

GESTÃO E DISPOSIÇÃO DE REJEITOS TÓXICOS, NUCLEARES E PERIGOSOS

Regina Célia Rebouças Dalston¹; Alberto Pinheiro Dantas²; Renata Montalvão³; Igor Nascimento⁴; Maristela Aparecida. de Oliveira⁵; Rondineli Motta⁶; Magda de Moraes⁷

Sinopse

São apresentadas as principais diretrizes do programa de gestão de resíduos e rejeitos tóxicos, radioativos e perigosos que são aplicáveis aos laboratórios de graduação da Universidade Católica de Brasília (UCB). Discutem-se as principais vantagens e possibilidades de aplicações processos, para inertização de sais de metais pesados por precipitação com solução de metassilicato de sódio e métodos de adsorção de rejeitos tóxicos em minerais tais como bentonitas e silicatos. No tratamento dos resíduos, o uso de tecnologias eficazes possibilita que rejeitos sólidos sejam processados e dispostos de acordo com as normas e resoluções vigentes. Apresenta-se a aplicabilidade de suportes de resinas poliméricas catalisadas para moldagem e disposição final de rejeitos tóxicos, previamente tratados e convertidos na forma de sais insolúveis. Sugere-se também, o uso desses suportes poliméricos para o confinamento de rejeitos radioativos.

1. Introdução

O volume dos resíduos universitários não é tão grande se comparado com grandes indústrias. As atividades rotineiras experimentais dos cursos de graduação geram um acúmulo de resíduos químicos e tóxicos e os laboratórios de pós-graduação em biotecnologia poderão em breve gerar rejeitos radioativos. Como uma das etapas da implantação do programa de gestão de resíduos e rejeitos tóxicos universitários, existe todo um trabalho de conscientização da importância de segregação, pré-tratamento, processamento de resíduos e disposição final dos rejeitos. As etapas de controle de qualidade dos resíduos são enfatizadas desde a sua identificação na origem, acompanhamento de seu percurso, incluindo os tratamentos e destinação final.

2. Gestão e disposição de rejeitos tóxicos, nucleares e perigosos

2.1. O Programa de Gestão de Resíduos

O Programa de Gestão de Resíduos dos Laboratórios da UCB(1) prevê ações para o desenvolvimento da tecnologia necessária para o descarte e a reciclagem de resíduos químicos e outros materiais de consumo no âmbito dos laboratórios.

À medida que estão sendo desenvolvidos os procedimentos e as instruções estão sendo consolidadas no Manual de Segurança, Tratamento e Descarte de Resíduos (2).

Os efeitos desejáveis do programa são: a) aumento da segurança dos indivíduos e das instalações físicas, pois diminuirá as quantidades de produtos químicos estocados nos almoxarifados; b) redução dos custos com aquisição de produtos químicos, haja vista a reciclagem e reutilização de solventes orgânicos e de outros produtos químicos; c) utilização dos fundamentos técnicos dos tratamentos dos resíduos químicos como base para práticas laboratoriais; d) geração real de tecnologia, abrindo uma segura possibilidade de ampliação do projeto para atendimento de demandas existentes em outras instituições de ensino e pesquisa para tratamentos dos seus resíduos.

1 PhD, Química – Universidade Católica de Brasília.

2 Mestre, doutorando, Eng. Mecânico - Universidade Católica de Brasília.

3, 4 Graduandos, Química - Universidade Católica de Brasília.

5,6,7 Licenciados em Química - Universidade Católica de Brasília..

2.2 Tipos de recipientes versus inventário de produtos químicos

O almoxarifado de produtos tóxicos e químicos, que servem aos diferentes núcleos de trabalho dos diversos laboratórios da UCB contém quatrocentos e cinquenta tipos diferentes reagentes. Todos os recipientes utilizados para o acondicionamento provisório são de polietileno de boa qualidade com batoque, de modo que sejam minimizados os acidentais vazamentos. Os frascos para estocagem primária são de 1 L e os de segregação secundária variam de 5 até 50 L, dependendo do tipo de resíduo e urgência de tratamento. Os dados contidos na Tabela 1 fornecem os primeiros indícios para delimitar-se o problema descarte de produtos químicos.

