

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS GERADOS EM LABORATÓRIOS DE ENSINO E PESQUISA DE UM CENTRO UNIVERSITÁRIO DO NORTE DO PARANÁ (BRASIL)

Data de submissão: 08/11/2024

Data de aceite: 02/12/2024

Angélica de Almeida Moura

Centro Universitário Ingá – Departamento
de Biomedicina
Maringá – PR
<http://lattes.cnpq.br/3914076782213841>

Raiani Randoli

Centro Universitário Ingá – Departamento
de Biomedicina
Maringá-PR
<http://lattes.cnpq.br/9385032599966185>

Vagner Marques de Moura

Universidade Estadual de Maringá –
Departamento de Química
Maringá – PR
<https://orcid.org/0000-0002-8463-9594>

RESUMO: Resíduos gerados pelas atividades de ensino e pesquisa nas universidades tem se tornado um importante tema de pesquisa no que se refere a questões ambientais. Assim, julgam-se necessários diagnosticar e elaborar planos de ação para a gestão de resíduos, principalmente sob o ponto de vista da minimização, segregação, reutilização e destinação final adequada. Este trabalho teve por objetivo estabelecer estratégias de tratamento e recuperação de resíduos químicos utilizando métodos

clássicos de análises químicas a partir de amostras obtidas da rotina laboratorial dos laboratórios de graduação e pesquisa de um Centro Universitário do Norte do Paraná (Brasil). Resíduos de soluções ácidas e alcalinas, foram diluídas, neutralizadas e descartadas na rede de esgoto. Soluções de íons metálicos atóxicos e não poluentes foram diluídas e descartadas adequadamente. Amostras contendo Ni e Mn foram tratadas com $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ seguido de excesso de solução de Na_2CO_3 e dimetilglioxima. Os precipitados destes metais foram incinerados. Soluções dos metais Ba^{2+} e Sr^{2+} foram analiticamente precipitados e incinerados. Amostras contendo o metal Pb, foram submetidos a precipitação e o material gerado foi armazenado para reutilização. Resíduos contendo misturas de líquidos miscíveis com solventes halogenados e não halogenados foram tratados por destilação fracionada e em evaporador rotativo. Os solventes destilados foram devidamente armazenados e disponibilizados para reutilização. Este trabalho demonstrou que é possível recuperar grande parte dos resíduos químicos gerados nos laboratórios, além de ser economicamente viável torna-se uma ferramenta útil na minimização do impacto destes resíduos na saúde pública

e no meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Gerenciamento de resíduos, Neutralização, Precipitação, Destilação.

WASTE MANAGEMENT PROGRAM FOR CHEMICAL RESIDUES GENERATED IN BOTH TEACHING AND RESEARCH LABORATORIES OF UNIVERSITY CENTER OF NORTHERN PARANÁ (BRAZIL)

ABSTRACT: Waste generated through teaching and research activities at universities has become a major concern in relation to environmental issues. So, are required to diagnose and develop action plans for the management of waste, mainly from the standpoint of minimization, segregation, reuse and disposal. This work aimed to establish strategies for the treatment and recovery of chemical waste using classical methods of chemical analysis from residues generated in both teaching and research laboratories at a University Center of Northern Paraná (Brazil). Waste acidic and alkaline solutions were diluted, neutralized and disposed of in the sink. Mixtures of metal ions and their solutions were diluted and disposed of in the sink. Samples of Ni and Mn were treated with $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$, excess solution of Na_2CO_3 and dimethylglyoxime. The precipitates of Ni and Mn were incinerated. Solutions of Ba^{2+} and Sr^{2+} were duly precipitates and incinerated. Samples containing Pb were treated and the residue was stored for reuse. The waste from liquid miscible blends between halogenated solvents and non-halogenated were subjected to fractional distillation or evaporation methods. The pure liquids were made available for reuse. This work has shown that it is possible to recover a large part of the chemical waste generated in laboratories, in addition to being economically viable becomes a useful tool in minimizing the impact of these wastes on public health and on the environment.

KEYWORDS: Waste management, Neutralization, Precipitation, Distillation.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos maiores desafios e problemas na preservação ambiental tem sido o controle da poluição em todas as partes do mundo contemporâneo. A exposição contínua frente a diferentes poluentes atmosféricos, químicos tóxicos e resíduos descartados de maneira inadequada no meio ambiente tem consequências diretas na sustentabilidade dos principais ecossistemas, bem como na saúde humana, os quais podem gerar efeitos irreversíveis e destrutivos nas suas diversas formas (Ahmad *et al.*, 2022).

A ação antrópica tem contribuído para a destruição e deterioração dos recursos naturais comprometendo a sustentabilidade do meio ambiente, incentivando, que muitos países procurem alternativas em relação a manutenção, preservação e restauração dos ecossistemas naturais (Huo & Peng, 2023). Neste sentido, são necessárias ainda a implementação de políticas públicas eficientes, elaboração de padrões de qualidade ambiental, bem como o incentivo do uso de técnicas mais limpas e a conscientização de todos sobre a importância do cuidado e preservação de todo o meio ambiente (Ali *et al.*, 2022; Murano & Tavares, 2022).

A necessidade de adotar estratégias e programas para a conservação e preservação ambiental tem sido uma prática importante principalmente no que tange a conscientização da população, empresas e indústrias sobre os danos nocivos produzidos pelas diversas atividades dos diferentes setores geradores. Sabe-se que muitos dos efluentes e resíduos liberados constituem-se de uma matriz rica em nutrientes, contaminantes orgânicos e inorgânicos, os quais comprometem o solo, a água e o ar (Bünemann *et al.*, 2024).

