e dispor o resíduo de maneira segura<sup>5</sup>.

A seguir serão apresentadas sugestões para segregação de resíduos, um dos principais itens na hierarquia para gestão dos mesmos. Estas sugestões são baseadas em sistemáticas adotadas em algumas instituições para esta finalidade. A segregação dos resíduos é fundamental para o tratamento e disposição final dos mesmos.

### 2 Segregação e classificação de resíduos

O Instituto de Química da UNICAMP<sup>5</sup> desenvolve um trabalho consistente no controle dos resíduos, que são segregados em cinco grupos:

- (a) clorados;
- (b) acetatos e aldeídos;
- (c) ésteres e éteres;
- (d) hidrocarbonetos;
- (e) álcoois e cetonas.

Esta classificação apresentada é aplicável a diversos tipos de laboratórios que utilizem reagentes químicos. Após reciclagem e reaproveitamento, estes são enviados para uma empresa de incineração, tema que será abordado posteriormente<sup>2</sup>.

Um resíduo químico pode ainda ser considerado de risco, quando listado especificamente em publicações dos órgãos oficiais de controle, nacionais e internacionais, ou se ele se enquadra em uma das quatro características a seguir:

- (a) **Resíduo que possa servir como fonte de ignição:** um líquido que tenha o ponto de fulgor abaixo de 140 °C, um sólido capaz de causar fogo por fricção ou absorção de umidade ou ainda que sofre mudanças químicas espontâneas que resultem em queima vigorosa e persistente.
- (b) **Resíduos corrosivos:** soluções aquosas de pH menor ou igual a 2 ou maior ou igual a 12,5.
- (c) **Resíduos reativos:** soluções aquosas de materiais instáveis que sofram mudanças químicas violentas sem detonação, possam reagir violentamente com água formando misturas potencialmente explosivas ou que

possam gerar gases perigosos ou possivelmente letais. Materiais detonantes ou explosivos também se incluem nesta classe.

(d) **Resíduo tóxico:** resíduo que contém um dos seus componentes em concentrações iguais ou maiores que os valores das tabelas de concentração máxima de resíduos tóxicos<sup>19</sup>.

Uma classificação adequada e utilizada na Faculdade de Farmácia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul é a segregação dos resíduos segundo a classe química, embora não exista ainda sistemas de tratamento e descarte adequados. A identificação e a separação destas classes são realizadas associando-se um sistema de cores, com rótulos padronizados, permitindo assim uma fácil e rápida identificação, da seguinte forma<sup>15</sup>:

**Cor Verde:** resíduos orgânicos não halogenados;

**Cor Amarela:** resíduos orgânicos halogenados;

**Cor Azul:** resíduos orgânicos ácidos;

**Cor Vermelha:** resíduos orgânicos básicos;

**Cor Branca:** mercúrio e resíduos de sais inorgânicos de mercúrio;

**Cor Branca:** resíduos de sais de metais pesados e de suas soluções, bem fechados;

**Cor Branca:** restos de sílica diversos.

O Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná tem um programa de gerenciamento de resíduos laboratoriais que adota como destinação final o co-processamento em forno de cimento. Este processo consiste em adicionar resíduos químicos, combustíveis ou não na forma de sólidos, líquidos ou semi-sólidos ao forno de cimento durante a formação do clínquer<sup>4</sup>.

Os resíduos industriais também são enquadrados e separados em algumas categorias e, neste caso, seguem determinadas regras estabelecidas por órgãos regulamentadores, como a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. O conhecimento das normas adotadas na indústria para segregação de resíduos pode ser útil se algumas dessas idéias forem adequadas para os laboratórios de ensino e pesquisa, cuja diversidade de reagentes e solventes normalmente é maior. A ABNT normatiza em nível nacional a classificação dos resíduos sólidos, sendo a NBR 10004 referenciada no Decreto 38356, de 01 de abril de 1998, que dispõe sobre a gestão dos mesmos no estado do Rio Grande do Sul<sup>12</sup>. Estas normas são bastante completas e, por si só, permitem que os técnicos classifiquem os resíduos.

Quando um resíduo tem origem desconhecida, o trabalho para classificá-lo fica muito mais complexo. A experiência e o bom senso do responsável serão fundamentais pois, a partir disso, é que se orientarão quais características e substâncias devem ser pesquisadas para posterior destinação.