TABELA 1 – Classificação de resíduos tóxicos inorgânicos

Recipiente*	Tipos de Resíduos (a serem acondicionados)
F	Resíduos e soluções aquosas de sais inorgânicos muito tóxicos (e.g., As, Sc, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Sn, Sb, Bi, Ir, Os, Re, W, Ta e Hf).
G1	Mercúrio e resíduos de seus sais inorgânicos.
G2	Chumbo e resíduos de seus sais inorgânicos.
G3	Cd e resíduos de seus sais inorgânicos.
G4	Cr e resíduos de seus sais inorgânicos.
H	Resíduos e soluções aquosas de sais de metais alcalinos, alcalinos terrosos e da família do alumínio.
I	Resíduos e soluções aquosas que contenham ouro, prata e platina
J	Bases inorgânicas.
K	Ácidos inorgânicos.
L1	Rejeitos sólidos (e.g., papéis de filtro, papéis toalhas contaminados, algodão, lã de vidro, papel indicador de pH, resinas e material para preenchimento de colunas cromatográficas, luvas dentre outros).

* Classificação com base na Aldrich Chemicals Cat., 1994(3).

Os dados resultantes de um levantamento experimental qualitativo de resíduos químicos inorgânicos e outros materiais a serem processados e descartados nos laboratórios da UCB encontram-se na Tabela 2.

A despeito de trabalhoso, tal levantamento, em todos os recipientes, só será feito uma única vez, porque à medida que qualquer núcleo de trabalho sofrer uma ou mais modificações, então será feita uma atualização do inventário dos cátions e funções inorgânicas nos recipientes que vierem a receber essas modificações. Essas informações permitem uma delimitação parcial do universo dos produtos químicos a serem tratados e lançados, mas, como desvantagem, não leva em conta os produtos obtidos nos diversos núcleos de trabalhos.

TABELA 2 – Produtos possíveis de serem encontrados nos recipientes de estocagem

Recipiente F	Aleacion de Devarda (liga contendo Cu, 50, Al, 45, Zn, 5%. Forte agente redutor. Colocado aqui pelo cobre e zinco); arsenato hidrogênio di-sódio; arseniato de sódio; arsenito de sódio; bismutato de sódio; antimônio em pó; cloreto de antimônio; cianetos de potássio e sódio; cloretos de bismuto, de cobalto, de cobre, de estanho, de ferro, de manganês, de níquel e de zinco; cobre metálico (em lâminas e granulado); dióxidos de manganês, de estanho e de titânio; dimetilglioxina; estanho em pó; fenantrolina; fosfato (reagente molibdato); ferro em pó e em fio; hexahidroantimoniato de potássio; limalha de ferro; nitratos de cádmio, de cobalto II, de cobalto hexaidratado, de cobre II, de bismuto, de zinco e de níquel; nitrito de sódio e cobalto; oxicloretos de bismuto e de zinco; óxido de ferro comercial; óxido de antimônio III; óxido de cobre I; óxido de cobre em pó;;
--------------	--