No entanto, a produção de resíduos químicos não se restringe apenas as indústrias, outro importante setor gerador a ser considerado são os laboratórios de escolas, faculdades, centros universitários, institutos de pesquisas e universidades. Comumente são gerados resíduos de diferentes características químicas, em menores quantidades em relação ao setor industrial, porém com o mesmo grau de toxicidade e periculosidade aos seres vivos e ao meio ambiente (Mistura; Vaniel; Linck, 2010).

As estratégias de gerenciar resíduos químicos provindos de laboratórios de ensino e pesquisa de faculdades, centros universitários e universidades brasileiras foram iniciados através de importantes discussões a partir da década de 90, sendo de grande importância para todas as instituições geradoras. Porém, a ineficiência de fiscalização por órgãos competentes, falta de visão e descartes inadequados levaram muitas instituições a poluir de forma indiscriminada e sem controle (Marinho *et al.*, 2011).

Deve-se também considerar o desperdício de materiais que poderiam ser reaproveitados e os elevados custos devido ao mau gerenciamento dos produtos sintetizados ou manipulados. Sabe-se que muitos resíduos tiveram seus destinos finais no sistema de esgoto doméstico, jogados indiscriminadamente na pia dos laboratórios sem nenhuma preocupação com as consequências que isto poderia acarretar ao meio ambiente (Afonso *et al.*, 2003; Cunha, 2007).

Portanto, houve uma necessidade das instituições de ensino superior do Brasil buscar ferramentas importantes para o gerenciamento e tratamento de seus resíduos, com o intuito de não apenas promover uma diminuição no impacto ambiental, mas também de conscientizar e treinar todos os profissionais envolvidos nessa área (Silva; Soares; Afonso, 2010; Marinho *et al.*, 2011).

O estabelecimento de um senso crítico e ético entre a comunidade acadêmica, professores, discentes e responsáveis técnicos é imprescindível. O conhecimento da toxicidade, periculosidade, disposição final adequada, formas para a diminuição do volume gerado e quando possível a recuperação dos resíduos provindos das atividades práticas é essencial (Amorim, 2018).

Na efetivação da mudança de hábitos faz-se necessária a implementação de um programa de gerenciamento de resíduos (PGR), que tem por objetivo definir as fontes geradoras, especificar e quantificar os rejeitos finais, contar com métodos que possibilitem a redução de matérias primas, empregar técnicas para a recuperação e reutilização dos resíduos. É primordial a constante reavaliação do programa, para um adequado descarte,

visto que o resíduo de hoje pode ser o reagente útil de amanhã (Phrophayak *et al.*, 2024).

A resolução RDC da ANVISA 306 (2004) relata sobre o Regulamento Técnico no gerenciamento de resíduos de serviços de saúde (RSS), de forma que esse trata do conjunto de procedimentos de gestão, desde o seu planejamento e implementação através de bases científicas, técnicas, normativas e legais, com o intuito de minimizar a geração de resíduos e destiná-los de forma segura e eficiente, de modo à proteger os manipuladores, a saúde pública, os recursos naturais e o meio ambiente. Desta forma, a elaboração do PGR deve atender à Resolução CONAMA N° 358/2005 e deve conter as responsabilidades administrativa (representante legal do estabelecimento quanto a gestão de resíduos de serviços de saúde) e técnica (elaborado por profissional habilitado pelo seu conselho de classe).

Como regra geral, têm-se que antes da utilização de qualquer substância química deve-se conhecer um método para o seu descarte seguro. Além disso, imposto a norma de responsabilidade objetiva isto é, quem gerou o resíduo é responsável pelo mesmo, estando tipificado na lei 6938, de 31 de agosto de 1981, conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente, portanto o manipulador do reagente químico tem a obrigação de tratar e dispor o rejeito de forma adequada, caso isso não ocorra o causador do dano fica sujeito ao pagamento de indenização (Jardim, 1998; Tavares & Bendassolli, 2005).

Técnicas tradicionais de tratamento e recuperação devem ser priorizadas, como a neutralização, separação, oxidação, precipitação, e troca iônica. Após o procedimento, o elemento químico fica disponível para a reutilização, colaborando para a minimização dos problemas ambientais, racionando recursos, entrando em concordância com a legislação e mudando a mentalidade na formação de novos cidadãos (Mistura; Vaníel; Linck, 2010).

Considerando a importância do gerenciamento de resíduos gerados em Instituições de Ensino e Pesquisa no Brasil, este trabalho teve por objetivo realizar o tratamento de amostras providas de laboratórios de um Centro Universitário do Norte do Paraná, com o intuito de estabelecer métodos de reuso, segregação, destinação final adequada, substituição de reagentes tóxicos, limitação de procedimentos práticos para a minimização do consumo de reagentes e contenção de recursos para os métodos de tratamentos, afim de promover a saúde ocupacional dos que manipulam tais produtos, bem como na preservação da contaminação do meio ambiente por produtos químicos.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos de um Centro Universitário do Norte do Paraná

Neste trabalho, utilizou-se a pesquisa exploratória descritiva, desenvolvida como estudo de caso em uma Instituição de Ensino Superior (IES) localizada na região Norte do Paraná. Foram coletados dados no período de quatro anos (janeiro de 2013 a janeiro

de 2017) para elaboração de um inventário. A partir das informações coletadas de planilhas enviada por cada setor que possuía laboratório gerador de resíduo, foi possível diagnosticar e verificar a situação dos resíduos químicos, bem como propor métodos de tratamento e recuperação dos mesmos, quando possível. Todo o procedimento utilizado no desenvolvimento da pesquisa pode ser observado na Figura 1.

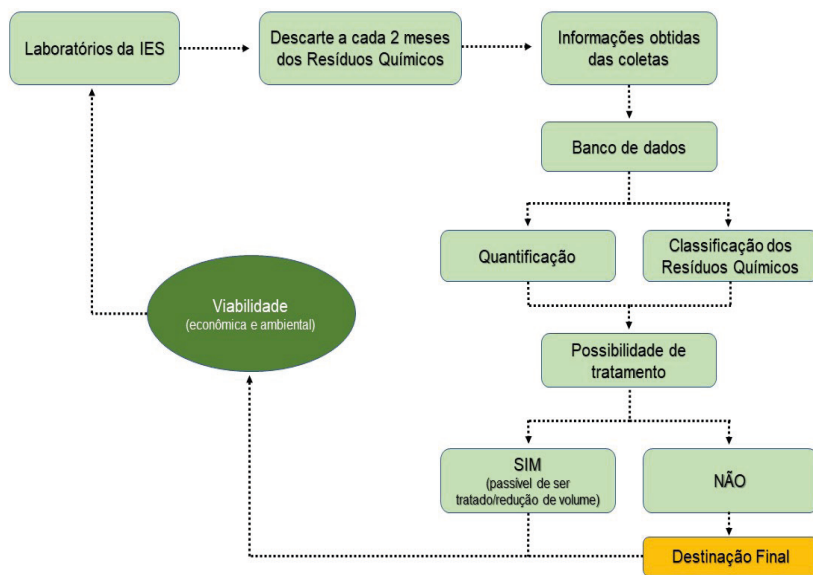


Figura 1: Visão geral das etapas empregadas em todo processo de tratamento e destinação dos resíduos químicos.

Fonte: Adaptado de Amorim, 2018.

2.1.1 Levantamentos dos dados nos laboratórios

A coleta dos dados sobre os resíduos químicos gerados por cada laboratório da IES foi obtida a partir das informações no inventário dos passivos. No banco de dados criado para a elaboração do inventário de resíduos químicos continham as seguintes informações: laboratório gerador, proporções, quantidades de cada tipo de resíduo, classe química, características físicas e dados gerais.

2.1.2 Caracterização e quantificação dos passivos

Os resíduos químicos gerados na IES foram agrupados de acordo com critérios de compatibilidade de resíduos perigosos e sua quantificação ocorreu a cada dois meses, após o descarte. Neste processo, foram estabelecidas sete classes de resíduos químicos, conforme dispostos na Tabela 1.

Classes de Resíduos Químicos	Principais características
Solventes orgânicos	Líquidos em mistura (miscível ou imiscível) sem a presença de halogênios, em que a proporção do solvente orgânico deve ser maior
Solventes organoclorados	Líquidos em mistura (miscível ou imiscível) contendo átomo de cloro na composição
Corrosivos	Líquidos com características de corrosividade de caráter ácido ou alcalina
Sais Orgânicos	Líquidos ou sólidos contendo sais orgânicos, em que a proporção do sal orgânico deve ser maior
Sais Inorgânicos	Líquidos ou sólidos contendo sais inorgânicos, em que a proporção do sal inorgânico deve ser maior
Outros	Substâncias ou misturas que não se enquadrem em nenhuma classe anterior
Sem Identificação	Frascos sem rótulos, ou com identificação contendo informações insuficientes

Tabela1. Principais classes de resíduos químicos identificados nos laboratórios para tratamento

A coleta dos resíduos foi realizada no final de cada atividade experimental, acondicionando-os em recipientes plásticos (polietileno) ou em vidro âmbar, dependendo da classificação do resíduo, devidamente identificados. O volume ocupado pelos passivos nos recipientes não ultrapassou 2/3 de sua capacidade. Na área interna de cada laboratório gerador foram armazenados em recipientes de até 2 L de capacidade, permanecendo no local por 2 meses.

2.1.3 Verificação da possibilidade e viabilidade de tratamento dos passivos

A partir da identificação e agrupamento dos resíduos por compatibilidade química, fez-se uma separação daqueles que podem ser submetidos a tratamento e recuperação. Foram considerados aptos para tratamento aqueles que apresentam pouca impureza e/ou de misturas com composição não complexa, além do que contém substâncias com baixa toxicidade.

Todos os resíduos que não apresentaram viabilidade de tratamento, foram codificados, registrados no sistema e encaminhados para o abrigo externo da IES para posterior recolhimento por uma empresa terceirizada responsável pela disposição final em aterro, coprocessamento ou incineração.

2.2 Tratamento dos resíduos passivos

2.2.1 Soluções de caráter ácido e alcalina

As amostras contendo soluções ácidas de H_2SO_4 , HCl , HNO_3 e CH_3COOH foram inicialmente monitoradas com papel indicador de pH (Merck®) para averiguação do nível de periculosidade e corrosividade das mesmas. Em seguida, as soluções foram diluídas e neutralizadas em NaOH 0,1 M até atingirem pH entre 6 a 8.

As amostras contendo soluções alcalinas de NaOH , NH_4OH , NH_4Cl e KOH também foram monitoradas com papel indicador de pH com os mesmos objetivos anteriores. Nesta etapa, as soluções foram diluídas e neutralizadas em HCl 0,1 M até atingirem pH entre 6 a 8.