Para o correto armazenamento dos resíduos classificados, algumas regras devem ser obedecidas como:

- Verificar se o recipiente para armazenar o resíduo químico é compatível com o mesmo, por exemplo, não armazenar resíduos ácidos em recipientes metálicos;
- A rotulagem deve ser padronizada, utilizando nomes químicos ou nomenclatura IUPAC, evitando-se abreviaturas, nomes comerciais ou símbolos;
- Listar cada constituinte qualitativamente e quantitativamente (quando possível);
- Metais pesados devem ser listados em mg/L;
- Não encher o recipiente, utilizar no máximo 90 % do seu volume;
- Não misturar resíduos incompatíveis<sup>3</sup>.

O próximo passo após a segregação é a minimização, juntamente com o tratamento dos resíduos, agora já classificados.

## 2.2 Minimização dos resíduos químicos

A minimização de resíduos químicos é, atualmente, a abordagem mais empregada, em que o objetivo principal é evitar, tanto quanto possível, a geração de resíduos. Dentre as medidas que podem ser tomadas para a minimização dos resíduos químicos, serão destacados a seguir alguns procedimentos simples, capazes de diminuir a quantidade de produtos residuais:

- 1) Substituições: substituir, sempre que possível, produtos perigosos ou tóxicos usados em processos por outros de menor risco. Este é o melhor caminho para minimizar, por exemplo, o uso de solventes<sup>5</sup>. As substituições são atitudes que se enquadram nos conceitos de Tecnologias Limpas, por exemplo, pode-se substituir a solução de ácido sulfocrômico por alcanox para a limpeza ou ainda a substituição de termômetros de mercúrio por termômetros de álcool<sup>3</sup>. Também se enquadram neste conceito a realização de experimentos em meio aquoso em substituição a solventes tóxicos, utilização de solventes em estado supercrítico (CO<sub>2</sub>) para extração, substituição de solventes clorados por solventes perfluorados (pois estes apresentam menor volatilidade, maior

estabilidade, e menor toxicidade) e reações em estado sólido<sup>13</sup> ou em fase sólida<sup>8</sup>.

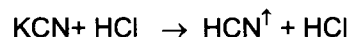
- 2) Microquímica: o uso de quantidades menores de reagentes, sem o comprometimento da eficácia das técnicas. Isto é possível a partir do momento que se torna fácil e barato a aquisição de equipamento adequados. Um bom exemplo disto é a aquisição e utilização de micropipetas e micro-buretas, ao invés do uso das tradicionais aparelhagens de titulação.
- 3) Reuso/Reciclagem: entende-se por reuso a utilização do resíduo como insumo, sem que o mesmo sofra qualquer pré-tratamento. Os produtos de reuso podem ser distribuídos para outros laboratórios em diferentes áreas da instituição. O reciclo envolve o uso do material após algum tipo de tratamento. Um bom exemplo deste processo é adotado pelo Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul que recicla o enxofre sólido gerado em experimentos de cinética química através de operações de filtragem, secagem e purificação e os encaminha para o setor de Química Inorgânica<sup>6</sup>.
- 4) Redestilação: também é um aspecto a ser novamente considerado em laboratórios que utilizam como rotina, solventes que permitam este procedimento<sup>3,5</sup>. Frequentemente é suficiente a destilação de determinados solventes em evaporador rotatório evitando contudo, a aplicação para solventes com baixo ponto de ebulição que podem contaminar e poluir o ar atmosférico<sup>14</sup>.

### 1.3 Tratamento dos resíduos<sup>10</sup>

O tratamento dos resíduos é uma das principais operações antes da destinação final dos mesmos. Este procedimento visa diminuir ao máximo problemas de toxicidade, contaminação e agressão ao meio ambiente. Muitos produtos classificados como perigosos podem, mediante reações de neutralização e inativação, ser reaproveitados (reciclagem) ou mesmo descartados, pois já não oferecem mais perigo. Deve-se proceder com cuidado estas reações, pois algumas são muito exotérmicas (usar gelo, quando possível e necessário). Contudo adverte-se que são reações perigosas e devem ser efetuadas com extrema cautela pelo pessoal de laboratório com maior conhecimento de segurança e química. Apresentaremos algumas das principais técnicas para o tratamento de resíduos.

### 1) Descarte de soluções contendo ácido cianídrico, cianetos e derivados

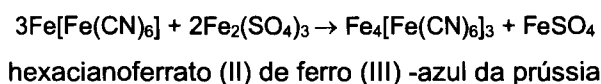
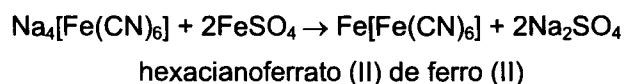
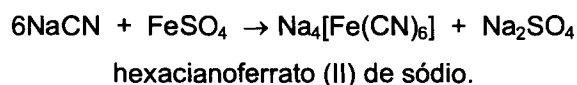
Estas soluções jamais devem ser acidificadas, pois ocorrerá a formação de ácido cianídrico (HCN), que é muito tóxico.



Concentrações ambientais, equivalentes a 270 ppm de cianeto, podem levar à morte em 5 minutos, se a ingestão for oral, 50 a 100 mg de sal de cianeto são suficientes para levar à óbito uma pessoa.

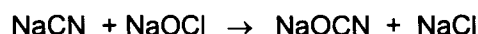
#### 1.1) Complexação com sulfato de ferro:

A solução alcalina de cianetos, tratada com excesso de sulfato de ferro, forma hexacianoferrato (II) de ferro (II), que pode ser separado por filtração ou ser transformado em hexacianoferrato (II) de ferro (III) (corante azul da Prússia), por oxidação em presença de sal de ferro (cloreto ou sulfato de ferro).

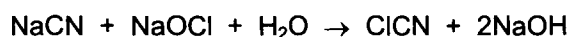


#### 1.2) Oxidação com hipoclorito de sódio<sup>10</sup>:

Os cianetos são facilmente oxidados com hipoclorito de sódio formando cianatos.



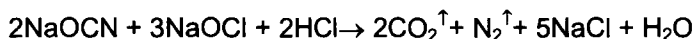
Esta reação de oxidação é realizada em duas etapas. Na primeira etapa forma-se cloreto de cianogênio (CICN):



O cloreto de cianogênio, composto muito tóxico, é destruído em meio fortemente alcalino:



Os cianatos formados, compostos pouco tóxicos, se transformam em gás carbônico e nitrogênio gasoso, por acidificação da solução e tratamento com hipoclorito de sódio.



### 2) Descarte de ácidos minerais

Os ácidos minerais são corrosivos poderosos que desnaturam facilmente as proteínas tissulares. A gravidade depende da concentração da solução e do tempo de contato com a substância química, sendo que a exposição a altas concentrações causa intensa irritação no aparelho respiratório. A ação

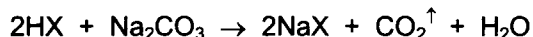
corrosiva dos mesmos sobre tubulações acentua o perigo do seu descarte em pias.

Um dos melhores procedimentos para o tratamento destes resíduos é a neutralização progressiva por uma base mineral ( $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  ou  $\text{KOH}$ ):



### 3) Descarte de ácidos orgânicos

Da mesma forma que os compostos anteriores, é feita a neutralização progressiva por uma base mineral ( $\text{NaHCO}_3$  ou  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )<sup>10</sup>:



A tabela 1 apresenta as quantidades de ácido forte que podem ser neutralizadas por 1 L de solução de hidróxido de sódio 6 M.

A melhor técnica para o descarte de aldeídos e cetonas é a oxidação a ácidos carboxílicos com permanganato de potássio.

Aldeídos  $\alpha,\beta$ -insaturados (acroleína) e cetonas  $\alpha,\beta$ -insaturadas (metilvinilcetona) podem igualmente ser oxidadas por  $\text{KMnO}_4$ .

### 4) Descarte de álcoois

Em regra geral os álcoois são produtos muito inflamáveis e devem ser eliminados isentos de halogênios. Estes produtos são passíveis de redistilação, permitindo a reciclagem e reaproveitamento dos mesmos.

Os álcoois de baixo peso molecular (ex: metanol, etanol, propanol, etilenoglicol) também são facilmente biodegradáveis em meio aquoso, podendo então, em pequenas quantidades, ser desprezados em água corrente.

### 5) Descarte de aldeídos e cetonas

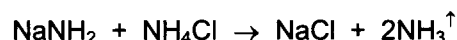
Os aldeídos simples são intermediários de síntese (formaldeído e acetaldeído) e também são usados como desinfetantes (formaldeído e glutaraldeído). As cetonas alifáticas são usadas

como meio reacional de síntese orgânica e também podem ser utilizadas como solventes (acetona, metiletilcetona, ciclohexanona), sendo eliminadas juntamente com outros solventes não halogenados.

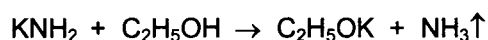
A melhor técnica para o descarte de aldeídos e cetonas é a oxidação a ácidos carboxílicos com permanganato de potássio, inclusive para aldeídos e cetonas  $\alpha$ - $\beta$ -insaturadas (acroleína e metilvinilcetona, respectivamente).

### 6) Descarte de aminas alcalinas

As aminas alcalinas ( $\text{LiNH}_2$ ,  $\text{KNH}_2$ ,  $\text{NaNH}_2$ ) são destruídas por ação de cloreto de amônio sólido em excesso, com liberação de amônia.

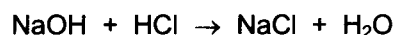


Aminas de potássio e de sódio também podem ser descartadas por adição de álcool à frio (etanol ou isopropanol).



### 7) Descarte de bases minerais

As bases minerais ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{LiOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ) podem ser descartadas através da neutralização progressiva com um ácido mineral diluído ( $\text{HCl}$  ou  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) com a formação de um sal hidrossolúvel.



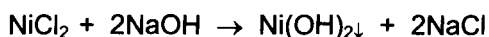
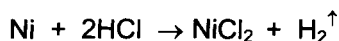
### 8) Descarte do reagente Nickel / Raney

Este reagente é utilizado em síntese orgânica para hidrogenação, mas, após a reação, estes tornam-se extremamente reativos e são facilmente inflamáveis ao ar.

**Tabela 1.** Neutralização de ácidos fortes por solução de hidróxido de sódio 6 M<sup>9</sup>.

Ácido	Quantidade (mL)	Ácido	Quantidade (mL)
Ácido acético (glacial)	342	Ácido perclórico (70%)	516
Ácido fórmico (88%)	264	Ácido fosfórico (85%)	414
Ácido clorídrico (37%)	504	Ácido sulfúrico (96%)	166
Ácido bromídrico (48%)	720	Ácido tricloroacético (20%)	4902

A reação de descarte inicia com a solubilização do níquel em HCl formando cloreto de níquel. Na segunda etapa, em presença de hidróxido de sódio, o cloreto de níquel precipita sob a forma de hidróxido de níquel.



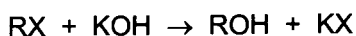
Como o níquel é um metal cumulativo, o precipitado de hidróxido de níquel deve ser eliminado como resíduo sólido.

A recuperação é feita após lavagem abundante do catalisador com água, este é recuperado em balão com agitação vigorosa na presença de excesso de água. Para 10 g de catalisador, 200 mL de água são necessários. Acrescentar 800 mL de ácido clorídrico 1 M para a completa dissolução do níquel. A partir da solução aquosa, acidificar com ácido acético e acetato de sódio até obter um pH entre 3 e 4. Gotejar hidrogenossulfato de amônio até a precipitação do sulfato de níquel.

### 9) Descarte de halogenetos de alquila, arila e de benzila

Estas substâncias são geralmente pouco inflamáveis, porém irritantes. Os compostos clorados são geralmente neurotóxicos, nefrotóxicos e hepatóxicos. Em experimentos animais também mostraram-se cancerígenos (iodeto de metila, cloreto de benzila, dicloroetano, clorofórmio, tetracloro de carbono).

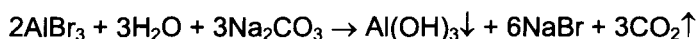
Para o correto descarte, os halogênios orgânicos são destruídos por incineração. Entretanto, anteriormente à incineração o derivado halogenado deverá estar complexado com vermiculita, carbonato de sódio e hidróxido de cálcio, a fim de evitar a formação de hidrácidos durante a combustão. Ou ainda podem ser degradados por hidrólise em meio alcalino forte, com a formação de álcoois correspondentes.



Esta reação deve ser realizada em balão com agitação magnética, termômetro, refrigeração e na presença do halogênio a ser descartado. Usar 79 g de hidróxido de potássio a 85 % em pastilhas e 315 mL de etanol a 95 %, provocar a dissolução a 55 °C. Iniciar a agitação sob refluxo e acrescentar, gota a gota, o halogênio correspondente (caso o produto apresentar-se sólido, provocar a dissolução usando etanol a 95 %). Manter o refluxo e agitação por 2 horas, para que ocorra a completa precipitação do halogenato de potássio, após diluir com excesso de água e eliminar em corrente de água.

### 10) Descarte de halogênios inorgânicos

São compostos irritantes e liberam vapores ácidos muito corrosivos, prejudiciais às vias respiratórias. Os halogênios inorgânicos são muito reativos em presença de carbonato ácido de sódio ou carbonato de sódio. É necessária a utilização de um excesso de base para dissolução do hidróxido metálico formado.



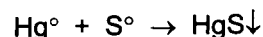
Ajustar, se necessário, a concentração de base para ocorrer a completa dissolução do precipitado. Após, descartar em água corrente.

### 11) Descarte de mercúrio e derivados

O mercúrio constitui-se um dos elementos mais tóxicos encontrados em laboratórios, mas sua toxicidade depende de sua forma química e da via de penetração. O mercúrio é volátil à temperatura ambiente e alcança rapidamente concentrações tóxicas perigosas – a dispersão de 1 cm<sup>3</sup> em um laboratório de tamanho médio pode levar a concentrações ambientais tóxicas.

Em caso de acidente com liberação de vapores de mercúrio, pode-se usar uma solução de polissulfato de cálcio a 20 %, a qual tem propriedade de absorver vapores de mercúrio.

Uma das técnicas para minimização do mercúrio é a formação de sulfeto de mercúrio, um produto insolúvel e não volátil.



Os outros métodos sugerem a formação de amálgamas de mercúrio com diferentes metais (Cu, Zn, Sn, Fe). Para a formação de amálgamas, usa-se um recipiente revestido por teflon e coloca-se para reagir com HCl 1 M e fragmentos de Fe, dissolve-se e adiciona-se, aos poucos, o mercúrio. Agita-se por duas horas.

O sulfeto de mercúrio e as amálgamas formadas podem facilmente ser recuperados ou eliminados através de resíduos sólidos, jamais eliminar estes resíduos na água corrente. O mercúrio metálico recuperado deve ser armazenado em recipientes hermeticamente fechados.

### 12) Descarte de metais e seus derivados

Muitos metais são essenciais ao organismo humano (Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co, Mo, V), mas alguns destes em doses altas podem se tornar tóxicos (Cr, Ni, Co, Mn, V).

Muitos metais apresentam toxicidade cumulativa a longo período (Hg, Pb, Cd, Mn, Ni, Cr, Be). Estes metais, na forma de sais

hidrossolúveis ou de derivados organometálicos, são transformados em compostos insolúveis e eliminados como resíduos sólidos, evitando o descarte em água corrente. Metais hidrossolúveis como Cd, Hg e Pb e metais cumulativos como Cr e Ti jamais devem ser eliminados em água corrente.

As técnicas utilizadas para transformação de sais hidrossolúveis em derivados insolúveis incluem a precipitação na forma de sulfetos insolúveis e a transformação em hidróxidos ou óxidos insolúveis. Na tabela 2 está apresentada uma escala de pH para precipitação de metais em meio de NaOH 1M.

O Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, utilizando tratamento semelhante, sugere a agregação do resíduo inorgânico e do precipitado formado em blocos de concreto<sup>6</sup>.

### 3. DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS<sup>7,9,17</sup>

A destinação final dos resíduos que não puderam ser reaproveitados, reciclados ou neutralizados pode ser feito basicamente de duas maneiras:

**1) Incineração:** é o processo pelo qual os resíduos químicos são decompostos por oxidação térmica a altas temperaturas (1200°C) objetivando destruir a fração orgânica do resíduo e reduzir o seu volume.

O processo adequado alcança baixíssima emissão de gases.

Em geral os incineradores são constituídos por uma câmara de combustão primária onde ocorre a secagem, decomposição e gaseificação e uma câmara de combustão secundária, o ciclone, que trabalha com temperatura superior (1000 a 1500 °C), responsável pela queima dos gases emitidos. A Figura 1 apresenta o desenho esquemático de um incinerador.

Na queima de materiais com alto poder calorífico a temperatura da câmara de combustão pode atingir 1600 °C, apesar de operar com uma faixa de 1000 a 1250 °C. No entanto, temperaturas superiores a 1250 °C não são recomendadas, pois aumentam o teor de óxido de nitrogênio nos gases provenientes da queima do resíduo, além de lançar na atmosfera uma grande quantidade de metais pesados.

Com um processo de incineração otimizado podemos ter a queima completa do resíduo químico com quantidade mínima de cinzas e emissão dos gases poluentes dentro dos limites aceitos pelas normas técnicas em vigor. Os processos informatizados de monitoramento permitem o controle de parâmetros de emissão de O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, material particulado, além de temperatura e vazão, garantindo a segurança do processo.

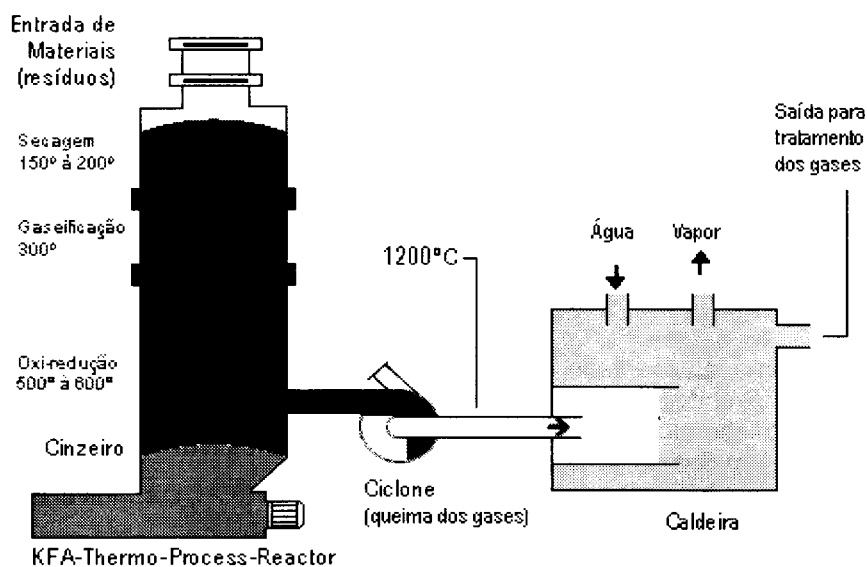


Figura 1. Desenho esquemático de um incinerador

Tabela 2. Faixa de pH para precipitação de metais em meio de NaOH 1M.

Íon metálico	pH de precipitação	Íon metálico	pH de precipitação
Ag <sup>+</sup>	acima de 9	Fe <sup>2+</sup>	acima de 7
Bi <sup>3+</sup>	acima de 7	Hg <sup>2+</sup>	acima de 8
Co <sup>2+</sup>	acima de 8	Pb <sup>2+</sup>	acima de 6
Cu <sup>2+</sup>	acima de 7		

Existem vários modelos de incineradores como os pirolíticos, os rotativos e os tradicionais. Empresas como a Lufttech, a Metaltech e a Teris do Brasil comercializam estes equipamentos.

### 2) Compostagem em células:

Compostagem pode ser definido como ato ou ação de transformar os resíduos orgânicos, através de processos físicos, químicos e biológicos, em uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras.

No processo de compostagem a matéria orgânica atinge dois estágios: a digestão, que compreende a fase de fermentação na qual a matéria alcança a bioestabilização. O segundo estágio é a maturação, no qual a matéria atinge a humificação.

A usina de compostagem é um complexo eletromecânico formado por diversos eventos destinados a preparar cientificamente o composto orgânico.

O processo de fazer composto orgânico do lixo doméstico e rural é constituído pelo tratamento físico que consiste na separação manual ou mecânica da matéria orgânica do lixo e o tratamento biológico que consiste na fermentação ou digestão dos resíduos pela ação dos microrganismos presentes ou inoculados pela ação do lodo do esgoto.

### 3) Aterros de Resíduos Industriais:

realizado por empresas especializadas no gerenciamento de sobranes industriais em áreas adequadas e monitoradas, segundo normas estabelecidas por órgãos responsáveis. O local de deposição dos resíduos são células ou valas de deposição, revestidas com polietileno de alta densidade, sobre três camadas de argila compactada. O transporte até estas estações pode ser realizado apenas por empresas autorizadas<sup>16</sup>.

## 6. CONCLUSÃO

Diante da problema apresentado que é a geração ilimitada e inevitável de resíduos químicos na pesquisa e no ensino laboratorial, este trabalho apresenta sugestões de um correto gerenciamento da geração e posterior neutralização e descarte. Procuramos mostrar que com organização de um setor específico, pessoal treinado e algum investimento podemos solucionar grande parte do problema da armazenagem e do descarte inadequado dos resíduos químicos, evitando a poluição do meio ambiente e do homem.

**NOTA: os autores não se responsabilizam por qualquer acidente que ocorra pelo mau uso ou má interpretação das informações contidas nesse artigo. São manipulações perigosas, que devem ser realizadas por somente profissionais com experiência e conhecimento em química e segurança em laboratório.**

## 5. BIBLIOGRAFIA

- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução nº 275, 25 de abril de 2001. *Diário Oficial da União*, 19. jun. 2001.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução nº 283, 12 de julho de 2001. *Diário Oficial da União*, 19. jun. 2001.
- Chemical Waste in Laboratories.** Disponível na internet no endereço: [www.p2000.umich.edu/chemical\\_waste/index.html](http://www.p2000.umich.edu/chemical_waste/index.html). nov. 2000.
- CUNHA, J.C. O programa de gerenciamento dos resíduos laboratoriais do Departamento de Química da UFPR. *Química Nova*, v. 24, n. 3, p.424-427, 2001.
- JARDIM, W. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. *Química Nova*, v. 21, n. 5, p. 671-673, 1998.
- 6.a) KEMPF, A.O. Universidade trabalha para uma Química limpa. *Jornal da Universidade (UFRGS)*. v. 4, n. 36, p. 3, 2000. b) AMARAL, S. T. *et alii*. Relato de uma experiência: Recuperação e cadastramento de resíduos dos laboratórios de graduação do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Química Nova*, v. 24, n. 3, p.419-423, 2001.
- LUFTECH. Disponível em [www.luftech.com.br](http://www.luftech.com.br)
- MARQUARDT, M. e EIFLER-LIMA, V.L. A Síntese Orgânica em Fase Sólida e seus Suportes Poliméricos mais empregados. *Química Nova*, v. 24, n. 6, p. 846-855, 2001.
- METALTECH. Disponível em: [www.metaltech.com.br](http://www.metaltech.com.br).
- PICOT, A.; GRENOUILLET, P. **La sécurité en laboratoire de chimie et de biochimie.** Paris: Lavoisier, 1992.
- RESOL ENGENHARIA LTDA. **Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro: 2000. Disponível na internet no endereço [www.resol.com.br](http://www.resol.com.br) . Capturado em dez. 2000.
- RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 38.356, de 1 de abril de 1998. Dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos no Estado do Rio Grande do



- Sul. Disponível em: <http://www.mp.rs.gov.br/hmpage/homepage2.nsf/pages/home> acesso em 14/5/2002.
13. SANSEVERINO, A.M.. Síntese Orgânica Limpa. **Química Nova**, v. 23, n.1, p. 102-107, 2000.
  14. SCHNEIDER, J. e WISKAMP, V. Environmental Protection in Practical Chemistry Courses. **Journal of Chemical Education**, v. 71, n. 6, p.587-589, 1994.
  15. SEIXAS. L. e EIFLER-LIMA, V.L.. Orientações Básicas - Segurança e Tratamento de Resíduos Químicos. **Polígrafo**. Porto Alegre: Faculdade de Farmácia, UFRGS, junho, 1998.
  16. RESÍDUOS SÓLIDOS. Disponível em [www.lixomil.vilabol.uol.com.br](http://www.lixomil.vilabol.uol.com.br)
  17. TERIS DO BRASIL. Disponível em [www.terisdobrasil.com.br/incinerador.html](http://www.terisdobrasil.com.br/incinerador.html)
  18. UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA CHAMPAIGN. **UIUC Chemical Waste Management Guide**. Disponível na internet no endereço: [www.ehs.uiuc.edu/~chem/guide/guide.html](http://www.ehs.uiuc.edu/~chem/guide/guide.html) . Dez. 2000.
  19. UNIVERSITY OF KENTUCKY. **Hazardous Waste Manual. Kentucky: 1995**. Disponível na internet no endereço: [www.uky.edu/FiscalAffairs/Environmental/html/hzwstman.html](http://www.uky.edu/FiscalAffairs/Environmental/html/hzwstman.html) . Nov. 2000

**Endereço para correspondência:**

Prof.<sup>a</sup> Dr Vera Lucia Eifler Lima  
Laboratório de Síntese Orgânica de Fármacos  
Faculdade de Farmácia da UFRGS  
Av. Ipiranga, 2752  
Cx. P. 1945  
90610-000 Porto Alegre RS

Recebido em 7.5.2001.  
Aceito em 6.5.2002.  
Revisto em 30.6.2002.