	óxidos de estanho e de ferro III; óxido de manganês IV; óxidos de ítrio III e de zinco (anidro e hidratado); sulfato de cobalto hidratado; sulfatos de de cobre, de (ferro II e amônio), de ferro II, de manganês, de níquel e de zinco; tricloreto de antimônio e de bismuto; tris(2,2-bipiridil)diclororutenium II hexaidratado tungstato de sódio; zinco (em lâminas, em pó, em raspas e granulado); hidrogenoarseniato de sódio; meta arseniato de sódio; óxido arsênico III; óxido de fósforo V; pentacloro de fósforo; o-toluidina; trióxido de boro.
Recipiente G1	Cloreto de mercúrio I e II; mercúrio metálico; nitrato e óxido de mercúrio II.
Recipiente G2	Chumbo elementar em grãos, em pó e puro granulado; dióxido de chumbo; cloreto de chumbo; ditizona; nitrato de chumbo; óxidos de chumbo II e IV; sulfato de chumbo.
Recipiente G3	Sulfato de cádmio
Recipiente G4	Sulfato de cromo III, óxido de cromo VI, cloreto de cromo, cromato de potássio; dicromatos de amônio, de potássio e de sódio;
Recipiente H	Alumínio; brometos de lítio, potássio e sódio; cloreto de alumínio hexaidratado e puro; aluminon; amido comercial; amido solúvel; bicarbonatos de amônio, de potássio e de sódio; biftalato de potássio; bissulfitos de potássio e de sódio; borato de sódio; bromatos de potássio e de sódio; brometo de amônio; carbonatos de sódio, de amônio, de cálcio, de potássio e de bário; citrato de sódio; cloretos de amônio, de sódio, de bário, de cálcio, de estrôncio, de lítio, de magnésio, de potássio; calceína; ferrocianeto de potássio; fluoretos de amônio, de cálcio, de potássio e de sódio; fosfato (solução alcalina); fosfato ácido de amônio; fosfatos de amônio, de potássio, de sódio dibásico, de sódio monohidratado e de sódio pentahidratado; hidróxidos de alumínio, de amônio, de bário, de cálcio, de magnésio, de potássio e de sódio; hipoclorito de cálcio; iodatos de bário, de potássio e de sódio; iodetos de potássio e de sódio; magnésio em fita, pó e raspas; molibdato de amônio; nitratos de alumínio, de amônio, de cálcio, de bário, de estrôncio, de lítio, de magnésio, de sódio e de potássio; nitritos de potássio e de sódio; nitroprussiato de sódio; oxalatos de amônio, de potássio e de sódio; óxidos de bário, de cálcio e de magnésio; perclorato de sódio; periodato de sódio; permanganato de potássio; peróxido de bário; peróxido de hidrogênio; peróxido de sódio; potássio; silicato de sódio; sódio metálico; sulfatos de alumínio, de alumínio e potássio, de amônio, de cálcio, de lítio, de magnésio, de potássio e de sódio; sulfeto de sódio; sulfito de sódio; tartaratos de amônio, de sódio e de (potássio e sódio); tetraboratos de potássio e de sódio; tetrafluorboratos de potássio e de sódio; tiocianatos de amônio e de potássio; tiosulfatos de potássio e de sódio; titrisol.
Recipiente I	Cloreto e nitrato de prata; eosinas amarela e azul de metileno.
Recipiente J	Alizarina; amoníaco comercial; fenolftaleína; produtos que também podem estar no recipiente K: corante solução; índigo carmin; morin; murexida; ninhidrina; pirogalol; preto de eriocromo; púrpura de bromocresol; reativo de benedict; rodamina; rodizonato de sódio; roxo congo; roxo de rutênio; safrarina T; sudan III; sulfato de thaulos; timolftaleína; verde de bromocresol; verde de diazina; verde de malaqueta; verde de metila; vermelho de clorofenol; vermelho de alizarina; vermelho de cresol; vermelho de fenol; vermelho de metila; vermelho do congo; vermelho de rutênio; violeta de genciana; violeta de pirocatequina.
Recipiente K	Amarelo de metila; anidrido fosfórico; azul de bromofenol; azul de bromotimol; azul de metil timol; azul de metileno; azul de resorcinol; azul de timol; soluções aquosas contendo fósforo vermelho reagido.
Recipiente L	Papéis de filtro; papéis toalhas contaminados; algodão; lã de vidro; papel de pH; papel de tornassol azul; papel de tornassol vermelho; papel de acetato de chumbo; papel de amido; resinas e material para preenchimento de colunas

	cromatográficas (carvão ativo, também se encontra em C2). Somente luvas descartáveis.
--	---

2.3 Tratamentos, Acondicionamento e Disposição Final

Os aluminossilicatos ativados por métodos térmicos e químicos, atuam da similarmente as resinas. O controle de qualidade foi realizado por espectrofotometria de Absorção Atômica (AA) ou análise por plasma (ICP).

Os sais metálicos tóxicos solúveis são convertidos em sais insolúveis com o metassilicato de sódio, precipitado na forma de hidróxido, na faixa de pH em torno de 9, conforme descrito nas instruções a seguir:

- a) dissolver 5 g de $PbCl_2$ em 100mL de água destilada, simulando uma solução contaminada com chumbo, ou seja, um resíduo.
- b) preparar solução de metassilicato de sódio: dissolva 12,5 g de $Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$ em 100 mL de água destilada (solução 0,04 molar).
- c) adicionar 30 mL dessa solução de metassilicato de sódio a cada um dos 03 béqueres identificados (análise em triplicata) e agite cada um deles por 10 minutos. A alíquota de 10 mL remanescente deve ser guardada em um recipiente pequeno de polietileno fechado para posterior análise.
- d) a solução remanescente de metassilicato de sódio deve ser transferida para um outro béquer (limpíssimo) identificado como (branco).
- e) ajustar o pH das soluções dos béqueres contendo chumbo e branco em torno de 9,0, através da adição de ácido sulfúrico 2M; cobrir os béqueres com vidro de relógio e deixe-os em repouso durante pelo menos 24 horas.
- f) retirar o sobrenadante de cada béquer com uma pipeta Pasteur acoplada a vácuo. Atenção: recolher primeiro o sobrenadante do branco.
- g) recolher o sobrenadante de cada béquer individualmente e transferir cada um para um recipiente pequeno fechado para posterior análise por AAS ou plasma. Obs: os resíduos sólidos devem ser acondicionados para posterior acondicionamento e disposição final(4).