2.2.2 Soluções residuais de íons metálicos do grupo I, II e III

Os resíduos contendo soluções de sais de Na, K, Mg, Ca e NH_4^+ foram submetidos à diluição em bombonas e posteriormente foram descartadas na pia sem risco de contaminação do meio ambiente.

Todos os passivos de sais de nitrato, cloreto, sulfato, fosfato de Fe, Al e Zn sofreram precipitação seletiva. O sobrenadante foi diluído e descartado na pia e os precipitados foram calcinados em mufla por 8 h a 900 °C.

2.2.3 Soluções aquosas de íons bário e estrôncio

Os resíduos passivos de solução aquosa dos metais bário e estrôncio foram neutralizados com NaOH 1 M até pH 7, em seguida adicionou-se solução 10% (m/v) de $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq., exc.})}$ para precipitação total e seletiva dos mesmos. Os precipitados $\text{BaSO}_{4(\text{s})}$ e $\text{SrSO}_{4(\text{s})}$ gerados foram devidamente filtrados e secos ao ar. No resíduo de bário, houve a formação de um precipitado adicional de coloração amarelo, identificado como $\text{BaCrO}_{4(\text{s})}$. Os precipitados obtidos por filtração simples foram submetidos à calcinação em mufla por 8 h a 900 °C. A solução residual contendo Cr^{6+} não foi passível de tratamento e, portanto, foi armazenada e encaminhada ao Abrigo Externo (Afonso *et al.*, 2003).

2.2.4 Soluções dos íons metálicos níquel e manganês

Soluções contendo resíduos de níquel e manganês foram submetidas à neutralização com NaOH 1 M até pH 7, em seguida adicionou-se solução 10% (m/v) de $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq., exc.})}$ até total precipitação. Os precipitados foram filtrados e o sobrenadante foi avaliado com solução de dimetil-glioxima, até resultado negativo (perda da cor vermelha). Posteriormente, estas soluções foram neutralizadas com HCl 1 M sem formação de compostos insolúveis. Os resíduos obtidos por filtração foram submetidos à calcinação em mufla durante 8 h a 900°C

e a solução final neutralizada foi descartada na pia (Afonso *et al.*, 2003).

2.2.5 Solução de metal pesado – chumbo

Os resíduos contendo o metal pesado chumbo foram inicialmente filtrados para remoção do sal de chumbo formado no fundo do recipiente, e submetidos a secagem em dessecador. Na solução residual, foram adicionados 50 mL de ácido acético glacial e 500 mL de cromato de potássio até total precipitação do chumbo, observado pela formação de um sólido amarelo insolúvel. O precipitado filtrado foi devidamente armazenado. Na solução filtrada, foi adicionada uma solução em meio ácido de tiocetamida previamente aquecida até total formação de um precipitado preto resultante da precipitação do sulfeto de chumbo. Desta filtração, no sobrenadante ainda foi visualizado a formação de um precipitado verde indicativo de íons dicromato, os quais foram reduzidos de Cr^{4+} à Cr^{3+} mediante adição de $\text{HCl}_{(\text{conc.})}$ (Silva; Costa; Santos, 2013). Todos os precipitados obtidos foram devidamente acondicionados e encaminhados ao Abrigo Externo.

2.2.6 Solventes organoclorados residuais

Misturas de solventes organoclorados contendo hexano/clorofórmio, clorofórmio/acetato de etila, clorofórmio/metanol, clorofórmio/éter etílico e clorofórmio/acetona, foram submetidas a destilação fracionada. No processo de destilação cerca de 1,5 L de cada mistura foi colocada em um balão de fundo redondo (ebulidor) com capacidade para 2 L e fixado a uma manta de aquecimento termostatzada. O sistema de fracionamento foi realizado numa coluna Vigreux adaptada num sistema de banho ultratermostático microprocessado com circulador de água. A separação entre os solventes ocorreu através do controle da temperatura de ebulição dos líquidos na mistura. No processo, os solventes tratados foram acondicionados em recipientes adequados para posterior reutilização nas atividades experimentais (Sassiotto, 2005). A cabeça e a cauda dos solventes destilados foram descartadas e encaminhadas para o Abrigo Externo, devidamente identificados.

2.2.7 Solventes não clorados residuais

Misturas de solventes não clorados contendo hexano/acetato de etila, hexano/metanol e acetato de etila/metanol foram submetidas a rota evaporação em evaporador rotativo sob pressão reduzida e ou destilação fracionada conforme metodologia do item 2.2.6. A escolha do método dependeu essencialmente das características azeotrópicas e do ponto de ebulição entre os líquidos. Todos os solventes tratados foram acondicionados em recipientes adequados para posterior reutilização nas atividades experimentais. A cabeça e a cauda dos solventes destilados dispostos em frascos de vidro âmbar, posteriormente encaminhados para o Abrigo Externo, devidamente identificados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O banco de dados foi elaborado a partir do levantamento dos passivos em cada laboratório através do inventário. Verificou-se que após o gerenciamento de cada classe de resíduos gerados foi possível reaproveitar uma grande parte. A correta segregação dos resíduos na fonte mediante suas características e propriedades com o intuito de minimizar o volume dos mesmos para o tratamento está regulamentado pelo CONAMA 358 (2005).

Nosso estudo corroborou com os dados publicados por Vaz e colaboradores (2010), Gerbasse e colaboradores (2005) e Tavares e Bendassoli (2005) que demonstraram preocupações com o gerenciamento de resíduos químicos provindos de Instituições de Ensino Superior.

Através das informações obtidas do banco de dados e inventários, fez-se a separação dos resíduos para tratamento e ou recuperação.

O processo de neutralização consistiu na minimização do potencial de toxicidade, reatividade e inflamabilidade dos resíduos de caráter ácido e alcalino. Na neutralização recomenda-se reagir os ácidos fortes com bases fracas e as bases fortes com ácidos fracos. Segundo a resolução CONAMA nº20/86 art. 21, para que uma solução seja descartada num corpo de água, o pH deve estar entre 5 e 9. No entanto, por questões de precaução os resíduos tratados por neutralização devem apresentar pH entre 6 e 8, pois o pH da solução pode ser alterado ao ser descartado na rede de esgoto.

Os resultados das reações de neutralização bem como as características de cada passivo, estão dispostos na tabela 2.

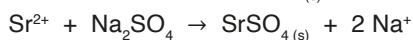
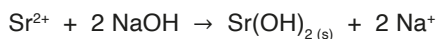
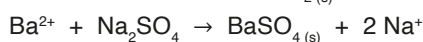
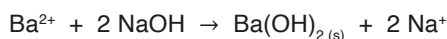
Composição do resíduo	Características visuais	pH	Vol. a ser tratado (L)	Procedimento empregado	Vol. Recuperado (L)	Destinação final
HCl:HNO ₃	líquido incolor	2	4	neutralização	4	descarte pia
H ₂ SO ₄ :HCl:corantes	líquido avermelhado	3	4	neutralização	4	descarte pia
Mistura desconhecida	líquido incolor	2	5	neutralização	5	descarte pia
CH ₃ CO ₂ H:HCl	líquido incolor	3	10	neutralização	6	descarte pia
NaOH:NH ₄ OH	líquido incolor	12	10	neutralização	10	descarte pia
KOH:NaOH:CuSO ₄	líquido azul	10	6	neutralização	6	descarte pia
NH ₄ Cl:NH ₄ OH	líquido incolor	12	11	neutralização	12	descarte pia

Tabela 2. Tratamento de resíduos de caráter ácido e alcalino mediante reações de neutralização.

Segundo Lassali e colaboradores (2013), compostos solúveis em água com limites de pelo menos 0,1 g ou 0,1 mL/3 mL que apresentem baixa toxicidade, podem ser descartados na rede de esgoto somente após diluição na proporção de 1:100 e liberados

sob água corrente. Todos os resíduos de soluções de sais de Na, K, Mg, Ca e NH_4^+ , bem como soluções de sais de nitrato, cloreto, sulfato, fosfato de Fe, Al e Zn, se enquadram nesta categoria de resíduos, desta forma, eles foram submetidos à diluição em bombonas de 50 L e posteriormente foram descartados na pia sem risco de contaminação do meio ambiente. A etapa de diluição é de extrema relevância, pois apesar do resíduo de natureza química apresentar baixa toxicidade, pode ser que ao final do processo existem outras espécies com concentração mais elevada.

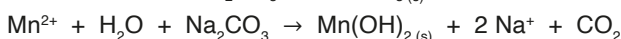
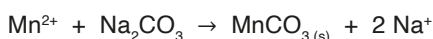
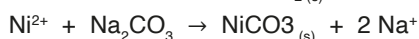
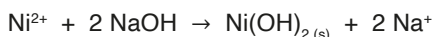
No tratamento dos resíduos contendo sais dos íons Ba e Sr foi utilizada a técnica da precipitação uma vez que estes íons após serem neutralizados com base forte (NaOH) reagiram com o $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq. exc.})}$ para formação de seus respectivos precipitados, sendo devidamente retidos na membrana filtrante após filtração. As reações que se verificam são:

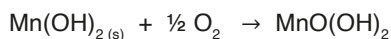


No final do processo, foram observados para o bário e estrôncio os aspectos dos precipitados e soluções residuais. Ambos se apresentaram na forma de sólidos insolúveis de coloração branca-amarelada e solução alaranjada. Neste processo, o precipitado adicional de coloração amarela foi identificado como sendo um BaCrO_4 provindo provavelmente de alguma contaminação na mistura entre os resíduos no momento do acondicionamento dos mesmos. Todos os precipitados foram devidamente calcinados em mufla por 8 h a 900 °C e descartados em lixo comum, enquanto que a solução contaminada por Cr^{6+} não foi passível de tratamento neste trabalho, sendo armazenada e disponibilizada no Abrigo Externo para recolhimento da empresa terceirizada.

Nos resíduos passivos de níquel e manganês a neutralização foi conduzida utilizando base forte (NaOH) e seguido de adição de uma solução de carbonato de sódio em excesso. Os precipitados formados de coloração verde para o Ni e marrom para o Mn foram recolhidos em membrana filtrante e na solução residual foi realizada a complexação utilizando dimetil-glioxima para remoção total do Ni e Mn, caso os íons estejam ainda em solução (Wilde, 2018). Os precipitados foram devidamente calcinados e descartados no lixo comum.

As reações estão representadas a seguir:





Os resultados obtidos nos tratamentos dos resíduos contendo íons bário, estrôncio, níquel e manganês são muito próximos e compatíveis com os obtidos no trabalho realizado por Afonso e colaboradores (2003), indicando a efetividade e reprodutibilidade das técnicas empregadas.

Os dados obtidos dos procedimentos estão ilustrados na tabela 3.

Composição do resíduo	Características visuais	pH	Vol. a ser tratado (L)	Procedimento empregado	Vol. recuperado	Destino final
Sais de Na e K	Líquido incolor	6	6	Diluição	6	descarte pia
Sais de Ca e Mg	Líquido incolor	6	4	Diluição	4	descarte pia
Sais de NH_4^+	Líquido incolor	6	5	Diluição	5	descarte pia
Sais de $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ ($\text{Fe}^{3+}/\text{Al}^{3+}/\text{Zn}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$)	Líquido verde claro	5	12	Diluição	12	descarte pia
Sais de $\text{SO}_4^{2-}/\text{PO}_4^{2-}$ ($\text{Na}^+/\text{Al}^{3+}/\text{Zn}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$)	Líquido incolor	5	13	Diluição	13	descarte pia
Sais de $\text{Ba}^{2+}/\text{Sr}^{2+}$	Líquido amarelado	5	8	Neutralização Precipitação Calcinação	8	descarte pia lixo comum
	Líquido verde claro					
Sol. de Ni e Mn		6	5	Neutralização Precipitação Calcinação	5	descarte pia lixo comum

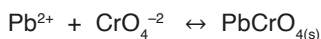
Tabela 3. Resultados obtidos no tratamento de resíduos de sais de íons metálicos

O chumbo é um elemento metálico que pertence ao grupo I na classificação dos cátions e produzem cloretos insolúveis. No entanto, o PbCl_2 é ligeiramente solúvel em água, o que dificulta a total precipitação do mesmo na presença de solução de ácido clorídrico. Assim, os íons chumbo residuais são quantitativamente precipitados em meio ácido utilizando ácido sulfúrico.

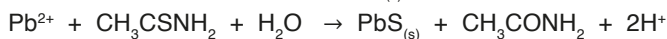
O tratamento do chumbo foi realizado inicialmente com a filtração dos sólidos depositados nos fracos decorrentes da formação de precipitados de $\text{PbCl}_{2(s)}$ quando em repouso por muito tempo. A solução residual, foi acidificada utilizando solução de ácido acético 6 M e em seguida a total precipitação foi realizada com adição de solução de cromato de potássio. Foi observada a formação de sólidos insolúveis de coloração amarela recolhidos após filtração, como mostra a tabela 4.

Composição do resíduo	Características visuais	pH	Vol. a ser tratado (L)	Procedimento empregado	Vol. recuperado	Destinação final
Sais de Pb ²⁺	Líquido escuro	9	5	Neutralização Precipitação Redução Calcinação	4	1. Sol. residual (pia) 2. Ppto Armazenado

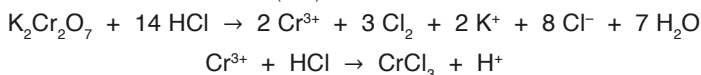
Tabela 4. Utilização de técnicas analíticas no tratamento e disposição final de resíduos contendo sais de chumbo.



A solução residual foi tratada com solução de tiocetamida em meio ácido com aquecimento brando de forma a precipitar todo o chumbo. No final do processo, obteve-se um sólido preto decorrente do precipitado de PbS_(s).



Da filtração, após recolher o PbS_(s) foi visualizado a formação de um outro precipitado de coloração verde, indicativo de íons dicromato no sobrenadante, os quais foram reduzidos de Cr⁴⁺ à Cr³⁺ mediante adição de HCl_(conc.) (Silva; Costa; Santos, 2013).



Sabe-se que o chumbo é um metal pesado altamente tóxico ao homem e aos animais, sendo considerado um importante contaminante ambiental. As principais fontes de contaminação do meio ambiente são decorrentes das atividades industriais do tipo eletromecânica, química e eletroquímicas, além dos processos de mineração, fabricação de baterias e águas subterrâneas provenientes de locais contaminados. O chumbo metálico, seus sais e óxidos, fazem parte integrante de tintas, pigmentos, tubulações antigas e nos aditivos de combustíveis. (Bhattacharjee *et al.*, 2003; Reed & Jamil, 1995).

Os seus efeitos nocivos do podem afetar praticamente todos os órgãos e sistemas do corpo humano e as principais vias de contaminação são inalação ou ingestão, sendo diretamente absorvido, distribuído e excretado. Os principais sítios de absorção são os tratos gastrointestinal e respiratório, este metal é absorvido, fica concentrado no sangue, tecidos moles e principalmente nos ossos. Sua excreção ocorre pela urina e fezes (Moreira & Moreira, 2004).

Neste sentido, a busca por metodologias capazes de tratar e recuperar este importante metal contaminante é extremamente relevante para a sociedade e para o meio ambiente (Amorim, 2018).

A técnica da destilação fracionada é uma operação unitária que tem como objetivo a separação de misturas considerando a diferença de volatilidade (ponto de ebulição)

dos compostos. As fases produzidas durante a destilação são formadas por evaporação e condensação sucessivas e o processo pode ser controlado utilizando uma fonte de aquecimento (Stichlmair & Fair, 1998). Assim, os resíduos provindos das misturas de líquidos miscíveis entre solventes organoclorados: hexano:clorofórmio, clorofórmio:acetato de etila e clorofórmio:éter etílico foram tratados por destilação e ou rota evaporação.

No caso das misturas entre clorofórmio:metanol e clorofórmio:acetona, que formam azeótropos de pontos de ebulição iguais a 38 °C e 64 °C, respectivamente, contendo 93% e 78% dos clorados, em peso, foi possível separar os componentes através de lavagem com água (20% do volume de solvente orgânico) (Di Vitta *et al.*, 2004). Todos os solventes tratados foram devidamente rotulados e disponibilizados para reutilização em outras atividades.

Os solventes não clorados, principalmente misturas entre *n*-hexano e acetato de etila, por formarem mistura azeotrópica de mesmo ponto de ebulição (65 °C), e com 62% de *n*-hexano, em peso, não foi possível a separação por destilação. Isto se deve também ao fato de que a maior parte dos hexanos comerciais contém misturas de composição variada de isômeros tais como metil-pentanos, dimetil-butanos, etc. Estes interferentes dificultam a resolução e separação de misturas entre os solventes (Di Vitta *et al.*, 2004). Como não foi possível a recuperação destes resíduos, os mesmos foram encaminhados ao Abrigo Externo.

As demais misturas foram recuperadas por destilação fracionada ou rota evaporação. Os dados destes procedimentos estão dispostos na tabela 5.

Composição da mistura	Características visuais	Vol. (L)	Procedimento empregado	Vol. recuperado	Destinação final
CHCl ₃ :MeOH	Líquido incolor	6	Destilação fracionada	6	Reutilização
Hex:CHCl ₃	Líquido incolor	3	Destilação fracionada	3	Reutilização
CHCl ₃ :AcOEt	Líquido incolor	3	Destilação fracionada	3	Reutilização
CHCl ₃ :(C ₂ H ₅)O	Líquido incolor	3	Evaporação sob pressão reduzida	2	Reutilização Armazenamento
CHCl ₃ :Acetona	Líquido incolor	3	Lavagem com H ₂ O	3	Reutilização
CHCl ₃ :óleo:CH ₃ CO ₂ H	Líquido imiscível	5	Decantação em funil Destilação fracionada	3	Armazenamento Reutilização
Hex:AcOEt	Líquido incolor	7	Mistura azeotrópica sem tratamento	0	Armazenamento
Hex:MeOH	Líquido em fases	3	Evaporação sob pressão reduzida	3	Reutilização
AcOEt:MeOH	Líquido incolor	5	Destilação fracionada	5	Reutilização

Tabela 5. Dados da separação da mistura de solventes organoclorados e não clorados por destilação fracionada e evaporação sob pressão reduzida.

De maneira geral, pode-se observar que é possível recuperar alguns tipos de resíduos de composição simples aplicando métodos de análises químicas, porém algumas dificuldades foram encontradas durante o trabalho experimental.

Os procedimentos utilizados com base nas regras de solubilidade, reações de precipitação, reações redox e destilação fracionada forneceram resultados bastante satisfatórios, porém, considerando tais métodos para amostras industriais ou rejeitos sem identificação a complexidade certamente será imprevisível devido a origem das diferentes substâncias presentes.

Os resíduos com identificação inadequada ou sem nenhuma rotulagem foram destinados ao Abrigo Externo da IES, para recolhimento da empresa terceirizada.

Segundo Afonso e colaboradores (2003), não há como propor uma rota única para a recuperação de cada elemento ou de preparo para disposição final, mas são necessárias adaptações a partir das propostas estabelecidas no meio científico, para se obter êxito no tratamento dos diversos tipos de rejeitos.

Outra questão importante é conscientização coletiva neste processo, pois sem a participação de todos os envolvidos, dificilmente se obterá resultados que visem à minimização, segregação, tratamento e destino final dos resíduos. Portanto, todos os setores da Educação que geram resíduos são potenciais poluidores e assim, devem estabelecer um Plano de Gerenciamento de Resíduos a fim de minimizar os impactos na saúde pública e no meio ambiente.

4 | CONCLUSÃO

A utilização de produtos químicos nos laboratórios de ensino e pesquisa de uma Instituição de Ensino Superior resulta na produção de resíduos potencialmente nocivos ao homem e ao meio ambiente e, portanto, são necessárias medidas para minimização e controle dos impactos nos diferentes ambientes. Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com a responsabilidade de gerenciar, tratar e dispor de forma adequada os resíduos químicos gerados em um Centro Universitário da região Norte do Paraná.

A apreciação dos efeitos alcançados através dos resultados obtidos permite-nos estabelecer que os tratamentos sistemáticos aplicados na recuperação da maioria dos rejeitos encontrados, demonstraram de certa forma grande eficiência e reprodutibilidade. Além disso, o fato de se reutilizar reagentes tratados contribuiu para que não haja descarte inadequado dos produtos químicos, além de diminuição de custos, promovendo uma maior sustentabilidade, fundamentada em três principais pilares: financeiro, social e ambiental. Pode-se ainda, inferir que essas medidas promove uma maior visibilidade perante a sociedade.

Certamente o envolvimento e comprometimento de Instituições de Ensino Superior e de toda a comunidade acadêmica, permitirão a promoção de consciência ambiental

essenciais para o desempenho no gerenciamento dos resíduos estando, portanto, de acordo com as normativas e leis ambientais vigentes no Brasil.

REFERÊNCIAS

Afonso, J.C.; Noronha, L.A.; Felipe, R.P.; Freidinger, N. Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 602-611, 2003.

Ahmad, F.; Saeed, Q.; Shah, S.M.U.; Gondal, M.A.; Mumtaz, S. Environmental sustainability: Challenges and approaches. **Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability**. p. 243-270, 2022.

Ali, S.; Xu, H.; Yang, K.; Solangi, Y.A. Environment management policy implementation for sustainable industrial production under power asymmetry in the graph model. **Sustainable Production and Consumption**. v. 29, p. 636-648, 2022.

Amorim, P.M.S. **Estratégias de tratamento de resíduos químicos gerados na FCF/USP**. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018 (Dissertação de Mestrado).

Bhattacharjee, S.; Chakrabarty, S.; Maity, S.; Kar, P.; Thakur, B.G. Removal of lead from contaminated water bodies using sea nodule as an adsorbent. **Water Research**, v. 37, p. 3954-3966, 2003.

Bünemann, E.K.; Reimer, M.; Smolders, E.; Smith, S.R.; Bigalke, M.; Palmqvist, a.; Brandt, K.K.; Moller, K.; Harder, R.; Hermann, L.; Speiser, B.; Oudshoorn, F.; Løesl, A.K.; Magid, J. Do contaminants compromise the use of recycled nutrients in organic agriculture? A review and synthesis of current knowledge on contaminant concentrations, fate in the environment and risk assessment. **Science of the Total Environment**. 912 (2024) 168901.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, edição de 04 de maio de 2005.

Cunha, C.J. O programa de gerenciamento dos resíduos laboratoriais do Departamento de Química da UFPR. **Química nova**, v. 24, n. 3, p. 424-427, 2001.

Di Vitta, P.B.; Toyofuki, N.A.; Faria, D.L.A.; Marzorati, L.; Baptista, M.; Bertotti, M.; Serrano, S.H.P.; Di Vitta, C.; Baader, J.W. Reutilização de reagentes e outras experiências realizadas na central de tratamento de resíduos químicos e solventes do Instituto de Química da USP. In: **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em resíduos e desenvolvimento sustentável**. Costão do Santinho – Florianópolis-SC, 2004.

Gerbase, A.E.; Coelho, F.S.; Machado, P.F.L.; Ferreira, V.F. Gerenciamento de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 28, n. 1, 2005.

Huo, J.; Peng, C. Depletion of natural resources and environmental quality; prospects of energy use, energy imports, and economic growth hindrances. **Resources Policy**, v. 86, 104049, 2023.

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

Lassali, T.A.F.; Diniz, R.B.; Cárnio, E.C.; Bonato, P.S.; Larson, R.E.; Giovani, W.F. Gerenciamento de resíduos químicos – Normas e procedimentos gerais, 2013. Disponível em: http://www.pcarp.usp.br/pages/lrq/pdf/normas_gerenciamento.pdf. Pesquisado em 20/10/2024.

Marinho, C.C.; Bozelli, R.L.; Esteves, F.A.; Gonçalves, A.C.B.; Rocha, V.A.; Silva, W.H.; Afonso, J.C. Gerenciamento de resíduos químicos em um laboratório de ensino e pesquisa: a experiência do laboratório de Limnologia da UFRJ. **Eclética Química**, v. 36, n. 2, p. 85-104, 2011.

Mistura, C.N.; Vaniel, A.P.H.; Linck, M.R. Gerenciamento de resíduos dos laboratórios de ensino de Química da Universidade de Passo Fundo, RS. **Revista CIATEC-UPF**, v. 2, n. 1, p. 54-64, 2010.

Moreira, F.R.; Moreira, J.C. A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 9, n. 1, p. 167-181, 2004.

Murano, M.R.; Tavares, S.F. Analysis of Brazilian public policies related to the implementation of circular economy in civil construction. **Ambiente Construído**, v. 22, n. 2, p. 129-142, 2022.

Phrophayak, J.; Techarungruengsakul, R.; khotdee, M.; Thuangchon, S.; Ngamsert, R.; Prasanchum, H.; Sivanpheng, O.; Kangrang, A. Enhancing green university practices through effective waste management strategies. **Sustainability**, v. 16, n. 8, p. 3346-3357, 2024.

Reed, B.E.; Robertson, J.; Jamil, M. Regeneration of granular activated Carbon (GAC) columns used for removal of lead. **Journal of Environmental Engineering**, v. 121, n. 9, p. 653-661, 1995.

Sassiotto, M.L.P. **Manejo de resíduos de laboratórios químicos em universidades: Estudo de caso do Departamento de Química da UFSCar**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005, Dissertação de Mestrado.

Silva, A.F.; Soares, T.R.D.S.; Afonso, J.C. Gestão de Resíduos de Laboratório: Uma Abordagem para o Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 1, p. 55-65, 2010.

Silva, T.T.L.; Costa, E.C.S.; Santos, C.P.F. Tratamento e recuperação de resíduos de chumbo e íons cromato gerados no Laboratório de Ensino de Química Analítica do Centro de Educação e Saúde da Universidade Federal de Campina Grande. In: **5º Congresso Norte-Nordeste de Química**. Natal-RN, upload/1362538567, 2013.

Stichlmair, J.G.; Fair, J.R. **Distillation: Principles and Practice**. New York-USA, Editor Wiley-VCH. 1998.

Tavares, G.A.; Bendassolli, J.A; Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa no CENA/USP. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 732-738, 2005.

Vaz, C.R.; Fagundes, A.B.; Oliveira, I.L.; Kovaleski, J.L.; Selig, P.M. Sistema de gestão ambiental em Instituições de Ensino Superior: uma revisão. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 5, n. 3, p. 45-58, 2010.

Wilde, B. **Analytical Chemistry: Quantitative and Qualitative Analysis**. NY Research Press, 2018. ISBN: 9781632385642; ISBN-10: 1632385643.