O processo de apresentou resultados quantitativos satisfatórios, de acordo com os dados de AA, baixo custo, procedimento simples e é mais rápido.

Os resíduos de metais tóxicos concentrados por adsorção são posteriormente confinados suportes poliméricos moldados apresentando ótimos resultados nos testes mecânicos e bem como não foram observados vazamentos. Esse processo de encapsulamento de rejeitos sólidos em resinas transparentes e coloridas torna-se um material muito rico didaticamente, porque permite que os estudantes tenham um acesso seguro, visual e até mesmo “palpável” de materiais tóxicos, tais como cádmio e chumbo.

Apenas a título de sugestão, os procedimentos de confinamento de precipitados contendo sais de rádio-226 e rádio-228, sais de estrôncio-90, sais de chumbo-210 entre outros radionuclídeos alfa- e beta- emissores, de meia-vida longa, mas de baixas atividades. As resinas poliméricas também poderiam ser aplicáveis para radioisótopos usados em medicina nuclear, de meia-vida relativamente curta. Evidentemente, estes procedimentos não podem ser utilizados sem aprovação e autorização do órgão fiscalizador competente (5).

A Tabela 3 apresenta o resumo dos principais tratamentos conhecidos na literatura e desenvolvidos utilizados pela equipe da UCB.

Tabela 3 – Procedimentos utilizados na UCB para tratamento de resíduos

	1	2	3
1	Adição de carvão ativado	Leito de carvão ativado	
2	Redução volumétrica	Destilação a pressão reduzida	Destilação fracionada
3	Neutralização alcalina de ácidos inorgânicos	Neutralização ácida de bases inorgânicas	Neutralização alcalina de ácidos orgânicos
4	Contenção dos metais	Contenção do cádmio	Contenção do chumbo
5	Contenção do alumínio	Contenção dos metais alc.terrosos	Contenção do lítio
6	Destruição de cianetos inorgânicos	Destruição de peróxidos orgânicos	
7	Imobilização em cimento	Imobilização em resinas plásticas	
8	Lançamento do efluente líquido inertizados (quando viável)	Lançamento por disposição em aterros sanitários (quando viável)	Lançamento via sistema de coleta de lixo (para resíduos hospitalares)

3- Conclusões

A metodologia descrita no programa de gestão de resíduos dos laboratórios da UCB é de alta importância e tem por fundamentação a necessidade de garantir que o que está sendo tratado não oferece risco ao homem e ao meio ambiente. Ainda nessa direção, os lançamentos de efluentes líquidos só deverão acontecer quando os mesmos estiverem integralmente de acordo com os parâmetros legais de aceitabilidade. Em vista disso, os inventários ativos e passivos, procedimentos, rotinas de inertização, lançamentos e disposições finais devem ser registradas.

O processo de validação dos métodos de tratamento certamente envolve a geração de evidências objetivas, traduzidas pela descrição desses métodos, dos cálculos necessários, dos controles a serem efetuados durante o tratamento e os documentos necessários para garantir o local onde o produto estocado foi armazenado ou os pontos onde foi imobilizado ou descartado.

Os processos de tratamento de resíduos contendo metais tóxicos, com metassilicato de sódio, adsorção em bentonita e outros, apresentaram resultados quantitativos satisfatórios, de acordo com os dados de AA, também são de baixo custo e consistem de procedimento simples e pouco demorados.

Os resíduos de metais tóxicos tais como cádmio e chumbo foram confinados suportes poliméricos moldados apresentando ótimos resultados nos testes mecânicos. Sendo esse processo de confinamento de rejeitos sólidos em resinas, potencialmente útil para o encapsulamento futuro de alguns matérias radioativos alfa- e beta-emissores.

4- Referências Bibliográficas

- (1) Dalston, R.C. R. **Programa de Gestão de Resíduos dos Laboratórios**. Documento interno, em fase de aprovação pela Universidade Católica de Brasília. 2005.
- (2) Dalston, R.C. R., Dalston, C. e Fortes C. C. **Manual de Segurança, Tratamento e Descarte de Resíduos**. Livro em fase final de editoração. 2005.

(3) Aldrich Catalog Handbook of Fine Chemicals, Aldrich Chemical Company, Milwaukee, WI, 1994.

(4) RDC 306 da ANVISA, de 07 de dezembro de 2004.

(5) NBR - 10004 Resíduos Sólidos - Classificação, segunda edição - 31 de maio de 2004 - CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear.