

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA
CURSO DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS AMBIENTAIS

CAROLINE FRANCIELI TEIXEIRA

**PROPOSTAS DE MELHORIAS NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM
LABORATÓRIOS DO DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA
UTFPR – CURITIBA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

CAROLINE FRANCIELI TEIXEIRA

PROPOSTAS DE MELHORIAS NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM
LABORATÓRIOS DO DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA
UTFPR – CURITIBA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Tecnologia em Processos Ambientais do Departamento Acadêmico de Química e Biologia – DAQBI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dra. Valma Martins Barbosa

CURITIBA

2018

CAROLINE FRANCIELI TEIXEIRA

**PROPOSTAS DE MELHORIAS NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM
LABORATÓRIOS DO DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA
UTFPR – CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial à obtenção do grau de TECNÓLOGO EM PROCESSOS AMBIENTAIS pelo Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) do Câmpus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela seguinte banca examinadora:

Membro 1 – PROF. DR. JOÃO BATISTA FLORIANO
Departamento Acadêmico de Química e Biologia (UTFPR)

Membro 2 – PROF. DR^a. LARISSA KUMMER
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Orientador – PROF. DR^a. VALMA MARTINS BARBOSA
Departamento Acadêmico de Química e Biologia (UTFPR)

Coordenador de Curso – PROF. Me ALESSANDRO FEITOSA MACHADO

Curitiba, 18 de junho de 2018.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – e ao Departamento Acadêmico de Química e Biologia – DAQBI – pela estrutura oferecida e pelo conhecimento e orientação, adquirido através dos docentes e funcionários.

À minha orientadora, Prof. Dra. Valma Martins Barbosa, pelo suporte, orientação, paciência e pelo conhecimento fornecido, tornando possível a realização desse estudo.

Às professoras Dra. Larissa Kummer, Dra. Marlene Soares e Dra. Wanessa Algarte Ramsdorf e a Mestranda Olga Regina Gauza por sua valiosa colaboração, por meio de sugestões e dados fornecidos para o desenvolvimento deste trabalho.

À Técnica Rúbia Bottini, pela ajuda no esclarecimento de dúvidas e nas análises.

Aos professores da banca examinadora pela atenção e contribuição dedicada a este estudo.

Aos meus amigos e colegas do Curso Tecnológico de Processos Ambientais pela amizade e pela troca de informações, que de alguma forma contribuíram diretamente ou indiretamente para a elaboração e finalização deste trabalho.

Às minhas amigas Bruna, Camila e Ludmilla pelo incentivo e pelo apoio constante.

E por fim, à minha família, por estar sempre presente e preocupada com meu aprendizado e crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

TEIXEIRA, Caroline F. Propostas de Melhorias no Gerenciamento de Resíduos em Laboratórios do Departamento Acadêmico de Química e Biologia UTFPR – Curitiba. 2018. 91 f. TCC (Curso de Tecnologia em Processos Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A ação conjunta entre professores, estudantes e estagiários, em 2006, originou o Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da UTFPR Câmpus Curitiba (PGRCC), em paralelo, foi elaborado o Manual de Gerenciamento de Resíduos de Laboratório do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI). Atualmente, nos laboratórios do DAQBI, muitos experimentos já são realizados utilizando volumes de reagente em semi-micro escala, diminuindo assim a quantidade de resíduos gerada. Mas o PGRCC requer contínuos investimentos financeiros e humanos e, ainda, se tem a necessidade de avançar para as outras etapas que envolvam a reutilização e a reciclagem de materiais. Nesse sentido, inserindo-se no PGRCC, o presente trabalho propôs melhorias no Gerenciamento de Resíduos de Laboratórios do DAQBI da UTFPR – Curitiba, com base nos princípios da Química Verde, na Hierarquia de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, no inventário de resíduos, na análise de documentos e observações in loco da coleta interna de agosto de 2017. Pesquisaram-se tratamentos para resíduos contendo íons de prata e de cromo, avaliando a viabilidade destes tratamentos se tornarem aulas práticas para a disciplina de Resíduos Sólidos Industriais e a possibilidade de reutilizar os produtos obtidos na própria universidade. Por fim elaboram-se palestras com orientações para professores e alunos do departamento, visando o melhor gerenciamento dos resíduos. Assim, de acordo com as observações e dados levantados, foram propostas alterações e atualizações no Manual de Gerenciamento dos Resíduos de Laboratório. O estudo indicou que a recuperação dos íons de prata e de cromo é viável, porém os tratamentos só serão praticáveis e proveitosos se o sistema de segregação e rotulagem de resíduos forem eficientes. Desta forma, conclui-se que é necessário um contínuo monitoramento no sistema de segregação e identificação de resíduos e a conscientização da comunidade acadêmica por meio de palestras, pois os resultados destas mostraram-se positivos, conforme pode-se observar na coleta interna de resíduos em maio de 2018, porém são recomendáveis palestras periódicas, bem como revisões e atualizações constates do gerenciamento.

Palavras-chave: Química Verde, Gerenciamento de Resíduos Químicos, Resíduos Perigosos, Tratamento de Resíduos Químicos.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Caroline F. Proposals for Improvements in Waste Management in Laboratories of the Academic Department of Chemistry and Biology UTFPR – Curitiba. 2018. 91 f. TCC (Curso de Tecnologia em Processos Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The joint action of professors, students and trainees, in 2006, originated the Solid Waste Management Program of the UTFPR Câmpus Curitiba (PGRCC), in parallel, the Laboratory Waste Management Manual of the Academic Department of Chemistry and Biology (DAQBI) was elaborated. Currently, in the DAQBI's laboratories, many experiments are performed using volumes of reagent in semi-micro scale, thus reducing the amount of waste generated. But the PGRCC requires continuous financial and human investments, and there is a need to move on to the other stages that involve the reuse and recycling of materials. In this way, entering the PGRCC, the present work proposed improvements in Waste Management in Laboratories of the DAQBI of the UTFPR – Curitiba, based on the principles of Green Chemistry, the Hierarchy of Solid Waste Management, the waste inventory document analysis and in situ observations of the internal collection in August 2017. It was investigated treatments for residues containing silver and chromium ions, evaluating the viability of these treatments to become practical classes for the discipline of Industrial Solid Waste and the possibility of reusing the products obtained at the university itself. Finally, lectures were elaborated with guidelines for professors and students of the department, aiming at better waste management. Thus, according to the observations and data collected, changes and updates were proposed in the Laboratory Waste Management Manual. The research indicated that it is possible to recover these metal ions, however the treatments will only be feasible and useful if the waste segregation and labeling system are efficient. Thus, it is concluded that continuous monitoring is necessary in the system of segregation and identification of residues and the awareness of the academic community through lectures, since the results of these were positive, as can be observed in the internal collection of residues in May 2018, but periodic lectures as well as management reviews and updates are recommended.

Keywords: Green Chemistry, Chemical Waste Management Program, Hazardous Wastes, Chemical Waste Treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tratamento da prata com ácido nítrico.....	32
Figura 2 – Esquema de montagem dos equipamentos para a eletrodeposição de prata.....	34
Figura 3 – Resíduos provenientes do Laboratório de Química Analítica contendo prata e supostamente contendo cromo.....	35
Figura 4 – Resíduos de cromo provenientes do Laboratório de Química Analítica...	36
Figura 5 – Fluxograma do tratamento de cromo hexavalente.....	37
Figura 6 – Resíduo amarelo supostamente originário do Método de Mohr.....	38
Figura 7 – Quantidade de Resíduos Químicos gerados no Ecoville nos últimos dez anos.....	41
Figura 8 – Quantidade de Resíduos gerados e acumulados por Laboratório na sede Ecoville, entre os anos de 2015 a 2017.....	42
Figura 9 – Quantidade de Resíduos Químicos, em porcentagem de massa, de aulas práticas gerados pelos Laboratórios DAQBI entre novembro de 2016 a agosto de 2017. O item “Analítica Desconhecido” são resíduos do laboratório de Química Analítica, porém de origem desconhecida.....	43
Figura 10 – Coleta de resíduos pelo almoxarifado do DAQBI em agosto de 2017 ...	44
Figura 11 – Exemplo de resíduo com origem desconhecida.....	45
Figura 12 – Exemplo de resíduo com apenas um elemento químico identificado, no caso o íon metálico Manganês.....	46
Figura 13 – Exemplo de resíduo estocado a mais de quatro anos. No rótulo o tempo de armazenamento é desde 2013.....	46
Figura 14 – Veículo coletor da empresa HMS Gestão de Resíduos, empresa contratada pela universidade para transportar os resíduos químicos no dia 31 de agosto de 2017.....	47
Figura 15 – Carregamento dos resíduos pelo funcionário da HMS Gestão de Resíduos no dia 31 de agosto de 2017.....	48
Figura 16 – Tratamento do resíduo de dicromato.....	55
Figura 17 – Tratamento do filtrado de dicromato.....	55
Figura 18 – Primeiro gráfico de calibração para a leitura do Cromo em AAS.....	57
Figura 19 – Segundo gráfico de calibração para a leitura do Cromo em AAS, o qual foi considerado ideal.....	57
Figura 20 – Tratamento do íon cromo para o suposto Resíduo do Método de Mohr	58
Figura 21– Palestra sobre o Gerenciamento de Resíduos de Laboratórios para alunos.....	62
Figura 22 – Apresentação da palestra sobre Gerenciamento de Resíduos de laboratório.....	63
Figura 23 – Coleta de resíduos pelo almoxarifado do DAQBI em maio de 2018... ..	64
Figura 24 – Exemplo de rotulagem adequada.....	64
Figura 25 – Exemplo de inadequação no rótulo. O diagrama de Hommel está ocultado parcialmente.....	65
Figura 26 – Exemplo de rótulo como ausência de dados: tempo de armazenamento, pH e diagrama de Hommel.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Os 12 Princípios da Química Verde	15
Tabela 2 – Os 13 Princípios da África Mais Verde	17
Tabela 3 – Quantidade de Resíduos geradas por laboratório, no quesito aula prática, entre o período de dezembro de 2016 até agosto de 2017.....	43
Tabela 4 – Quantidade de Bissulfito de Sódio gasto e de Cromo recuperado para 40 mL de resíduo	55
Tabela 5 – Concentração das amostras de Cromo-Padrão	56
Tabela 6 – Resultados para a espectroscopia AAS para o Cromo	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS	Espectroscopia de Absorção Atômica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DAQBI	Departamento Acadêmico de Química e Biologia
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PGRCC	Programa de Gerenciamento de Resíduos do Câmpus Curitiba
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SÚMARIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	QUÍMICA VERDE E QUÍMICA SUSTENTÁVEL	14
3.2	RESÍDUOS SÓLIDOS	18
3.2.1	Classificação dos Resíduos	19
3.3	GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIO	20
3.3.1	Gerenciamento de Resíduos em Universidades	22
3.3.2	Gerenciamento de Resíduos de Laboratório no DAQBI	23
3.3.3	Segurança no Laboratório	25
3.4	EXEMPLOS DE TRATAMENTOS DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIOS	26
3.4.1	Resíduos contendo Íons Prata	26
3.4.2	Resíduos contendo Íons Cromo	28
4	METODOLOGIA	30
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	30
4.2	INVENTÁRIO DOS RESÍDUOS	30
4.3	REVISÃO DO MANUAL DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIO	30
4.4	TRATAMENTOS PARA RESÍDUOS CONTENDO ÍONS DE PRATA E CROMO	31
4.4.1	Tratamentos para resíduos contendo íons prata	31
4.4.2	Tratamentos para resíduos contendo íons cromo	35
4.5	VIABILIDADE DE TRATAMENTOS SE TORNAREM AULAS PRÁTICAS PARA DISCIPLINA DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	38
4.6	ORIENTAÇÕES PARA GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM LABORATÓRIOS	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	INVENTÁRIO DOS RESÍDUOS	40
5.2	REVISÃO DO MANUAL DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIO	49
5.2.1	A Introdução do Manual	50
5.2.2	Incompatibilidade de Resíduos	50
5.2.3	Precipitação de Metais	51
5.2.4	Apresentação do Manual	52
5.2.5	Resíduos Biológicos	52
5.2.6	Cuidados e Medidas	53
5.3	TRATAMENTOS PARA RESÍDUOS CONTENDO ÍONS DE PRATA E CROMO	53
5.4	VIABILIDADE DE TRATAMENTOS SE TORNAREM AULAS PRÁTICAS PARA DISCIPLINA DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	59
5.4.1	Íon Prata	59
5.4.2	Íon Cromo	60
5.5	ORIENTAÇÕES PARA GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM LABORATÓRIOS	61
5.5.1	Palestras	61

5.5.2 Resultados após as Palestras	63
6 CONCLUSÃO	67
7 PERSPECTIVAS FUTURAS	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
APÊNDICE A – A INTRODUÇÃO DO MANUAL.....	75
APÊNDICE B – SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS.....	78
APÊNDICE C – EMBALAGENS APROPRIADAS	79
APÊNDICE D – ROTULAGEM DE RESÍDUOS.....	80
APÊNDICE E – RESÍDUOS BIOLÓGICOS.....	83
APÊNDICE F – CUIDADOS E MEDIDAS.....	84
ANEXO A – TRATAMENTO DE RESÍDUO CONTENDO CROMO.....	85
ANEXO B – FICHA DE CADASTRO DE RESÍDUOS E RÓTULO UTILIZADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS ENTRE NOVEMBRO DE 2016 A AGOSTO DE 2017	87
ANEXO C – SUBSTÂNCIAS INCOMPATÍVEIS.....	88
ANEXO D – INTERVALO DE PH PARA PRECIPITAÇÃO DOS CÁTIOS NA FORMA DE HIDRÓXIDO	89
ANEXO E – RÓTULO UTILIZADO PARA IDENTIFICAÇÃO E CADASTRO DE RESÍDUOS ENTRE AGOSTO DE 2017 A MAIO DE 2018	90

1 INTRODUÇÃO

A conscientização a respeito da necessidade de uma destinação adequada a qualquer tipo de resíduo se tornou uma preocupação mundial por parte das indústrias químicas, das instituições acadêmicas e dos órgãos governamentais (AMARAL et al., 2001).

Os resíduos químicos de laboratório gerados por atividades de pesquisa e/ou ensino nas universidades e em centros de pesquisas, até pouco tempo careciam de gerenciamento adequado pelo fato de que estas instituições não eram habitualmente consideradas unidades poluidoras. Somente a partir da década de 90 estes resíduos passaram a ser uma preocupação no Brasil (MARINHO; BOZELLI; ESTEVES, 2011).

Os resíduos químicos compreendem uma infinidade de compostos gerados nas mais variadas atividades industriais e laboratoriais e merecem uma preocupação especial devido à natureza dos seus compostos, seja de natureza físico-química ou bioquímica, que podem apresentar vários níveis de toxicidade (PENATTI; GUIMARÃES; SILVA, 2008).

Atualmente a Química passa por uma transição para a sustentabilidade ambiental, em que é necessário o aprimoramento de técnicas que levem a menor geração de resíduos e efluentes, os quais devem envolver a economia de átomos, redução de resíduos, eficiência energética, economia de matéria-prima, controle de qualidade e gestão da segurança, conceitos que integram os princípios da Química Verde (ZANDONAI et al., 2014).

A gestão ambiental também vem se destacando no setor da educação, buscando o gerenciamento de resíduos que engloba o manejo, coleta, transporte, acondicionamento, tratamento e disposição final dos resíduos, e os aspectos relacionados ao planejamento, à fiscalização e à regulamentação. Gerir corretamente os resíduos, além de facilitar a destinação final, significa também trabalhar na não geração, minimização, reuso, reciclagem e tratamentos que muitas vezes podem ser executados no próprio local de origem (BARBOSA; CASAGRANDE JUNIOR; LOHMANN, 2009).

Nesta linha, afortunadamente, muitas universidades já estão se ajustando aos novos paradigmas, podendo citar-se como exemplo, o Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o qual preocupado com a

problemática ambiental desenvolveu, em 1994, atividades de coleta seletiva e tratamento de rejeitos dos laboratórios de pesquisa e graduação. No âmbito de seus laboratórios de ensino de graduação, algumas disciplinas realizaram diversas atividades visando tanto a recuperação de resíduos como de reagentes para a reutilização em seus laboratórios (AMARAL et al., 2001).

De acordo com Afonso et al. (2003) e Barbosa (2015), a implementação de um programa de gestão de resíduos exige antes de tudo mudança de atitudes e, por isto, é uma atividade que traz resultados a médio e longo prazo, além de requerer a reeducação e persistência contínua. Seu êxito depende muito da colaboração de todos os membros da unidade geradora e o gerenciamento é uma tarefa longa e complexa, que deve ser construída a cada nova pesquisa realizada, no dia a dia da instituição.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) também está buscando caminhos que proporcionem melhor qualidade ambiental. Em 2006, graças a uma ação conjunta entre estagiários, estudantes e professores, foi elaborado um primeiro Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos no Câmpus Curitiba (PGRCC), em que os laboratórios de Química alteraram e modificaram alguns roteiros de aula prática, operando com reagentes menos prejudiciais ao meio ambiente e em semi-micro escala. Em paralelo foi elaborado o Manual de Gerenciamento de Resíduos de Laboratório do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (BARBOSA; CASAGRANDE JUNIOR; LOHMANN, 2009).

Assim este trabalho visa analisar e propor melhorias no que se refere ao gerenciamento de resíduos de laboratórios do Departamento Acadêmico de Química Biologia – UTFPR, tendo como base os princípios da Química Verde, a Hierarquia de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, o inventário de resíduos e treinamento da comunidade envolvida.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o gerenciamento dos resíduos dos Laboratórios do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Curitiba, e propor melhorias.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos compreendem:

- Atualizar o inventário dos resíduos gerados nos laboratórios do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI).
- Revisar o Manual de Gerenciamento de Resíduos de Laboratório do DAQBI e propor melhorias de acordo com a realidade encontrada.
- Pesquisar tratamentos para resíduos contendo íons de prata e de cromo.
- Avaliar a viabilidade destes tratamentos se tornarem aulas práticas para a disciplina de Resíduos Sólidos Industriais e verificar a possibilidade da reinserção dos produtos dos tratamentos em outras aulas experimentais.
- Elaborar e aplicar treinamentos para melhor gerenciamento dos resíduos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 QUÍMICA VERDE E QUÍMICA SUSTENTÁVEL

A Química trouxe muito benefícios à humanidade e influenciou a sociedade moderna, entretanto, existem questionamentos relacionados ao uso inadequado no que se refere aos danos e riscos ambientais. Os resíduos químicos compreendem uma infinidade de compostos gerados nas mais variadas atividades e, devido à complexidade dos seus compostos e de suas diferentes propriedades físico-químicas e bioquímicas, podem apresentar vários níveis de toxicidade (PENATTI; GUIMARÃES; SILVA, 2008).

Resíduo é, em última análise, o resultado do uso ineficiente dos recursos que estão a nossa disposição levando ao desperdício energético e de material, descartes inapropriados e/ou eliminação do resíduo que, geralmente, são caros (BAZITO; FREIRE, 2009).

Em relação à geração de resíduos químicos em laboratórios de análises e pesquisas na área Química, estes apresentam quantidades desprezíveis se comparados às indústrias de grande porte deste mesmo ramo, como as de produtos químicos e petroquímicas (PENATTI; GUIMARÃES; SILVA, 2008).

De acordo com Marinho et al. (2011) os resíduos de laboratório gerados em instituições acadêmicas passaram a ser uma preocupação, no Brasil, apenas na década de 1990 devendo-se levar em conta que:

No atual cenário, onde vários segmentos da sociedade vêm cada vez mais se preocupando com a questão ambiental, as universidades não podem mais sustentar esta medida cômoda de simplesmente ignorar sua posição de geradora de resíduos, mesmo porque esta atitude fere frontalmente o papel que a própria universidade desempenha quando avalia (e geralmente acusa) o impacto causado por outras unidades de geradoras de resíduo fora dos seus limites físicos (JARDIM, 1998, p. 671).

Atualmente a Química passa por uma transição para a sustentabilidade ambiental. Isso leva a desafios significativos para o ensino de Química, uma vez que não só os profissionais dessa área, mas também os estudantes e pesquisadores devem aprender e praticar a Química dentro de uma perspectiva de sustentabilidade, não apenas envolvendo a qualidade de vida das pessoas e sim a conservação do meio ambiente (AYRES; AMARAL, 2016).

Atualmente há várias definições de “Química Sustentável”. Um exemplo é da *International Union for Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) que, no início dos anos 90, a define como "invenção, projeto e aplicação de produtos químicos e processos para reduzir ou eliminar o uso e geração de substâncias perigosas". Para a IUPAC a Química Verde é denominada Química Sustentável (AYRES; AMARAL, 2016).

Embora os termos “Química Verde” e “Química Sustentável” sejam muitas vezes utilizados como sinônimos, há uma diferença sutil em seus entendimentos. Química Sustentável está relacionada à produção industrial, ou seja, processos químicos com alta utilização de insumos, eficiência, margem de lucro e com menos impactos e poluentes. Já a Química Verde sugere reações químicas ecológicas, “ecoeficientes”, menos impactantes devido a ações mitigadoras, sem necessariamente um caráter de produção industrial (MACHADO, 2004).

Nesta percepção, a Química Verde aborda 12 princípios básicos, conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Os 12 Princípios da Química Verde.

(Continua)

Princípio	Enunciado
1	Prevenir a Geração de Resíduos. Evitar sua produção é melhor do que tratar ou limpar o resíduo após sua geração.
2	Maximizar a Economia de Átomos. Deve-se procurar desenhar metodologias sintéticas que possam maximizar a incorporação de todos os materiais de partida no produto final, evitando assim a geração de resíduos.
3	Minimização de Perigos, ou seja, Síntese de Produtos Menos Perigosos. Sempre que praticável, a síntese de um produto químico deve utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.
4	Desenvolvimento de Produtos Seguros. Os produtos químicos devem ser desenhados de tal modo que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos.
5	Solventes e Auxiliares Seguros. Evitar o uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes, etc.) sempre que possível. Se utilizadas, estas substâncias devem ser inócuas.
6	Busca pela Eficiência Energética. Sempre que praticável, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes. A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada.
7	Utilizar Fontes Renováveis de Matéria-Prima. A utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não renováveis, se a técnica for economicamente viável.
8	Evitar a Formação de Derivados. A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.

Tabela 1 – Os 12 Princípios da Química Verde.

(Conclusão)

Princípio	Enunciado
9	Utilizar catalisadores, tão seletivos quanto possível, pois são melhores que reagentes estequiométricos, reduzindo assim a geração de subprodutos..
10	Degradabilidade de substâncias. Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente.
11	Monitoramento e Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição. Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.
12	Química Segura para a Prevenção de Acidentes. As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

Fonte: Manahan (2013) e Barbosa (2015).

Ao implementar a Química Verde é necessário utilizar duas abordagens, que muitas vezes são complementares. A primeira é a utilização de compostos químicos existentes, mas fabricados de acordo com processos de síntese benéficos para o meio ambiente. A outra é a substituição de compostos químicos perigosos por outros que não sejam prejudiciais ao ambiente. Porém uma das prioridades da Química Verde é a redução da geração de resíduos, sendo que sua prevenção à geração é a melhor escolha do que tratá-los (MANAHAN, 2013).

De acordo com Bourne e Poliakoff (2011), a Química Verde precisa ir para um caminho onde é preciso reconhecer que as necessidades das pessoas podem variar em diferentes locais do mundo. Por exemplo, os 12 princípios da Química Verde podem ser bem executados na América do Norte e na Europa, porém foram necessárias algumas adaptações para funcionar corretamente na África, surgindo assim os 13 princípios da “*Greener Africa*” (África Mais Verde) conforme é mostrado na Tabela 2. A letra de cada enunciado forma a frase “*Greener Africa*”.

Na Ásia, a exemplo da China, estudos foram e estão sendo realizados para criar universidades sustentáveis. De acordo com Geng et al. (2013), devido a sua rápida industrialização e urbanização, a China enfrenta vários desafios relacionadas a degradação ambiental, ao esgotamento dos recursos e as mudanças climáticas. Tal realidade exige que as universidades chinesas formem alunos mais qualificados em conhecimentos de proteção ambiental. Como consequência, os esforços das

universidades verdes receberam muita atenção. Em um estudo de caso na Universidade de Shenyang, os princípios aplicados para se implementar o programa “Universidade Verde” foi os 3 R’s (reduzir, reutilizar e reciclar). A implementação foi bem-sucedida e trouxe vários benefícios tais como redução dos custos de energia e gestão de resíduos, conscientização pública, melhoria da imagem pública, redução de emissões atmosféricas, etc. Porém, as universidades devem adaptar seus esforços para implementação de uma “Universidade Verde” considerando as circunstâncias locais, culturais e acadêmicas, para que seus planos de ação sejam viáveis (GENG et al., 2013).

Tabela 2 – Os 13 Princípios da África Mais Verde.

Princípio	Enunciado
G	Generate wealth not waste (Gerar riqueza, não desperdício)
R	Regard for all life & human health (Consideração por todas as vidas e saúde humana)
E	Energy from the Sun (Energia do Sol)
E	Ensure degradability & no hazards (Garantir degradabilidade e sem riscos)
N	New ideas & different thinking (Novas Idéias e novos pensamentos)
E	Engineer for simplicity & practicality (Construir para simplicidade e praticidade)
R	Recycle whenever possible (Reciclar sempre que possível)
A	Appropriate materials for function (Materiais apropriados para funcionamento)
F	Fewer auxiliary substances & solvents (Menos substâncias auxiliares e solventes)
R	Reactions using catalysts (Reações usando catalisadores)
I	Indigenous renewable feedstocks (Matérias-primas renováveis locais)
C	Cleaner air & water (Ar e águas limpos)
A	Avoid the mistakes of others (Evitar os erros dos outros)

Fonte: Bourne e Poliakoff (2011).

No Brasil, desde meados de 2000, a Química Verde tem se destacado tanto no setor industrial como nas universidades. Nessa época, até os dias atuais, várias instituições de ensino e pesquisa da área de Química e das Engenharias têm

promovido eventos para a difusão da Química Verde. Em 2004, foi publicado o livro *“Green Chemistry in Latin-America”* como resultado de um projeto que foi apoiado pela IUPAC. São várias pesquisas que se relacionam aos princípios da Química Verde: o desenvolvimento de novos materiais, aproveitamento de produtos vegetais, os biocombustíveis (biodiesel e etanol), a produção de hidrogênio, células a combustível, aditivos e antioxidantes para biocombustíveis (ZUIN, 2013).

O mundo sofreu mudanças nestas últimas décadas desde o surgimento da Química Verde, principalmente no setor da tecnologia, na política e na economia. Como consequência essas mudanças acabaram causando uma pressão maior nos recursos do planeta Terra. Atualmente o maior desafio para os Químicos é fornecer produtos necessários para atender às necessidades da população mundial. E os Químicos Verdes tem o desafio extra de fazer isso sem usar produtos químicos perigosos, e sem gerar resíduos tóxicos ou que possam causar danos ambientais (BOURNE; POLIAKOFF, 2011).

3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Com relação aos resíduos industriais, o artigo 2º da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 313 de 2002 os define como resultantes de atividades industriais e cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2002).

A Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 10004 de 2004 define que resíduos são aqueles que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, e estes podem estar nos estados sólidos, semissólidos, bem como líquidos cujo lançamento seja inviável na rede pública de esgotos ou corpos d'água (ABNT, 2004).

Em 2010 foi instituída a Lei nº 12.305 que dispõe a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. De acordo com esta lei, resíduo é o material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade. Nesta classificação também se encontram os resíduos nos estados semissólidos como lodos, bem como gases e líquidos contidos em recipientes. Desta forma os resíduos

de laboratórios são considerados sólidos independente do estado físico (BRASIL, 2010).

O destino final de resíduos químicos oriundos das atividades de ensino e pesquisa é a mesma utilizada para as indústrias, sob a condição de que a sua validade é baseada na natureza da atividade, e não na quantidade de resíduos geradas (TEODORO et al., 2014).

3.2.1 Classificação dos Resíduos

A NBR 10004 de 2004 dispõe sobre a classificação dos resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Ela preconiza os ensaios químicos a serem realizados para a classificação, mas em certos casos a norma propicia a classificação a partir do conhecimento do processo ou atividade que deu origem ao resíduo, da identificação de seus constituintes e a comparação destes com listagens de resíduos e ou substâncias, cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido, não havendo a necessidade de ensaios quando isso é possível (ABNT, 2004).

Para os efeitos da NBR 10004 de 2004 os resíduos são classificados em Resíduos Perigosos (Classe I) e Resíduos Não Perigosos (Classe II), sendo este último ainda subdividido em Não Inertes (Classe II A) e Inertes (Classe II B). Os Resíduos Classe I são aqueles que apresentam periculosidade e características como toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade. Aqueles que não se enquadram nas classificações de Resíduos Classe I – Perigosos são classificados como Resíduos Classe II – não perigosos.

Os Resíduos Classe II A podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Os Resíduos Classe II B são quaisquer resíduos que não são biodegradáveis e nem combustíveis e, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10007/2004, e submetidos a um contato estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10006/2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da norma NBR 10004/2004.

3.3 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIO

O gerenciamento de resíduos sólidos, conforme o art 3º da Lei 12305/2010, é o conjunto de ações exercidas nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Esta disposição deve estar de acordo com o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com o plano de gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

As instituições e/ou empresas geradoras de resíduos sólidos, que não são qualificadas como instituições de limpeza de urbana, são obrigadas a elaborar um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para comprovar sua capacidade de dar uma destinação ambientalmente adequada aos seus resíduos (BRASIL, 2010).

A lei 12305 apresenta quais os conteúdos mínimos que o Plano deve conter, dentre eles, a descrição do empreendimento ou atividade, o diagnóstico dos resíduos sobre sua origem, caracterização e volume, incluindo os passivos ambientais a eles relacionados e programas que envolvam ações de capacitação técnica voltados para sua implementação e operacionalização bem como ações que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Em laboratórios didáticos, por exemplo, no sentido da redução, a técnica de utilizar reagentes em micro escala começou nos Estados Unidos em 1980, na Universidade de Bowdoin. Os professores de Química dessa universidade optaram por reduzir a quantidade de reagentes nas aulas práticas ao invés de gastar US\$ 250.000 para instalação de um novo sistema de capelas e ventilação adequadas nos laboratórios. Isso permitiu que os estudantes realizassem reações com quantidades de reagentes reduzidas, na faixa de 50 a 150 mg, visto que a “macroescala” trabalha em quantidades de 5 à 15 g. Essa redução de reagentes não apenas diminuiu a quantidade de vapores emitidos reduzindo assim a exposição dos estudantes a produtos tóxicos, mas levou a economia na utilização de reagentes bem como uma minimização na geração de resíduos (MICARONI, 2002).

Contudo, de acordo com Micaroni (2002), a implementação da técnica de micro escala em todos os cursos da Química se mostra complicado devido ao seu elevado custo, dependendo da vidraria e equipamentos utilizados. Para evitar esse

problema muitas instituições de ensino optaram por utilizar reagentes em semi-micro escala, na faixa de 0,5 a 1 g, o qual pode se utilizar as vidrarias de tamanho convencional, a exemplo dos tubos de ensaio.

Entretanto, independentemente do setor, a implementação de um programa de gestão de resíduos vai muito além. Exige antes de tudo, mudança de atitudes, além de requerer a reeducação e uma persistência contínua. Portanto, além da instituição estar disposta a implementar e sustentar o programa, o aspecto humano é muito importante, pois o êxito depende muito da colaboração de todos os membros da unidade geradora de resíduos (AFONSO et al., 2003).

Embora os resíduos de laboratório se enquadrem na categoria de resíduos industriais:

A grande diferença entre gerenciar resíduos industriais e resíduos de laboratórios está na forma de tratamento e disposição final. O grande problema destas formas de geração é a composição variada e inconstante que apresentam. As propriedades químicas dos resíduos mudam constantemente e dificilmente encontra-se um método padrão e eficaz para o seu tratamento (PENATTI; GUIMARÃES; SILVA, 2008, p. 108).

O programa de gerenciamento de resíduos deve contemplar os resíduos ativos e passivos. Os resíduos ativos são aqueles gerados nas atividades rotineiras da unidade geradora e já estão inseridos em ações mesmo que isoladas de gerenciamento. Enquanto que os passivos são aqueles que se encontram estocados a tempos sem destinação. O problema é que a maioria dos resíduos passivos é de difícil caracterização, o que dificulta a implementação do processo de rotulagem e identificação adequados (AFONSO et al., 2003).

De acordo com o art 9º da Lei nº 12.305/2010, um gerenciamento deve levar em conta a Hierarquia de Gerenciamento de Resíduos Sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos, e em última hipótese, caso nenhuma das ações anteriores seja viável até momento, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Pode-se observar que o princípio da Química Verde está inserido no topo dessa hierarquia de gerenciamento, a qual fundamenta que é preciso buscar alternativas que não gerem ou ao menos minimize a produção de resíduos, em detrimento da preocupação exclusiva com o tratamento do resíduo no fim da linha de produção (LENARDÃO et al., 2003).

Mas antes de implementar um programa de gerenciamento de resíduos em laboratórios, deve-se primeiramente fazer um inventário destes. O inventário é um instrumento em que as atividades industriais, de serviços ou de pesquisas devem fornecer informações técnicas sobre quantidades, caracterizações e os sistemas de destinação que adotam para seus resíduos. Essas informações servirão de base para o programa (GHELFI, 2009).

O gerenciamento de resíduos requer contínuos investimentos financeiros e humanos, devendo ser construído no dia a dia da instituição e a cada nova pesquisa realizada. É uma tarefa longa e complexa e os resultados mensuráveis são de médio e longo prazo (BARBOSA, 2015).

As universidades devem estar conscientes e preocupadas com os problemas que estes resíduos podem causar, já que estas são instituições responsáveis pela formação de seus estudantes e, conseqüentemente, pelo seu comportamento como cidadãos do mundo (AMARAL et al., 2001).

3.3.1 Gerenciamento de Resíduos em Universidades

No Brasil algumas universidades vêm buscando opções para implantar programas de gerenciamento e tratar seus resíduos químicos, visando à diminuição dos danos gerados ao ambiente bem como transformá-los em matéria-prima, além de converter práticas cotidianas inconsequentes em consciência ética em relação ao uso e descarte de produtos químicos (SARAMENTO et al., 2015).

O trabalho de Amaral et al. (2001) do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por exemplo, tinha como meta formar um profissional da Química preocupado com a preservação do meio ambiente. Surgiu então o projeto “Ensino e a Química Limpa” em que se destacava a atividade de “Fluxo de Resíduos e Produtos”. Assim um resíduo gerado num determinado laboratório poderia se tornar reagente de outro e, desta forma, minimizaria a quantidade dos descartes. Tais resíduos eram rotulados para facilitar a identificação, a origem e a aplicação de tratamentos. Um exemplo de tratamento era a recuperação do nitrato de prata, a partir de resíduos de cloreto de prata.

Seguindo essa linha de universidades sustentáveis, Di Vitta et al. (2008) descreve em seu trabalho as ações que envolveram a implantação do Programa de

Gerenciamento de Resíduos no Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP). A partir do inventário de resíduos, se identificou as principais classes de resíduos geradas e armazenadas, bem como sua quantidade e foi realizada a montagem de um laboratório para o tratamento dos resíduos gerados em grande volume ou de maior periculosidade. Neste laboratório só eram tratados resíduos de solventes orgânicos e de metais pesados. Outros resíduos, como soluções ácidas ou básicas, oxidantes ou redutoras, eram incentivadas a serem tratadas no próprio laboratório gerador para a minimização de sua geração.

Na Universidade Federal do Ceará (UFC), de acordo com Gomes et al. (2013), o Departamento de Química Analítica e Físico-Química da universidade (DQAFQ), desenvolveu ações para implantar um programa de gerenciamento dos resíduos gerados em seus laboratórios. Uma delas é o Banco de Soluções, local onde as soluções, devidamente rotuladas, são armazenadas antes de serem descartadas. Estas soluções são cadastradas em um fichário com controle de entrada e saída e disponibilizadas para uso da comunidade universitária. As soluções do banco podem ser usadas sem a perda de qualidade dos experimentos. Esta ação reduz os gastos com aquisição de reagentes, além de minimizar seu descarte inadequado. O DQAFQ desenvolveu também metodologias para recuperação dos metais presentes nas soluções residuais.

Com as recentes inovações tecnológicas cria-se uma possibilidade da utilização de experimentos virtuais como parte do programa de gerenciamento de resíduos. O uso dessas tecnologias, dentre elas o computador e outras ferramentas multimídia podem auxiliar na realização de experimentos mais complexos, contribuindo assim na minimização dos resíduos. Mas deve ser levado em conta que a implantação desses procedimentos demanda uma maior instrumentalização dos docentes em tecnologias alternativas, buscando uma maior inclusão digital e uso de softwares de simulação (MISTURA; VANIEL; LINCK, 2010).

3.3.2 Gerenciamento de Resíduos de Laboratório no DAQBI

Desde 1988 a UTFPR – Câmpus Curitiba, antes conhecido como Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET), já promovia algumas ações para a minimização de resíduos, incentivando o reaproveitamento de materiais tais como

madeira e restos de papel para confecção para apagadores e blocos de rascunho, respectivamente. Em 2004, o antigo CEFET foi convocado pela Prefeitura Municipal de Curitiba a elaborar um Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, de acordo com Art. 33 do Decreto Municipal 983/2004, que regulamenta sobre a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final de resíduos sólidos no município de Curitiba. (BARBOSA; CASAGRANDE JUNIOR; LOHMANN, 2009).

Porém foi apenas no ano de 2006 que se teve um avanço com relação ao gerenciamento de resíduos com a criação do PGRCC, graças à ação conjunta entre professores, estudantes e estagiários. Nessa mesma época também foi proposto um Manual para o Gerenciamento de Resíduos de Laboratórios do DAQBI bem como verificada a possibilidade minimização da geração de resíduos. Como resultado, o laboratório de Química Analítica começou a operar em semi-micro escala (BARBOSA; CASAGRANDE JUNIOR; LOHMANN, 2009).

Em 2012, o DAQBI foi transferido da sede Centro para os blocos C e F da sede Ecoville do Câmpus Curitiba, aumentando a quantidade de laboratórios de ensino e pesquisa de dez para mais de trinta. Nos laboratórios de ensino, utilizados pelos cursos técnicos e de graduação, são ministradas as aulas práticas relacionados à Química e Biologia, contando normalmente com um número de vinte e quatro alunos por aula. Nos laboratórios de pesquisa a quantidade de estudantes é reduzida, já que estes fazem uso do laboratório apenas para a execução do seu trabalho. Neste caso a geração de resíduos pode ser reduzida, apesar de sua composição ser diversificada e variável, sua prevenção é mais fácil, uma vez que o pesquisador pode ter mais controle sobre a execução dos trabalhos (BARBOSA, 2015).

A manutenção e gestão dos laboratórios ficam sob responsabilidade dos professores do departamento, que contam com ajuda de estagiários, uma vez que não há profissionais técnicos suficientes contratados pela universidade para tal tarefa. Os professores orientam os estudantes sobre quais resíduos podem ser descartados e quais devem ser armazenados até o dia da coleta, porém não há um padrão de recipientes para recolhimento e armazenamento e o sistema de rotulagem existente nem sempre é utilizado. Os resíduos ficam armazenados nos laboratórios até o dia da coleta. Nesse dia, os resíduos são encaminhados para o almoxarifado do DAQBI, que faz sua quantificação a cada semestre, e posteriormente à destinação final por uma empresa contratada (BARBOSA, 2015).

3.3.3 Segurança no Laboratório

O laboratório é um lugar no qual são realizadas tarefas específicas numa determinada área de conhecimento. Ele difere de outros locais por ser necessário adotar procedimentos especiais nas atividades que lá se realizam e, por esta razão, é um local de risco. O profissional que exerce funções nestes locais, de qualquer natureza, deve tomar consciência de que a atividade ali exercida deve ser precedida das orientações necessárias para diminuir ao máximo a possibilidade de acidentes (DEL PINO; KRÜGER, 1997).

A NBR 14725-4 de 2014 recomenda que trabalhadores, empregadores, profissionais que fazem uso de algum produto químico leiam a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) para seu manuseio. Uma FISPQ fornece informações sobre vários aspectos da substância ou mistura quanto à proteção, à segurança, à saúde e ao meio ambiente e também recomendações sobre medidas de proteção e ações em situação de emergência (ABNT, 2014).

O risco potencial de danos sérios e talvez permanentes faz que seja obrigatório o uso de proteção para os olhos, o tempo todo, por estudantes, professores e visitantes. O descarte das soluções e produtos químicos deve ser feito como orientado. É ilegal despejar soluções contendo metais pesados e solventes orgânicos na pia em muitas localidades. São necessários procedimentos alternativos para o descarte desses resíduos líquidos (SKOOG, 2006).

Para resíduos desconhecidos, que já estão armazenados há algum tempo, pode se tentar determinar a sua espécie e classificá-los. Para isto, são necessários os devidos EPI's – Equipamentos de Proteção Individual (SASSIOTO, 2005).

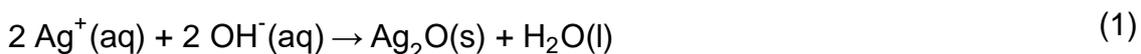
Ao realizar operações que envolvem tratamento de resíduos químicos devem ser feitas com muito cuidado e atenção, pois muitas reações são extremamente perigosas. É recomendável testes em escalas reduzidas, adaptações em caso de reações indesejáveis, como por exemplo, desenvolvimento de reações violentas (GHELFI, 2009).

3.4 EXEMPLOS DE TRATAMENTOS DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIOS

3.4.1 Resíduos contendo Íons Prata

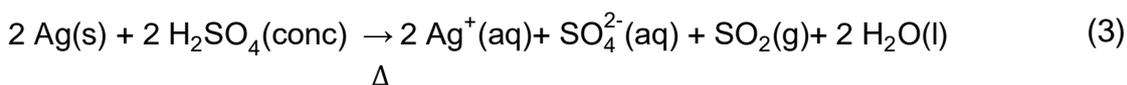
A prata é encontrada naturalmente como um elemento não combinado e em poucos compostos. Este metal, quando puro, é maleável, possuindo um dos maiores valores de condutividade elétrica e térmica. A prata metálica pode ser dissolvida em ácido nítrico e também em soluções de cianeto na presença de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) ou O₂, devido à formação de um complexo muito estável de [Ag(CN)₂]⁻ (RUSSEL, 1994).

De acordo com Russel (1994), uma solução aquosa do íon prata precipita em óxido de prata (coloração preto amarronzado) quando se adiciona uma base forte, conforme mostra a reação 1.



De acordo com Lee (1999) a prata, juntamente com o cobre e ouro, possuem valores positivos de potenciais de redução, por esse motivo não reagem com a água e com ácidos liberando hidrogênio.

Segundo Vogel (1981) e Lee (1999), a prata é insolúvel em ácidos diluídos, mas dissolve-se em ácidos mais concentrados, por exemplo, em ácido nítrico (8 mol L⁻¹) ou em ácido sulfúrico concentrado a quente, conforme é mostrado nas reações 2 e 3, respectivamente.



Graças às suas propriedades a prata pode ser utilizada em instrumentos médicos, equipamentos industriais elétricos, eletrônicos e fotográficos (de imagem e

som). Esse metal também é utilizado na cunhagem de moedas, objetos artísticos, instrumentos musicais, joias, e outros (ROSENBROCK, 2009).

Há escassez de dados relacionada à morte de humanos pela exposição à prata, mas discussões recentes têm sido feitas em relação ao seu comportamento ambiental e ao seu potencial de toxicidade. Alguns dados já apontaram que, dependendo da dose e do tempo de exposição, a prata pode provocar efeitos dermatológicos, imunológicos, efeitos neurológicos e perda de peso. Nos testes com ratos foram observados efeitos letais após sua exposição a compostos de prata inorgânica em doses muito altas (SANTOS; COLASSO; MONERÓ, 2014).

Segundo Santos, Colasso e Moneró (2014), a exposição crônica da prata pode causar a argiria (do grego *argyros* que significa prata) que é uma manifestação caracterizada pela apresentação de cor acinzentada ou azulada em algumas partes do corpo. Mas está condição não é considerada uma ameaça para vida, e sim um problema estético.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 430 de 2011, a concentração de prata total em efluentes para lançamento é de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ (BRASIL, 2011).

O descarte inadequado da prata acarreta prejuízos financeiros, uma vez que esse metal possui significativo valor agregado. Deve-se ainda mencionar que a prata é um dos exemplos de metais com risco de escassez, recebendo inclusive atenção dos órgãos de comunicação (BENDASSOLLI et al., 2003).

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) e os métodos volumétricos de precipitação, principalmente o método de Mohr, são procedimentos de análise muito utilizados em laboratórios de graduação que geram uma solução residual que contem íons prata (BENDASSOLLI et al., 2003; FELISBERTO et al., 2008).

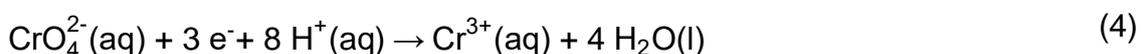
Existem várias pesquisas relacionadas ao tratamento e recuperação da prata. Dentre elas, Felisberto et al. (2008) apresentam um artigo em que aplica o método da redução da prata pela reação com a dextrose para os resíduos oriundos de titulações argentimétricas do método de Mohr. É um processo de purificação da prata metálica, por fusão com bórax. Outro exemplo é o trabalho de Rosenbrock (2009), o qual foi adaptado a partir do experimento de Felisberto et al (2008), onde a prata, na forma de cloreto de prata (AgCl) era recuperada na forma de nitrato de prata (AgNO_3). Outra forma de recuperar a prata é por meio da técnica de eletrodeposição química, desenvolvida por Tocchetto, Viaro e Panatieri (2002).

3.4.2 Resíduos contendo Íons Cromo

O cromo merece maior atenção principalmente devido aos efeitos adversos que pode causar ao meio ambiente e à saúde humana. Os principais produtos de cromo (sais, óxido, metal, ligas) obtidos a partir do minério cromita, são utilizados principalmente na fabricação de ligas metálicas, devido às suas propriedades: dureza, resistência ao atrito, resistência à corrosão e ao desgaste. Muitos tipos de fertilizantes também contêm níveis apreciáveis de cromo (ROSENBROCK, 2009).

De acordo com Felisberto et al. (2008), o método de Mohr, além dos resíduos de prata, também gera uma grande quantidade de solução de cromato de potássio.

Segundo Baird e Cann (2011), o cromo é normalmente encontrado na forma de íons inorgânicos. Seus estados de oxidação comuns são o trivalente (III) e o hexavalente (VI). O cromo VI é altamente solúvel em água, o qual fornece uma cor amarelada à água, mesmo que o nível de cromo esteja abaixo de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$. A maneira usual de se extrair cromo VI da água é usar um agente redutor para sua conversão em cromo III, como mostra a reação 4, sendo que os agentes redutores mais utilizados são SO_2 ou uma solução de sulfito de sódio (Na_2SO_3).



Já a solubilidade do cromo III em água não é alta, sendo este precipitado na forma de hidróxido de cromo III – $\text{Cr}(\text{OH})_3$ – sob condições alcalinas. A principal diferença entre os dois é que enquanto o íon VI é altamente tóxico e carcinogênico, o cromo trivalente, além de ser menos tóxico age como um nutriente traço (BAIRD; CANN, 2011).

A mudança de coloração de amarelo para verde escuro indica que todo o cromo foi reduzido para sua forma trivalente, mas mesmo sendo menos tóxico, normalmente há necessidade de uma etapa de precipitação, seguida de filtração, já que há um limite de descarte em efluentes (POSSIGNOLO; BENDASSOLLI; TAVARES, 2011).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 430 de 2011, a concentração de cromo hexavalente em efluentes para lançamento é de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto que para o cromo trivalente sua concentração pode ser de até $1,0 \text{ mg L}^{-1}$.

Para verificar se o procedimento teve êxito basta observar a cor do sobrenadante. O sobrenadante de cor transparente indica que o cromo foi removido da solução, podendo ser descartado na pia após o ajuste ao pH neutro. Se a coloração permanecer amarela significava presença de cromo hexavalente e que todo o experimento deve ser repetido (POSSIGNOLO; BENDASSOLLI; TAVARES, 2011).

O hidróxido de cromo III deveria, preferencialmente, ser transferido para bandejas de plástico para a secagem em estufa ventilada a 80 °C. Após essa etapa, os precipitados podem ser acondicionados em embalagens apropriadas para a disposição final atendendo a legislação ambiental vigente por meio de contratação de serviço de transporte e alocação desse material em aterro classe I (POSSIGNOLO; BENDASSOLLI; TAVARES, 2011).

Ao longo dos anos foram desenvolvidos estudos que relatam a técnica de vitrificação como uma das melhores opções tecnológicas para a destinação desses metais, já que se obtém um produto que não oferece qualquer risco, além de reutilizar vidrarias de laboratório quebradas e inutilizadas. A técnica consiste em agregar ao vidro, metais como o cromo trivalente, que possam conferir coloração a esse material (SCHLLEMER et al., 2011).

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho proposto é uma pesquisa qualitativa, descritiva, por meio de um estudo de caso. Devido a essa característica constituiu do levantamento e análise de dados e documentos sobre a situação atual do gerenciamento dos resíduos de laboratório do DAQBI.

A metodologia também envolveu uma pesquisa bibliográfica referencial, no sentido de fornecer embasamento teórico ao estudo, bem como encontrar subsídios para contribuir com o aprimoramento do gerenciamento.

Na pesquisa qualitativa os pesquisadores estão preocupados com o processo, e não simplesmente com resultados. “Ela permite que a imaginação e a criatividade levem os investigadores a propor trabalhos que explorem novos enfoques” (GODOY, 1995).

4.2 INVENTÁRIO DOS RESÍDUOS

O inventário dos resíduos gerados nos laboratórios do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) foi elaborado a partir das fichas de cadastros de resíduos e também pelas observações realizadas durante o acompanhamento da coleta de resíduos ocorrida no final do mês de agosto de 2017. As fichas, que foram preenchidas pelos representantes dos laboratórios, foram fornecidas pelo almoxarifado do departamento e correspondiam aos anos de 2015 até 2017. Nelas o número de laboratórios identificados foi de vinte e três.

4.3 REVISÃO DO MANUAL DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIO

Nessa etapa foi verificada a necessidade de possíveis adequações do Manual de Gerenciamento de Resíduos de Laboratório do DAQBI, criado em 2006, analisando o inventário de resíduos, roteiros de aulas práticas e manuais de

gerenciamento de resíduos de outras universidades, assim como sugestões oriundas do contato com alguns professores e a Comissão Interna de Resíduos do DAQBI formada por docentes e presidida pela Química responsável pelo almoxarifado e descarte dos resíduos.

4.4 TRATAMENTOS PARA RESÍDUOS CONTENDO ÍONS DE PRATA E CROMO

Para a análise de possíveis tratamentos escolheu-se replicar os métodos descritos nos itens 4.4.1 e 4.4.2. bem como um trabalho desenvolvido pela autora durante o estágio supervisionado no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Resíduos (LEPER) no ano de 2016, como referência para o tratamento de resíduos proveniente do Laboratório de Química Analítica. Porém os métodos foram replicados parcialmente.

4.4.1 Tratamentos para resíduos contendo íons prata

O método descrito por Rosenbrock (2009) envolvia a Recuperação da Prata, proveniente da volumetria de precipitação (Método de Mohr), convertendo cloreto de prata (AgCl) em nitrato de prata (AgNO_3). Em seu trabalho, Rosenbrock (2009) adaptou o experimento de Felisberto et al. (2008), adicionando ácido nítrico (HNO_3) à prata metálica obtida, obtendo assim nitrato de prata como produto final, de acordo com o esquema ilustrado na Figura 1.

Antes de se iniciar o tratamento, Rosenbrock (2009) realizou um pré-teste nas soluções residuais de prata, com gotas de HCl 1 mol L^{-1} , para verificar se ocorria a precipitação de AgCl nos galões de cinco litros. Em caso positivo separava-se o precipitado do sobrenadante até o teste dar negativo. O sobrenadante do Método de Mohr foi reservado e neste foi aplicado, pela autora, o tratamento do cromo hexavalente, o qual era baseado segundo a literatura: redução com posterior precipitação.

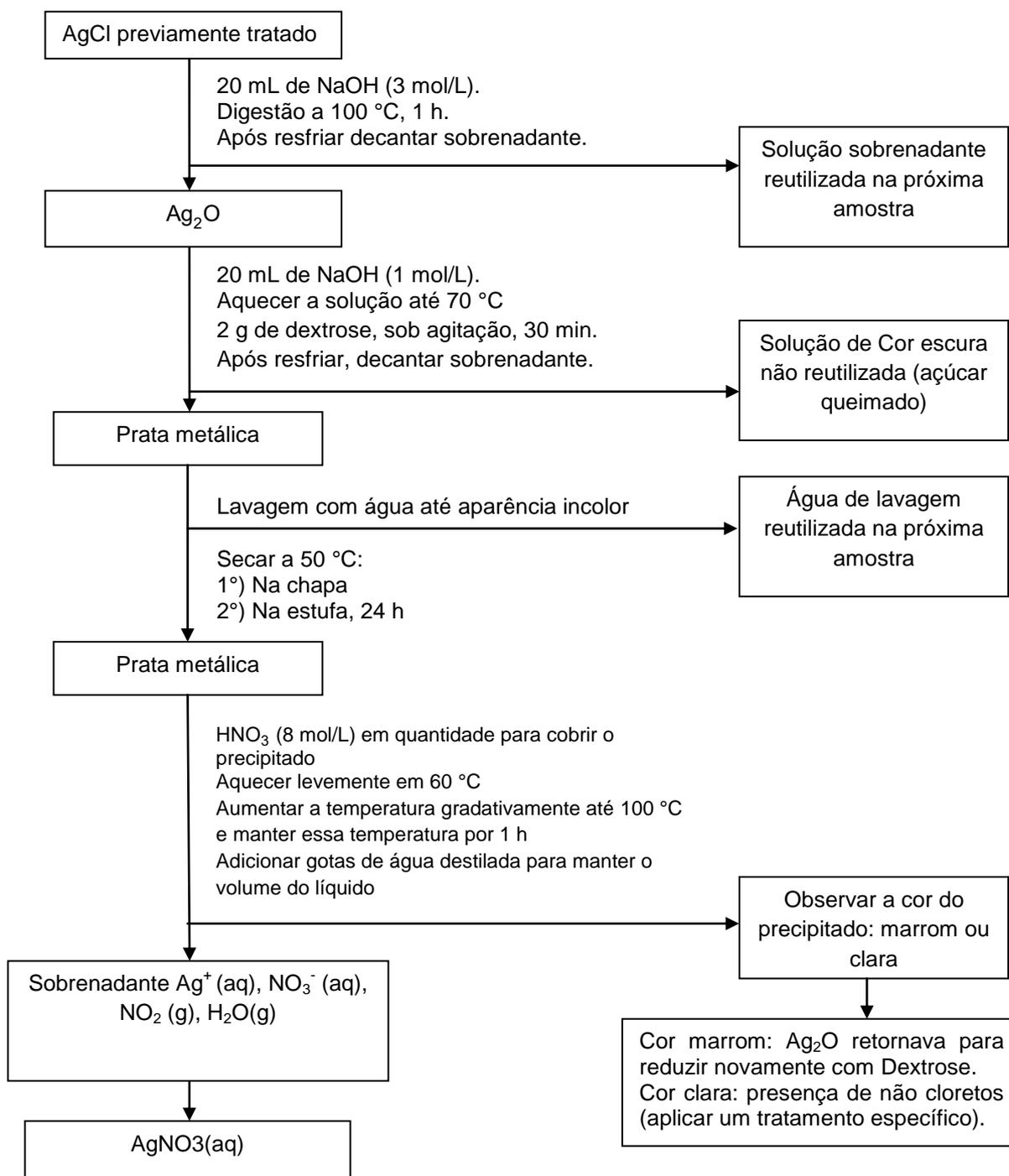
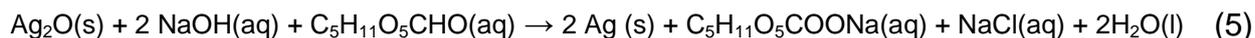


Figura 1 – Tratamento da prata com ácido nítrico.
Fonte: Rosenbrock (2009).

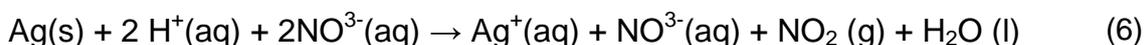
Para a conversão em prata metálica Rosenbrock (2009) afirma que vários agentes redutores, que são citados na literatura, poderiam vir a ser utilizados. A utilização de dextrose e de água oxigenada eram opções mais viáveis. As demais

opções foram descartadas devido à produção de outros resíduos indesejáveis. A água oxigenada seria a alternativa mais limpa, entretanto, de acordo com testes posteriores, não foi obtido resultado satisfatório para a redução à prata metálica. Portanto uso de dextrose como agente redutor se apresentou ideal, de acordo com a autora. Esta redução é representada na reação 5.



A conversão da prata metálica em AgNO_3 envolvia adicionar um volume mínimo de HNO_3 8 mol L^{-1} , que era o suficiente para cobrir o precipitado. A solução foi aquecida, inicialmente em temperatura de 60 °C, na qual Rosenbrock (2009) observou a dissolução do precipitado com posterior liberação de dióxido de nitrogênio (NO_2) na forma de vapor castanho. A autora aumentou a temperatura gradativamente, até a 100 °C por 1 hora, e adicionou gotas de água destilada para manter o volume do líquido.

Segundo Rosenbrock (2009), quando permanecia algum precipitado a solução era transferida para outro béquer seco e limpo, para separação por meio de aquecimento à 100 °C, até diminuir a altura do volume do líquido para três milímetros. Posteriormente, o béquer era transferido para outra chapa com aquecimento moderado a 60 °C, até secar completamente. Esta etapa foi repetida em triplicata pela autora, com intuito de eliminar completamente o HNO_3 e as contaminações de NO_2 adsorvidos nos cristais de nitrato de prata. A dissolução de prata por ácido nítrico é mostrada na reação 6.



Outro tipo de tratamento é proposto por Tocchetto, Viaro e Panatieri (2002), sendo a prata recuperada através de deposição eletroquímica. O modelo da célula utilizado no experimento é mostrado na Figura 2. Nesse experimento os autores utilizaram resíduos de AgCl provenientes de aulas práticas de Química da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

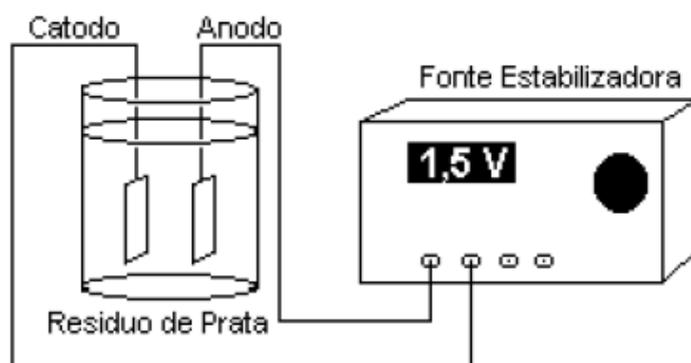


Figura 2 – Esquema de montagem dos equipamentos para a eletrodeposição de prata.

Fonte: Tocchetto, Viaro e Panatieri (2002).

De acordo com os autores, o AgCl foi solubilizado com NH_4OH concentrado formando $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ para facilitar a migração do íon prata. Montou-se uma célula eletrolítica (Figura 2), alternando-se o cátodo (polo negativo) e o anodo (polo positivo) com ferro, grafite e cobre, para verificar qual placa tinha a melhor deposição de prata. Aplicou-se uma diferença de potencial (d.d.p) de 1,5 V e 2,0 V, por um tempo de trinta minutos à temperatura de aproximadamente 25 °C. A melhor eletrodeposição, segundo Tocchetto, Viaro e Panatieri (2002) ocorreu quando se utilizava o grafite como polo positivo e o cobre como polo negativo a uma d.d.p de 2,0 V.

Para aplicar os tratamentos da prata no LEPER, os quais foram descritos por Rosenbrock (2009) e Tocchetto, Viaro e Panatieri (2002), foram fornecidos pelo almoxarifado do DAQBI quatro galões de resíduos apenas identificados “resíduos de prata” e “resíduos de Mohr” provavelmente de aula práticas de Determinação de Cloretos em Água (Método de Mohr). Entretanto os galões não tinham o mesmo valor de pH, apresentando colorações de sobrenadantes e precipitados diferentes, como é mostrado na Figura 3.



Figura 3 – Resíduos provenientes do Laboratório de Química Analítica contendo prata e supostamente contendo cromo.
Fonte: O autor.

Realizou-se um pré-teste, o mesmo citado por Rosenbrock (2009), com gotas de HCl 1 mol L⁻¹, em alíquotas de 40 mL de cada galão para verificar se ocorria precipitação de AgCl. Devido a falta de informações sobre esses resíduos de prata, o tratamento da prata desenvolvido por Rosenbrock (2009) não prosseguiu e o método de Tocchetto, Viaro e Panatieri (2002) não foi iniciado.

4.4.2 Tratamentos para resíduos contendo íons cromo

Para o tratamento do cromo, escolheu-se reproduzir o método descrito por Possignolo, Bendassolli e Tavares (2011), resumido no anexo A. O tratamento descrito no anexo A é um modelo para uma aula prática, porém o mesmo ainda não foi implementado. Este método foi reproduzido em duas situações, sendo a primeira durante o estágio supervisionado da autora no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Resíduos (LEPER) no ano de 2016 e a segunda situação durante o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso (TCC) em 2017.

Durante o estágio foram tratados quatro tipos de resíduos de cromo, porém a identificação não estava adequada e como apresentavam colorações diferentes supôs-se que suas origens eram distintas entre si, como mostra a Figura 4.



Figura 4 – Resíduos de cromo provenientes do Laboratório de Química Analítica.

Fonte: O autor.

O tratamento foi realizado em alíquotas de 40 mL para cada resíduo. Inicialmente, foram utilizadas as mesmas diluições de ácido e base, hidróxido de sódio (NaOH) a 50% (m/v) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 3 mol L^{-1} , como estava descrito no roteiro do Anexo A. Mas como havia uma variação muito rápida de pH optou-se por diluir essas soluções para 25% (m/v) e $1,5 \text{ mol L}^{-1}$ respectivamente. O fluxograma do tratamento é mostrado na Figura 5.

Nesse tratamento o tempo foi cronometrado para verificar se é possível aplicá-lo em uma aula prática. Para a confirmação da eficiência do tratamento foi feita a análise dos sobrenadantes por meio de um espectrofotômetro de absorção atômica (AAS) com atomizador de chama modelo GBC AVANTA disponível na própria universidade.

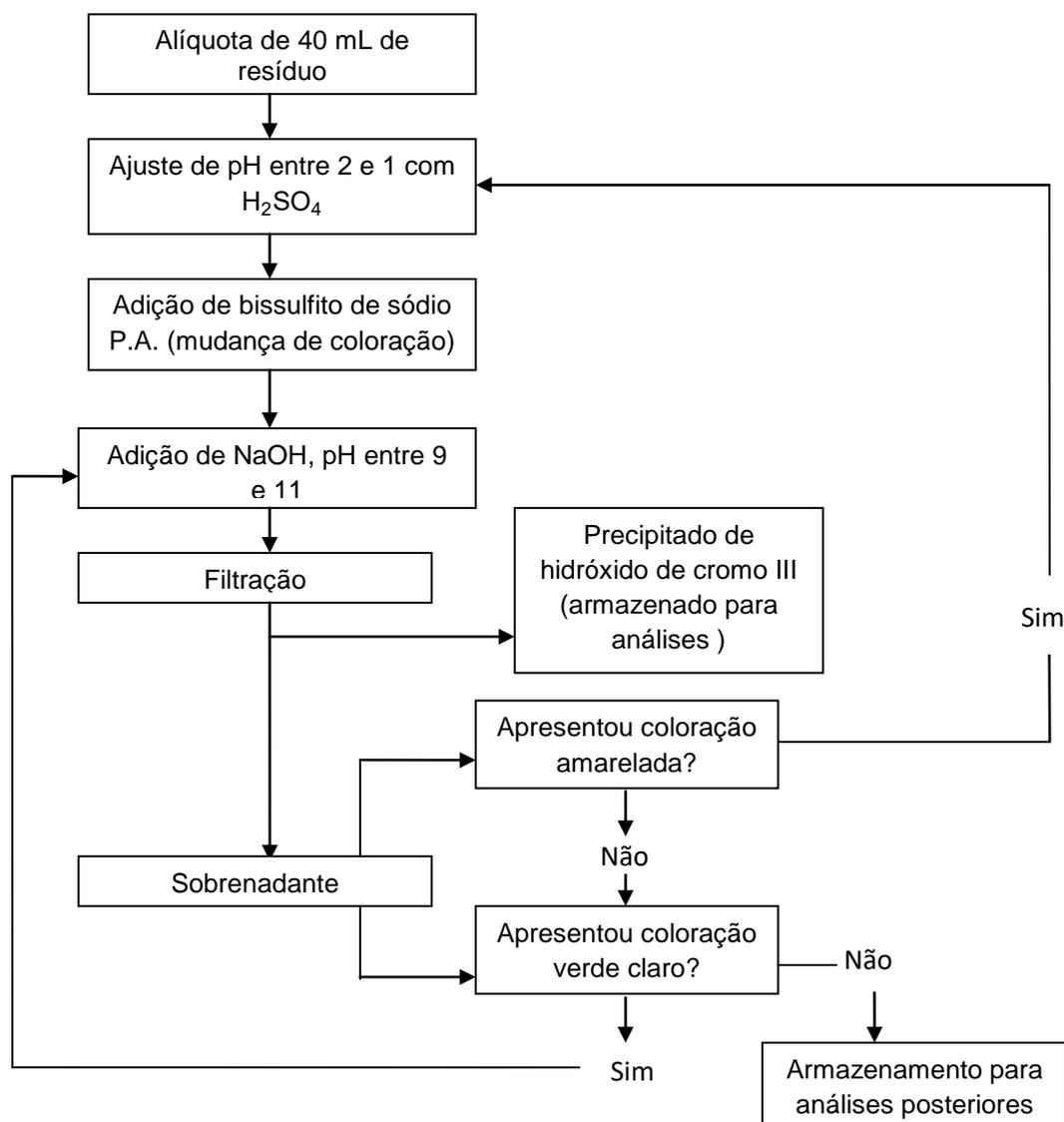


Figura 5 – Fluxograma do tratamento de cromo hexavalente
 Fonte: O autor.

Em 2017 foi reproduzido, parcialmente, o mesmo tratamento (Figura 5), para suposto resíduo proveniente do Método de Mohr do Laboratório de Química Analítica. O teste foi realizado em uma alíquota de 40 mL do resíduo que apresentava a coloração amarela, como é mostrado na Figura 6.

Nessa amostra utilizou-se os reagentes H_2SO_4 e NaOH nas concentrações de $1,5 \text{ mol L}^{-1}$ e 12,5% (m/v) respectivamente, com o tempo de tratamento sendo devidamente cronometrado.



**Figura 6 – Resíduo amarelo supostamente originário do Método de Mohr.
Fonte: O autor.**

4.5 VIABILIDADE DE TRATAMENTOS SE TORNAREM AULAS PRÁTICAS PARA DISCIPLINA DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Com base nos experimentos descritos nas etapas 4.4.1 e 4.4.2 e analisando o gasto de reagentes, tempo, geração ou não de novos resíduos, e as possibilidades de reutilização, foram sugeridas algumas propostas afim de minimizar o descarte de substâncias e utilização de tais metodologias em aulas práticas para a disciplina de Resíduos Sólidos Industriais.

4.6 ORIENTAÇÕES PARA GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM LABORATÓRIOS

Nesta etapa, com base nas informações obtidas nas etapas 4.2 e 4.3 e em ação conjunta com a Comissão de Resíduos do departamento, foram realizadas palestras, para alunos e professores sobre a atual situação do gerenciamento de

resíduos nos laboratórios do DAQBI, bem como orientações para a melhoria contínua do mesmo.

Nas palestras foram explicados os princípios da Química Verde, o princípio de poluidor-pagador, a Hierarquia de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, o porquê de um sistema de rotulagem adequado e quais os frascos adequados para armazenamento de resíduos. Também foi explicado que o gerador é responsável pelos seus resíduos, as atuais falhas do sistema de gerenciamento e por fim qual era importância da colaboração de todos. O período das palestras foi entre os meses de fevereiro a abril de 2018.

Foi feito o acompanhamento durante a coleta interna de resíduos do dia 7 de maio de 2018 para verificar se o “*feedback*” após essas orientações seria positivo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 INVENTÁRIO DOS RESÍDUOS

Do acompanhamento durante agosto de 2017 a maio de 2018, foi possível observar, que o DAQBI tem algumas ações no sentido de promover o gerenciamento de resíduos. Possui uma Comissão de resíduos, um Manual de Gerenciamento de Resíduos, um sistema de rotulagem dos resíduos, orientações de preenchimento dos rótulos pela comissão e incentivo à segregação de resíduos.

Em relação à quantificação de resíduos gerados por laboratórios, a princípio estes eram registrados em fichas cadastrais, preenchidas pelos representantes ou responsáveis pelos laboratórios e entregues ao almoxarifado, junto com os resíduos já rotulados, no dia marcado para a coleta e destinação do resíduo por uma empresa especializada. Um exemplo de modelo de ficha e rótulo, utilizados entre novembro de 2016 até agosto de 2017, estão ilustradas no Anexo B.

De acordo com os dados levantados, Figura 7, a geração de resíduos de laboratórios começou a aumentar consideravelmente a partir de 2013, conforme foram aumentando o número de aulas práticas implementadas, assim como os avanços das pesquisas devido a expansão do departamento quando houve a realocação do DAQBI da sede Centro para sede Ecoville, em 2012. Nessa mesma época, além dos resíduos do DAQBI, o almoxarifado do setor passou a quantificar e encaminhar para a destinação final os resíduos de laboratórios do Departamento Acadêmico da Construção Civil (DACOC). Também foram incluídos, mais recentemente, os resíduos de laboratório gerados no Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC), o qual foi realocado para sede Ecoville em 2016.

Observa-se ainda na Figura 7 que a quantidade de resíduos é variável, havendo um declínio nos últimos dois anos que devem estar relacionados com os tipos de pesquisas realizadas, pois das aulas práticas espera-se uma constância, sendo consideradas fontes fixas.

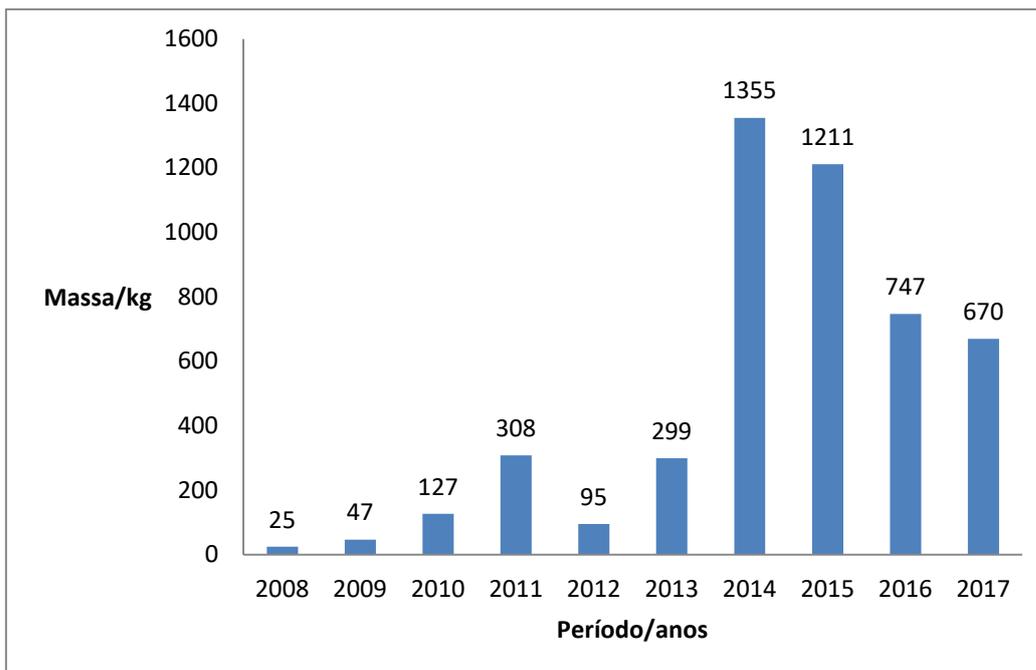
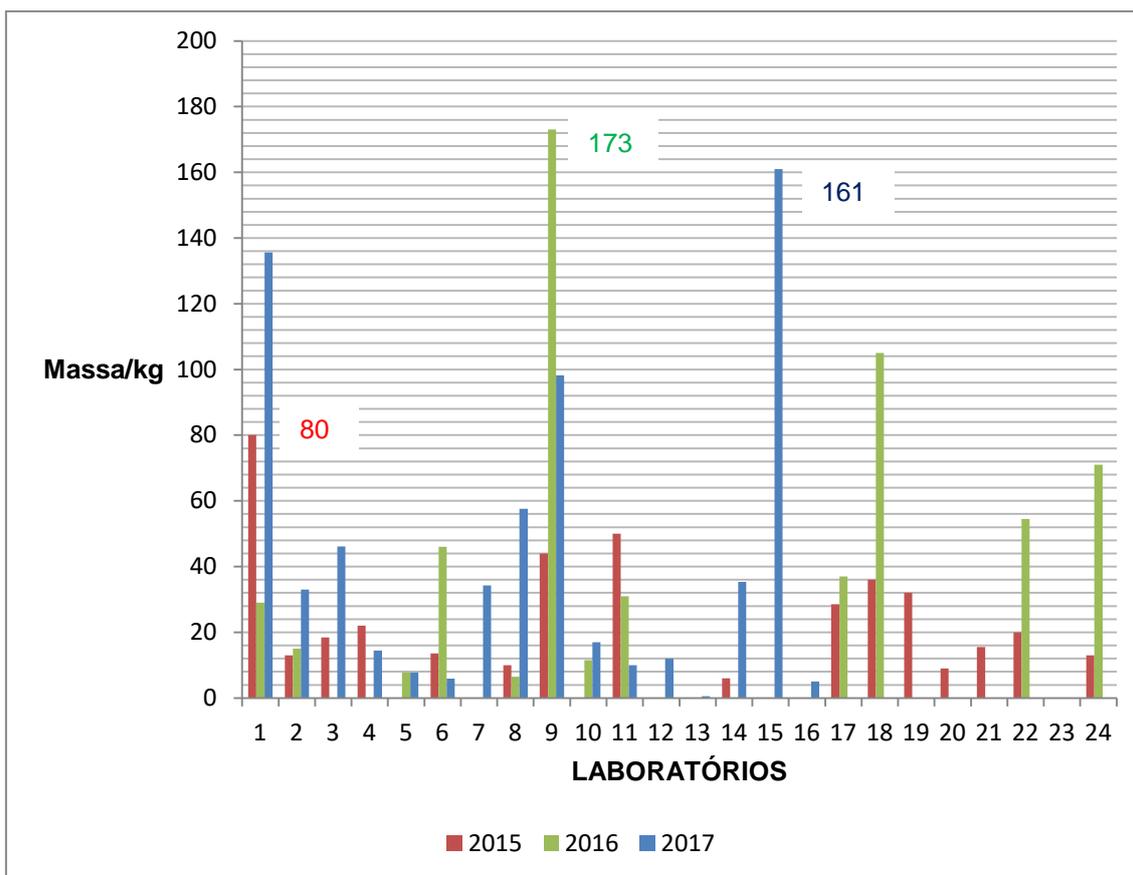


Figura 7 – Quantidade de Resíduos Químicos gerados no Ecoville nos últimos dez anos.
Fonte: Dados do Almojarifado do DAQBI.

Na Figura 8, baseada a partir das fichas de cadastro de resíduos, que indica a geração de resíduos por laboratório durante o período de 2015 a 2017, também percebe-se a variação na quantificação. Por exemplo, em 2015 o laboratório que gerou mais resíduo foi o de Química Analítica, o qual é didático e não apresentou a constância esperada no período. Já em 2016 o laboratório que mais gerou foi o de Ecotoxicologia, que é de pesquisa, assim como em 2017 foi o Laboratório de Pesquisa de Reologia e Fluidos Geleficados, sendo este último pertencente ao DAMEC e nota-se que este local acumulou resíduos no período analisado.

Porém, por vezes, não se sabe exatamente se as procedências desses resíduos são de aulas práticas ou de pesquisas, pois faltam informações nas fichas de cadastro do almojarifado, bem como qual o tempo de armazenamento. Há laboratórios de pesquisas, nos quais por vezes ocorrem aulas práticas, que nem sempre são registradas ou informadas ao almojarifado. Ainda nas fichas nota-se que a identificação é pelo nome do professor ou por algum estudante e, em alguns casos não está identificado o laboratório gerador, nem o experimento ou reação de origem do resíduo e seus constituintes.



LABORATÓRIOS

- | | |
|---|---|
| 1 – Química Analítica | 14 - Tratamento de Águas Residuárias |
| 2 – Equipamentos Cromatográficos/Espectroscópicos (LAMAQ/NIPTA) | 15 - Reologia e Fluidos Geleificados |
| 3 – Sala de Preparação/separação | 16 – Estudos em Matrizes Ambientais, Sedimento, Solo e Água (LEMASSA) |
| 4 – Química Inorgânica | 17 –Químio/Biotecnologia de Biomassas (LQBB) |
| 5 – Análise de Solos | 18 - Contaminantes Ambientais |
| 6 – Bioquímica/Biologia | 19 - Limnologia |
| 7 – Química Orgânica/Catálise | 20 –Análise Conformacional (LACCOOR) |
| 8 – Biotecnologia/Microbiologia | 21 – Contaminantes Atmosféricos |
| 9 – Ecotoxicologia | 22 – Departamento da Construção Civil (DACOC) |
| 10 – Polímeros Eletrônicos (LAPOE) | 23 – Biomassa e Bioenergia (LAPREBB) |
| 11 –Tratamento e Potabilização de Água (LTPA) | 24 – Laboratório desconhecido |
| 12 – Operações Unitárias | |
| 13 –Ensino e Pesquisa em Resíduos (LEPER) | |

Figura 8 – Quantidade de Resíduos gerados e acumulados por Laboratório na sede Ecoville, entre os anos de 2015 a 2017.

Fonte: Dados do Almojarifado do DAQBI.

Analisando as fichas cadastrais pelo acompanhamento da coleta interna de 31 de agosto de 2017 e os dados fornecidos pelo almojarifado do DAQBI, foram inventariados os resíduos gerados em aulas práticas referente ao período de 09 de

novembro de 2016 até 31 de agosto de 2017. Pode se ter uma noção quais foram os laboratórios que geraram mais resíduos durante o ano de 2017, conforme é mostrado na Figura 9 e na Tabela 3. Porém os dados não são precisos já que muitos dos resíduos eram passivos e estavam armazenados em bancadas de laboratório em torno de dois anos ou mais, e em alguns faltavam informações sobre a data de início do armazenamento, bem como qual era a aula prática de origem.

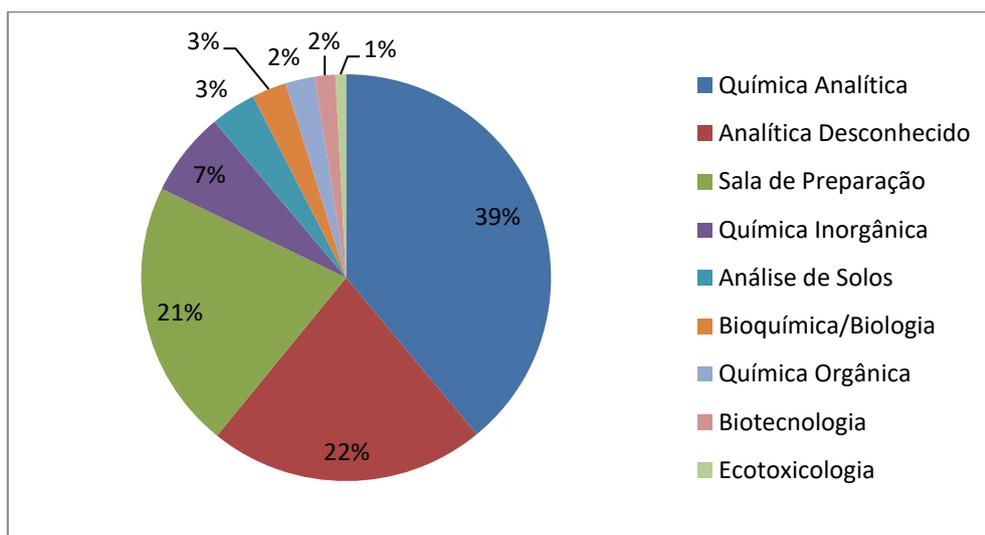


Figura 9 – Quantidade de Resíduos Químicos, em porcentagem de massa, de aulas práticas gerados pelos Laboratórios DAQBI entre novembro de 2016 a agosto de 2017. O item “Analítica Desconhecido” são resíduos do laboratório de Química Analítica, porém de origem desconhecida.

Fonte: O autor.

Tabela 3 – Quantidade de Resíduos geradas por laboratório, no quesito aula prática, entre o período de dezembro de 2016 até agosto de 2017

Laboratório	Massa (kg)
Química Analítica	84,25
Analítica Desconhecido	47,20
Sala de Preparação	46,15
Química Inorgânica	14,50
Análise de Solos	7,76
Bioquímica/Biologia	5,90
Química Orgânica	5,00
Biotecnologia	3,50
Ecotoxicologia	1,80
TOTAL	216,06

Fonte: O autor.

Conforme mostra a Tabela 3 e a Figura 9 o Laboratório de Química Analítica foi o laboratório que mais gerou resíduos de aula prática durante o período analisado. Portanto este laboratório pode ter apresentado uma constância na geração de resíduos. Porém são necessários mais estudos para confirmar quais são todos os laboratórios do departamento que podem ser considerados fontes fixas, bem como quais são as reais quantidades de resíduos geradas, em massa (kg).

Ainda, como observado na Tabela 3, percebe-se que a quantidade de resíduos de aulas práticas somou um total de 216,06 kg, um equivalente a 32% se comparado com a quantidade total de resíduos gerados em 2017 (Figura 7), o que supõe que a maioria dos resíduos foram provenientes de pesquisa uma vez que naquele ano a quantidade total de resíduos foi de aproximadamente 670 kg.

No dia 31 do mês de agosto de 2017, quando da realização da coleta dos resíduos químicos do DAQBI, DACOC e DAMEC pelo almoxarifado do DAQBI, acompanhou-se para verificar a situação atual no que se refere a esse processo (Figura 10).



Figura 10 – Coleta de resíduos pelo almoxarifado do DAQBI em agosto de 2017.

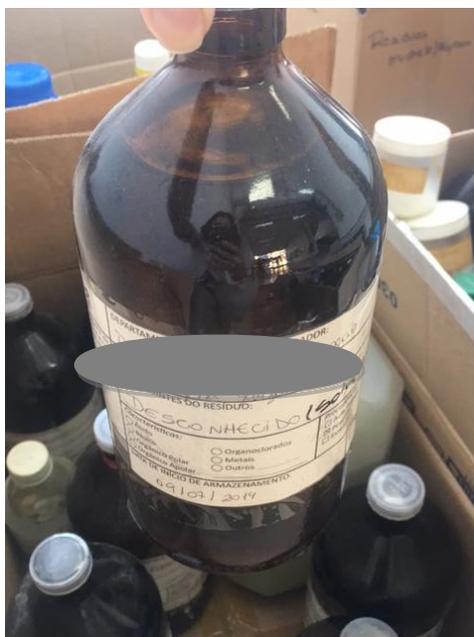
Fonte: O autor.

Notou-se, durante a fase interna da coleta, que alguns frascos apresentavam um modelo de rótulo diferenciado daqueles disponíveis pelo almoxarifado (Anexo B) e grande parte deles não estavam preenchidos adequadamente, apresentando-se incompletos e até a origem do resíduo era desconhecida, como mostram as Figuras 11 e 12. No caso da Figura 12, no rótulo pode-se ler, no item Procedência,

preenchido apenas por “Aula Prática” quando, na realidade, procedência ou origem significa o processo gerador do resíduo, no caso a reação ou reações químicas. No modelo de ficha de cadastro dos resíduos, enviadas aos laboratórios na época da coleta, havia a explicação sobre isso (Anexo B).

Ao saber a origem e a composição do resíduo, de acordo com a NBR 10004 de 2004, é possível também conhecer o efeito desse resíduo à saúde e ao meio ambiente. Desconhecendo essas informações, impossibilita um tratamento adequado, bem como sua recuperação, sendo a única alternativa o envio para disposição final.

Outro problema encontrado foi o tempo de armazenamento de alguns resíduos, que datavam até mais de quatro anos. De acordo com alguns estudantes, esses resíduos geralmente são de alunos da pesquisa (mestrado ou iniciação científica) que já concluíram suas atividades, mas esqueceram de dar uma destinação adequada aos seus resíduos, como mostra a Figura 13. Ressalta-se ainda mais uma vez, o agravante da falta de informações sobre composição e origem do resíduo.



**Figura 11 – Exemplo de resíduo com origem desconhecida.
Fonte: O autor.**



Figura 12 – Exemplo de resíduo com apenas um elemento químico identificado, no caso o íon metálico Manganês.
Fonte: O Autor.

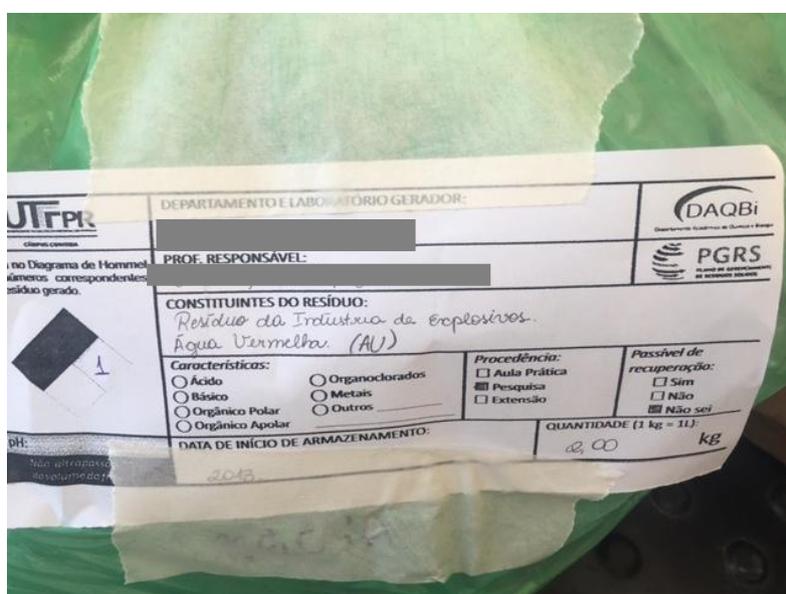


Figura 13 – Exemplo de resíduo estocado a mais de quatro anos. No rótulo o tempo de armazenamento é desde 2013.
Fonte: O autor.

Os mesmos problemas foram observados por Barbosa (2015), falta de recipientes padrões para recolhimento e armazenamento de resíduos e o sistema de

rotulagem existente não era utilizado com frequência, ou não era preenchido corretamente.

A coleta externa dos resíduos foi através de uma empresa contratada pela universidade, a HMS Gestão de Resíduos, como é mostrado nas Figuras 14 e 15. De acordo com o próprio site da empresa, a HMS Gestão de Resíduos é uma empresa de gerenciamento de resíduos sólidos e presta serviços de transporte, coleta tratamento e disposição final de resíduos sólidos para empresas publicas e privadas, indústrias e “shopping centers” e comércios em geral, condomínios e demais segmentos.

De acordo com a classificação do resíduo, a HMS Gestão de Resíduos determina qual o procedimento a ser utilizado: triagem, compostagem, co-processamento, incineração ou aterro.

A empresa afirma, desde o início do processo, que mantém os padrões estabelecidos pelas diversas organizações de controle, dentre elas a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).



Figura 14 – Veículo coletor da empresa HMS Gestão de Resíduos, empresa contratada pela universidade para transportar os resíduos químicos no dia 31 de agosto de 2017.

Fonte: O autor.



**Figura 15 – Carregamento dos resíduos pelo funcionário da HMS Gestão de Resíduos no dia 31 de agosto de 2017.
Fonte: O autor.**

Diante da situação diagnosticada, em conjunto com a Comissão de Resíduos do DAQBI, foram propostos alguns procedimentos para serem executados antes, durante e após a coleta de resíduos químicos:

1. Eliminar o preenchimento da ficha de cadastro de resíduos. Com o intuito de simplificar, o usuário fará um único preenchimento: o rótulo.
2. Os rótulos, bem como as instruções de preenchimento e formatação, serão disponibilizados pela Comissão de Resíduos de forma eletrônica, para que possam ser preenchidos e impressos pelos usuários. Isto é, os rótulos não serão mais fornecidos pelo almoxarifado do DAQBI.
3. Solicitar que os alunos, técnicos e professores responsáveis pelos laboratórios o preenchimento e envio eletrônico dos rótulos, com antecedência de 30 dias antes da coleta, para a Comissão de Resíduos do DAQBI. Desta forma, os próprios rótulos funcionarão como cadastro dos

resíduos e haverá tempo para que juntamente com os geradores, possa se verificar possibilidades de tratamento ou reuso.

4. Solicitar que todas as atividades didáticas ou científicas prevejam a geração de resíduos e possibilidades de minimização, tratamento ou reuso.
5. Orientar os usuários a preencher os rótulos de resíduos antes da realização das aulas práticas, bem como observar os cuidados na hora de manipular estes insumos. Para armazenamento e coleta de um grande volume de resíduos, o ideal é que a UTFPR disponibilize embalagens de polietileno de alta densidade.
6. Recomendar à administração da universidade auditorias na empresa responsável pela coleta e disposição final do resíduo, bem como solicitar o Certificado de Destinação Final de Resíduos, para se ter conhecimento qual é o caminho que os resíduos químicos estão percorrendo e se a disposição final está de acordo com a legislação e normas.
7. Ofertar palestras periódicas de sensibilização/treinamento no departamento.

Com relação sobre quem é responsável por cada etapa é recomendável que a Comissão de Resíduos, junto com a Chefia do DAQBI, definam quem são os “atores” e quais as responsabilidades de cada um.

5.2 REVISÃO DO MANUAL DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIO

Ao analisar o Manual de Gerenciamento de Resíduos de Laboratório do Departamento Acadêmico de Química e Biologia, foi possível detectar a ausência de algumas informações importantes, assim como a necessidade de algumas modificações com o intuito de minimizar as falhas observadas e se ajustar melhor os objetivos do gerenciamento de resíduos dentro dos princípios da Química Verde e da Hierarquia de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

5.2.1 A Introdução do Manual

Procurou-se na introdução do Manual explicitar a responsabilidade do gerador, sendo que cabe a este buscar soluções para seus resíduos.

Também foram inseridos os princípios da Química Verde e a Hierarquia de Gerenciamento de Resíduos citando alguns exemplos de minimização, alerta para a importância de sempre buscar novas alternativas de aula práticas e/ou rotas de tratamento, assim como aspectos de segurança nos laboratórios e a necessidade da colaboração de todas as partes envolvidas para o bom funcionamento do programa. Estas informações são mostradas no Apêndice A, no texto em itálico.

5.2.2 Incompatibilidade de Resíduos

Um fator importante para a segurança no laboratório é conhecer a incompatibilidade entre produtos químicos, sempre que for acondicionar ou armazenar resíduos. A falta de atenção a esse aspecto pode causar reações indesejáveis como geração excessiva de calor, explosões e liberação de produtos tóxicos (DEL PINO; KRÜGER, 1997).

O Manual retrata tipos de resíduos que podem, devem ou não ser descartados na pia, tipos de recipientes e quais os procedimentos que devem ser adotados para o armazenamento dos resíduos nos laboratórios, até o dia da coleta externa. Porém não são explicados, em detalhes, quais resíduos não devem ser misturados. Apenas está indicado não misturar ácidos e bases ou ácidos com substâncias orgânicas.

Uma sugestão, com base no Manual de Biossegurança de Hirata e Mancini Filho (2002), foi adicionar um anexo que identifique quais resíduos são incompatíveis entre si. Um exemplo de tabela de incompatibilidade é mostrado no anexo C. Também foi inserido no Manual a sugestão de consultar em caso de dúvidas, sites como *Material Safety Data Sheets (MSDS)* ou o *The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)* para mais informações, caso o resíduo em questão não se enquadre nos exemplos do Manual, como é ilustrado no Apêndice B.

O Manual do departamento ainda explica quais são as classes de resíduos que devem ser armazenados separadamente, como metais, soluções não halogenadas, cianetos, etc.

Porém, de acordo com Penatti, Guimarães e Silva (2008), em uma universidade os resíduos químicos apresentam uma composição variada e inconstante. Por isso é necessário saber que o programa de gerenciamento, juntamente com o Manual, são orientações gerais, sendo assim cada gerador é responsável pelos resíduos gerados, devendo este buscar soluções de formas adequadas de manuseio e destinação final.

Reforçou-se quais são as embalagens preferivelmente recomendadas para o armazenamento, que são as plásticas de polietileno de alta densidade (PEAD), exceto quando houver incompatibilidade com o resíduo. Em caso de ausência de PEADs foi orientado que podem ser utilizadas garrafas de polietileno (PE) de produtos gasosos, por serem mais resistentes, ou frascos vazios de reagentes/solventes (ácidos ou bases) desde que estes fossem devidamente lavados (tríplice enxague) com água ou solvente apropriado (Apêndice C).

5.2.3 Precipitação de Metais

O Manual indica procedimentos que podem ser utilizados para o tratamento de íons metálicos, por precipitação.

Adicionou-se informações sobre faixas de pH para precipitação de cátions com maior facilidade, assim economiza tempo e quantidade de reagentes utilizados no tratamento. Foi inserida uma tabela de precipitação de cátions metálicos por faixa de pH, como mostra o anexo D.

Vale lembrar que as características e composição de um resíduo pode interferir na precipitação de um determinado cátion metálico de interesse alterando a faixa de pH em que um cátion metálico poderá ser precipitado, sendo por vezes a tabela uma ponto de partida.

5.2.4 Apresentação do Manual

O Manual requeria uma forma mais simples e mais direta. Foram inseridas poucas imagens, que poderiam ilustrar algumas ideias melhor do que os textos, principalmente ao descrever procedimentos complexos, no qual o usuário precisa de informações visuais para se certificar de que está realizando os passos corretamente.

Também foram adicionadas informações de como preencher corretamente o diagrama de Hommel, quais recipientes adequados para armazenamento e que situações se deveriam evitar, usando fotos e figuras como exemplo (Apêndice D).

Para mais imagens ilustrativas fica a sugestão de fazer uma parceria com o pessoal do Curso de Design.

5.2.5 Resíduos Biológicos

Com relação aos resíduos biológicos, em visita aos laboratórios e em conversa com os professores, constatou-se que estes são tratados e ou destinados pelos próprios geradores. Os resíduos químicos desses laboratórios são coletados como todos os demais: coleta interna pelo almoxarifado e a externa pela HMS Gestão de Resíduos.

O Laboratório de Ecotoxicologia trabalha com peixes, e para seu descarte final, os estagiários e professores os congelam e encaminham para Universidade Federal do Paraná (UFPR).

No Laboratório de Microbiologia o descarte dos resíduos biológicos é realizado de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), na Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 306 de 2004 e a resolução RDC nº 33 de 2003. Estas resoluções estão relacionadas ao manejo de resíduos de serviços da saúde.

A ANVISA também disponibiliza o Manual de Segurança e Controle de Qualidade no Laboratório de Microbiologia Clínica, o qual é usado como base para o tratamento de resíduos biológicos nos Laboratórios de Microbiologia. Os materiais contaminados são autoclavados antes do descarte. O tempo pode variar de acordo com a quantidade da amostra. No Laboratório de Microbiologia o tempo de

autoclave, geralmente, é em torno de trinta minutos. Após a descontaminação desse material o resíduo é descartado como resíduo orgânico comum.

Neste caso então, a sugestão para o Manual de Resíduos do DAQBI foi a inclusão de um item, conforme é mostrado no Apêndice E, que conste que os resíduos biológicos sigam as resoluções e recomendações da ANVISA.

5.2.6 Cuidados e Medidas

Cada resíduo tem características diferentes, ou seja, isto requer manuseio e equipamentos de proteção diferentes. No Manual de Gerenciamento de Resíduos do DAQBI foi preciso uma atenção sobre esse tema, orientando o usuário quanto à utilização de EPI's ou Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC), e de consultar as Fichas de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), das substâncias químicas que compõem a solução residual, de forma a evitar acidentes (Apêndice F).

De acordo com a NBR 14725-4 de 2014, a FISPQ fornece conhecimentos básicos e informações sobre vários aspectos da substância ou mistura quanto à proteção, à segurança, à saúde e ao meio ambiente. É um meio de transferir informações essenciais sobre os perigos de uma substância ou uma mistura ao usuário desta, possibilitando a ele tomar as medidas necessárias cabíveis, seja no manuseio ou transporte.

5.3 TRATAMENTOS PARA RESÍDUOS CONTENDO ÍONS DE PRATA E CROMO

Foram realizadas tentativas de replicação para recuperação dos íons prata e cromo descritos no item 4.4. Os resíduos supostamente eram provenientes do método de Mohr, que foram gerados no segundo semestre de 2016 no Laboratório de Química Analítica do DAQBI.

Porém a identificação não estava adequada, pois os frascos estavam rotulados como “resíduo de Ag”, “resíduo de cromato” ou “resíduo de Mohr” e estes ainda apresentavam colorações diferentes, o que indicava que poderia ter material

proveniente de outras aulas práticas misturadas nos recipientes, conforme mostrado nas Figuras 3, 4 e 6.

Para os resíduos rotulados “Resíduo de Ag” separaram-se os precipitados do sobrenadante, para tentar aplicar o pré-teste descrito por Rosenbrock (2009). Porém os precipitados tinham colorações que variava do marrom-avermelhado a marrom escuro, e o pH das soluções residuais apresentavam valores muito distintos, que variavam do 1 até o 8. Seria necessário um teste quantitativo, com base Espectrometria de Fluorescência de Raios X Dispersiva em Energia para verificar a composição da matriz do resíduo. Considerou-se muito gasto de energia e tempo, para caracterizar um tipo de resíduo que talvez não se repetisse mais da mesma forma.

Nos resíduos de cromo tratados durante o estágio supervisionado, como explicado no item 4.4.2, utilizou-se 0,1 g de bissulfito de sódio, em alíquotas de 40 mL dos quatro tipos de resíduo, para sua redução. Porém observou-se que a coloração ao invés de ficar verde escuro, dependendo do resíduo, ficava verde-amarelada ou marrom escuro, como mostra a Figura 16, para o resíduo de dicromato que apresentava a cor laranja intensa. Quando se adicionava NaOH a 25% (m/v) e realizava a filtração o líquido permanecia amarelo, indicando presença de cromo hexavalente.

Foi realizado o tratamento do filtrado amarelo do resíduo de dicromato, aumentando a quantidade de bissulfito de sódio para verificar se ocorria alguma alteração. Observou-se, após a adição de cerca de 1 g do agente redutor, o surgimento da coloração verde-azulado e ao final do experimento o sobrenadante ficou transparente (Figura 17).

Novos tratamentos foram realizados para confirmar a quantidade total de bissulfito de sódio necessária, sendo que este variou entre os valores de 0,2 g até 1 g, dependendo do resíduo tratado conforme mostra a Tabela 4, valores bem diferentes do que foi descrito na prática de referência (Anexo A).

Com exceção do resíduo marrom-claro, os demais resíduos passaram por duas ou três filtrações para obter-se uma solução transparente como resultado final. Este foi armazenado para posteriores análises. Os papéis filtros foram pesados e calculou-se a massa de cromo recuperada para uma alíquota de 40 mL (Tabela 4).

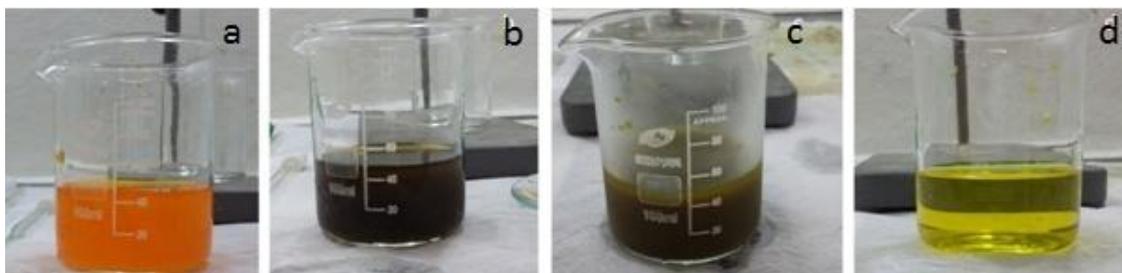


Figura 16 – Tratamento do resíduo de dicromato. Observa-se a mudança de coloração do cromo conforme o reagente era adicionado: (a) alíquota de dicromato antes do tratamento (b) coloração marrom escuro quando adicionado bissulfito de sódio; (c) separação de fases ao se adicionar NaOH; (d) líquido filtrado amarelo indicando presença de cromo hexavalente.
Fonte: O autor.

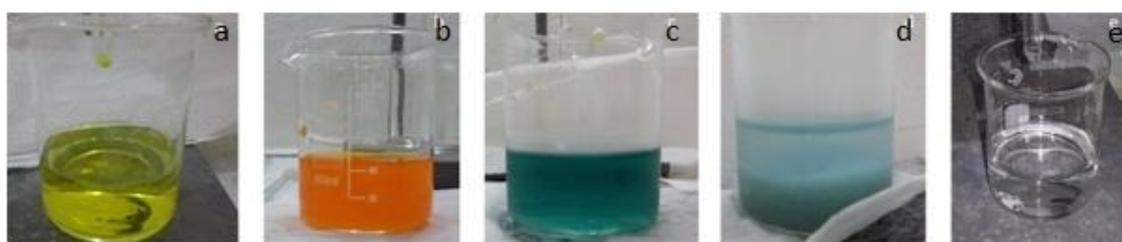


Figura 17 – Tratamento do filtrado de dicromato. Observa-se a mudança de coloração do cromo conforme o reagente adicionado: (a) alíquota filtrada contendo cromo VI; (b) adição de ácido sulfúrico; (c) coloração verde azulada quando adicionado nova quantidade de bissulfito de sódio; (d) separação de fases ao se adicionar NaOH; (e) resultado final, líquido transparente.
Fonte: O autor.

Tabela 4 – Quantidade de Bissulfito de Sódio gasto e de Cromo recuperado para 40 mL de Resíduo

Resíduo de Cromo (rótulo)	Resíduo de Cromo (cor)	Quantidade Total de Bissulfito de Sódio usada (g)	Massa de Precipitado (g)	Número de filtrações realizadas
Cromato e dicromato	Laranja escuro	1,4478	2,8951	3
Dicromato	Laranja claro	0,9956	1,7080	3
Cromato	Amarelo	0,4836	1,8381	2
Cromo (eletroanalítica)	Marrom claro	0,2294	0,4199	1

Fonte: O autor.

Para cada 40 mL de resíduo foram recuperados aproximadamente quase dois gramas de hidróxido de cromo, à exceção do laranja escuro, que apresentou uma quantidade de precipitado igual a três gramas, a partir de um mesmo volume de solução.

Nesse estudo o tempo foi cronometrado para verificar se é possível fazer esse tipo de tratamento em uma aula prática. Para cada tratamento o tempo total foi de aproximadamente uma hora e quinze minutos, confirmando que é possível realizar esse tratamento dentro do tempo de aula.

Analizou-se as concentrações de cromo nas soluções pré-tratamento e nos sobrenadantes pós-tratamento, por meio de um espectrofotômetro de absorção atômica (AAS) com atomizador de chama modelo GBC AVANTA. No instrumento a chama utilizada era rica em ar-acetileno, apresentando comprimento de onda de 357,9 nm para o elemento cromo, com faixa de trabalho entre as concentrações de 0,1 a 15,0 mg L⁻¹. Para a espectroscopia AAS foram preparadas concentrações de cromo padrão (Tabela 5) para construir um gráfico de calibração que apresentasse um comportamento linear. Para esse preparo foram utilizadas soluções padrão de 1000 mg L⁻¹ da marca SpecSol, com precisão de +/- 3 mg L⁻¹.

Tabela 5 – Concentração das amostras de cromo-padrão

Amostras padrão de Cromo	Concentração (mg L⁻¹)
Padrão 1	1,0000
Padrão 2	2,0000
Padrão 3	3,0000
Padrão 4	4,0000
Padrão 5	5,0000
Padrão 6	6,0000

Fonte: O autor.

Com os valores da concentração da solução padrão, obteve-se um comportamento linear com coeficiente de determinação (r^2) de 0,957 (Figura 18). Porém esse comportamento apresentou uma discrepância e o próprio instrumento de leitura AAS refez as medidas, obtendo assim um novo com comportamento linear, apresentando um r^2 de 0,977, o qual foi considerado satisfatório para se realizar as medições (Figura 19).

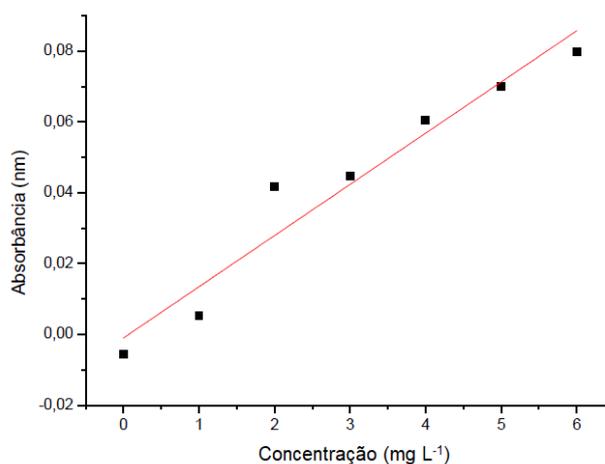


Figura 18 – Primeiro gráfico de calibração para a leitura do Cromo em AAS.

Fonte: O autor.

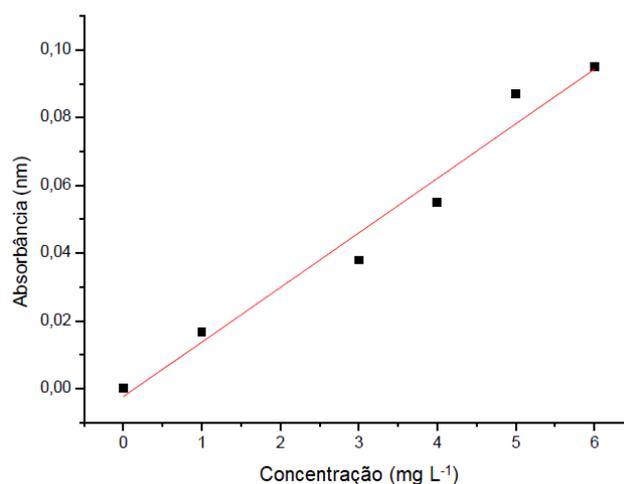


Figura 19 – Segundo gráfico de calibração para a leitura do Cromo em AAS, o qual foi considerado ideal.

Fonte: O autor.

Como a espectroscopia de absorção atômica trabalha com pequenas concentrações, foram separadas pequenas alíquotas dos resíduos de cromo antes do tratamento, e estas foram diluídas com água destilada.

Os resultados finais são apresentados na Tabela 6.

De acordo com os resultados, das quatro amostras filtradas, três delas foram bem sucedidas, pois não foram detectadas níveis de cromo. Apenas uma delas, a de coloração amarela, apresentou a concentração de 1,325 mg L⁻¹. Mas deve ser levado em conta que esses resultados são de cromo total na amostra, uma vez que

espectrofotômetro AAS não faz distinção entre cromo hexavalente e trivalente. Mais estudos deveriam ser realizados para se ter a confirmação de quais elementos compõem as soluções residuais e se estas podem ser lançadas como efluente de acordo com a Resolução CONAMA nº 430 de 2011. Durante o estágio se percebeu a importância de se fazer outros testes para confirmar quais são os componentes de uma solução de origem desconhecida e se o tratamento realizado apresentou eficiência.

Tabela 6 - Resultados da espectroscopia AAS para o Cromo.

Resíduo de Cromo (cor)	Concentração antes do Tratamento (mg L ⁻¹)	Concentração depois do Tratamento (mg L ⁻¹)
Laranja escuro	2,620*	Não detectado
Laranja claro	1,369*	Não detectado
Amarelo	2,104**	1,325
Marrom claro	5,894***	Não detectado

*A amostra foi diluída 140 vezes a partir da amostra original.

**A amostra foi diluída 110 vezes a partir da amostra original.

***A amostra foi diluída 55 vezes a partir da amostra original.

Fonte: O autor.

No resíduo de coloração amarela (Figura 6), que possivelmente indicava a presença de cromo hexavalente, aplicou-se o tratamento em uma alíquota de 40 mL seguindo os procedimentos descritos no item 4.4.2. A quantidade de bissulfito de sódio gasta para redução foi de 0,2140 g e o tempo total do tratamento durou uma hora e dez minutos, confirmando que pode ser aplicado dentro de um período de aula. Como resultado, o líquido amarelo ficou transparente, como é ilustrado na Figura 20, indicando que o cromo foi removido da solução.

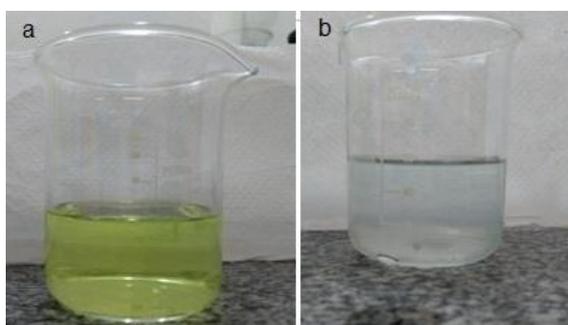


Figura 20 – Tratamento do íon cromo para o suposto Resíduo do Método de Mohr: (a) Alíquota antes do tratamento. (b) Alíquota após o tratamento.

Fonte: O autor.

Os testes não foram continuados justamente pela falta de informações sobre a origem e composições dos resíduos. Quando se tem pouca informação sobre a matriz para determinações quantitativas de reagentes para determinados tratamentos, requerem métodos de tentativas e erros.

A partir dessas observações é confirmado que o sistema de identificação adequado de resíduos é fundamental. O rótulo traz informações essenciais sobre os perigos e a origem do constituinte perigoso a ser tratado, ou os tipos de mistura, possibilitando decisões necessárias que envolvem o manuseio, transporte e o tratamento. Sem essas informações é impossível de se aplicar um tratamento adequado sem gastar uma enorme quantia de reagentes, desperdiçar energia em equipamentos, além de estender o tempo de tratamento.

Além disso, ao aplicar um tratamento sem se ter o conhecimento da composição do resíduo pode acabar gerando mais resíduos indesejáveis e, até mesmo, provocar acidentes. Para esses resíduos sem identificação, a solução acaba sendo disposição em aterro. Essas situações vão contra os princípios da Química Verde e a Hierarquia de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Para evitar esse tipo de problema o ideal é que os resíduos sejam rotulados logo após sua geração e não somente no dia da coleta interna.

5.4 VIABILIDADE DE TRATAMENTOS SE TORNAREM AULAS PRÁTICAS PARA DISCIPLINA DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Como já dito anteriormente, não se replicou os métodos em sua totalidade devido à falta de informações sobre a composição e origem dos resíduos. Mas fez-se comparação entre as metodologias para analisar qual seria melhor adaptável em uma aula prática, verificando os prós e os contras.

5.4.1 Íon Prata

Analisando o método descrito por Rosenbrock (2009), para a recuperação da prata, este apresenta-se muito interessante, pois a prata recuperada na forma de nitrato poderia ser reinserida no próprio Laboratório de Química Analítica nas aulas

de titulação argentimétricas. Porém, o método é demorado e uma das etapas requer um tempo de 24 horas em estufa, dificultando a execução numa aula prática.

Outro problema visto no experimento de Rosenbrock (2009) é a liberação de gás de NO_2 . Esse óxido, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), pode levar ao aumento de casos com problemas respiratórios e problemas pulmonares e agravamento à resposta das pessoas sensíveis a alérgenos. A reação deve ser realizada sempre em capela, o que para aula prática se torna um fator limitante devido ao número de alunos. E se liberado diretamente no ambiente de laboratório pode inferir riscos que entra em conflito com o princípio 3 da Química Verde.

Mesmo para a realização desse experimento em capela seria melhor que o laboratório tivesse um sistema de tratamento de gases.

Analisando o estudo desenvolvido por Tocchetto, Viaro e Panatieri (2002) esta é uma boa alternativa de tratamento do íon prata a partir da eletrodeposição. Além de estar dentro de um tempo aceitável para uma aula prática, o que ocorre em cerca de trinta minutos usando o cobre como cátodo e grafite como ânodo, propiciam mais uma etapa de aprendizagem envolvendo a técnica da eletrodeposição aliada a Química Verde, com menos gastos de reagentes. É uma técnica interessante de ser implementada, podendo ser usada nas aulas práticas das disciplinas de Eletroanalítica, Química Geral ou Físico Química, além da disciplina de Resíduos Sólidos Industriais. Porém nesse estudo faltam informações sobre as concentrações e quantidades de reagentes utilizadas, bem como qual foi o tamanho dos eletrodos. É recomendável procurar mais estudos sobre a técnica de eletrodeposição, bem como testar esse tratamento antes de implementá-lo.

5.4.2 Íon Cromo

Como já descrito na revisão bibliográfica, enquanto o cromo VI é solúvel em água, altamente tóxico e carcinogênico, o cromo trivalente, além de ser menos tóxico, age como um nutriente traço e possui baixa solubilidade. Então a melhor alternativa para o tratamento do cromo é usar um agente redutor para sua conversão em cromo III com sua posterior precipitação.

Em seu trabalho, Possignolo, Bendassolli e Tavares (2011) seguem exatamente como está descrito na literatura, o que significa que esse é o caminho

mais viável para o tratamento desse íon. Esse experimento já foi realizado com êxito no DAQBI, como já descrito no item 5.3, mas o tratamento envolvia resíduos de origem desconhecida.

Com relação aos quatro tipos de resíduos tratados no estágio (Figura 4) e o resíduo tratado durante o TCC (Figura 6) o tratamento se mostrou viável, de fácil execução e dentro de um tempo ideal para uma aula prática. Entretanto foi constatado a necessidade de fazer outros testes para confirmar quais são os componentes da solução residual original e para comprovar se o tratamento realizado apresentou eficiência, pois outros metais poderiam estar presentes na solução.

O cromo trivalente pode ser agregado aos vidros para sua imobilização. Além de adquirir um produto que não causa danos ambientais, as vidrarias de laboratório já inutilizadas podem ser reutilizadas, mas para tal seria necessário equipamentos adequados para o processo de reciclagem de vidraria. De acordo com Prado (2016), os fornos elétricos de laboratórios, normalmente utilizados para a fundição de vidros, mesmo que atinjam temperaturas de até 1500 °C, não conseguem reproduzir as mesmas condições de um forno industrial, já que as pequenas quantidades de massa envolvidas nesse procedimento podem estar contaminadas por óxidos indesejáveis. Em seu estudo, Prado (2016) sugere alguns critérios para se montar um forno de fusão simples em laboratório, operado com gás e oxigênio que pode atingir rapidamente temperaturas superiores a 1600°C, minimizando assim as possibilidades de contaminação do vidro e para obtenção de aproximadamente um quilograma de vidro por fusão. Porém são necessários mais estudos para verificar a viabilidade dessa técnica em relação ao custo/benefício.

5.5 ORIENTAÇÕES PARA GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM LABORATÓRIOS

5.5.1 Palestras

Trabalhando em conjunto com a Comissão de Resíduos do DAQBI, foram realizadas palestras com o objetivo de mostrar a situação atual do gerenciamento de

resíduos químicos e quais procedimentos devem ser seguidos para uma melhoria contínua do gerenciamento de resíduos de laboratório, conforme mostra as Figuras 21 e 22.

Ao todo foram realizadas três palestras: uma com o público-alvo sendo os docentes do departamento, e as outras duas destinadas a estagiários e estudantes da graduação e pós-graduação do DAQBI, entre fevereiro a abril de 2018.

O enfoque das palestras era justamente mostrar os princípios da Química Verde, a relação poluidor-pagador, a Hierarquia de Gerenciamento de Resíduos Sólidos citando exemplos de cada etapa, a importância de uma rotulagem adequada, quais os frascos adequados para armazenamento e qual era a importância de todos colaborarem com o gerenciamento.

Também teve o objetivo de passar orientações de como seria a próxima coleta interna de resíduos pelo almoxarifado, prevista para maio de 2018. Os rótulos dos resíduos (Anexo E) deveriam ser enviados em planilha eletrônica, no prazo definido pelo almoxarifado do DAQBI, para análise da Comissão de Resíduos. Não encontrando inconformidades e não sendo passíveis de tratamento, os laboratórios poderiam enviar os resíduos para destinação no dia agendado para a coleta. Só seriam aceitos os resíduos devidamente rotulados, em frascos adequados e que não ultrapassem 70% do volume deste.



Figura 21 – Palestra sobre o Gerenciamento de Resíduos de Laboratórios para alunos.
Fonte: O autor.



Figura 22 – Apresentação da palestra sobre Gerenciamento de Resíduos de Laboratório.
Fonte: O autor.

Percebeu-se que uma das falhas no gerenciamento era por falta de informações adequadas, tanto por parte dos discentes e docentes. Ao final das apresentações recebeu-se um “*feedback*” positivo, pela quantidade de sugestões e perguntas feitas pelos ouvintes para uma melhoria contínua do gerenciamento.

5.5.2 Resultados após as Palestras

Trinta dias antes da coleta interna e externa, foi feita a checagem dos rótulos enviados eletronicamente para o almoxarifado do DAQBI pelos responsáveis dos diversos laboratórios, para verificar se estavam em conformidade com as orientações passadas nas palestras. A grande maioria se encontrou dentro dos padrões estabelecidos. Os que estavam fora deste padrão foram reenviados para os laboratórios de origem, com orientações de quais correções deveriam ser feitas, os quais foram apenas dois de um total de cento e sessenta rótulos. Porém não foram todos os laboratórios que enviaram os rótulos na data estipulada, sendo que alguns enviaram dias depois ou até mesmo no dia da coleta interna.

Após a análise das fichas foi realizado um acompanhamento da coleta interna de resíduos, que ocorreu no dia 7 de maio de 2018, como é mostrado na Figura 23, para verificar a situação dos rótulos e para comparar com a coleta que ocorreu em agosto de 2017.



Figura 23 – Coleta de resíduos pelo almoxarifado do DAQBI em maio de 2018.
Fonte: O autor.

De uma maneira geral, o treinamento teve sucesso, pois se encontrou uma grande quantidade de resíduos em frascos e recipientes adequados, a exemplo da Figura 24. As falhas encontradas nos rótulos da coleta de 2017, conforme foi descrito no item 5.1, diminuiu consideravelmente se comparada com a coleta de 2018. Porém algumas inconformidades foram ainda encontradas, tais como o rótulo ser muito grande para o frasco ou até mesmo ausência de dados, conforme Figuras 25 e 26, respectivamente.

		DEPARTAMENTO E LABORATÓRIO GERADOR: LABORATÓRIO DE QUÍMICA	
Reação/Experimento de origem (Ex: Digestão de DQO)			
Preparação de corante celular (reagente de Staph)			
Principais Constituintes do Resíduo			
pH: N.A.		Fucsina básica (sólido)	
Data de início de armazenamento: 17/07/2017		Quantidade (1kg = 1L): 0,10 kg	
Características:		Procedência:	
<input type="checkbox"/> Ácido <input type="checkbox"/> Básico <input type="checkbox"/> Orgânico Polar <input type="checkbox"/> Orgânico Apolar	<input type="checkbox"/> Organoclorado <input type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> Biológico <input type="checkbox"/> Inerte	<input type="checkbox"/> Aula Prática <input checked="" type="checkbox"/> Pesquisa <input type="checkbox"/> Estendido	Passível de recuperação:
		<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não sei	
NÃO ultrapassar 70% do volume do frasco.			

Figura 24 – Exemplo de rotulagem adequada.
Fonte: O autor.



Figura 25 – Exemplo de inadequação no rótulo. O diagrama de Hommel está ocultado parcialmente.
 Fonte: O autor.



Figura 26 – Exemplo de rótulo com ausência de dados: tempo de armazenamento, pH e diagrama de Hommel. O modelo do rótulo neste frasco foi utilizado na coleta de agosto de 2017.
 Fonte: O autor.

A partir dessas observações, percebeu-se que as palestras surtiram efeitos positivos, porém ainda persistiram algumas inconformidades. Recomenda-se, nas novas palestras, mostrar esses tipos de ocorrências para evitá-las futuramente, e que essas palestras devam ser semestrais ou ao menos anuais.

A coleta externa foi realizada pela mesma empresa, HMS Resíduos. O veículo de transporte foi o mesmo utilizado na coleta anterior, como foi mostrado no item 5.1. Com relação a esse assunto permanece a proposta de recomendar à administração da UTFPR auditorias na empresa responsável pela coleta e disposição final do resíduo, bem como solicitar o Certificado de Destinação Final de Resíduos. O objetivo das auditorias é para se ter o conhecimento se tal empresa está cumprindo seu papel, de acordo com as normas da ABNT, e legislação como a Resolução nº 5232 de 2016 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), a qual aprova as instruções complementares ao regulamento do transporte terrestre de produtos perigosos. Isso é necessário para se ter a certeza qual o caminho que os resíduos químicos gerados na universidade estão percorrendo ou se sua disposição é ambientalmente correta.

6 CONCLUSÃO

Nos dias atuais, a universidade não pode simplesmente ignorar o fato que também é uma instituição geradora de resíduos e que deve ser responsável pelos mesmos.

Durante o período de acompanhamento do processo de coleta de resíduos, pôde-se observar que embora o DAQBI já tenha um Manual de Gerenciamento de Resíduos de Laboratórios, ainda ocorrem algumas inconformidades, como na segregação dos resíduos, rotulagem e tipos de embalagens. Isso acaba por afetar a Hierarquia de Gerenciamento de Resíduos, prevista na lei 12.305 de 2010, pois dificulta a possibilidade de tratamento e reutilização, prevalecendo o descarte e disposição final.

A partir do inventário, constatou-se que o local que mais gerou resíduos nesse período foi o de Laboratório de Química Analítica, sendo este considerado uma fonte fixa de geração de resíduos de aula prática. Porém, os dados não são precisos. O período de observação das atividades no que se refere aos resíduos também possibilitou verificara necessidade de inserções de alguns aspectos no Manual para orientar e facilitar o gerenciamento.

Ao analisar o Manual de Gerenciamento de Resíduos de Laboratório do DAQBI, foi possível detectar a ausência de informações importantes, assim como a necessidade de algumas modificações com o intuito de minimizar as falhas observadas e se ajustar melhor aos objetivos do gerenciamento de resíduos dentro dos princípios da Química Verde e a Hierarquia de Gerenciamento de Resíduos. Porém, o Manual, mesmo depois de revisado, serve apenas como um guia. Cada laboratório deve se responsabilizar em procurar um tratamento adequado e viável para o resíduo em questão. Isso contribui de forma positiva para o programa de gerenciamento, de forma a diminuir a quantidade de resíduos passivos e a frequência com que eles são dispostos.

A análise de tratamentos para os resíduos das aulas práticas de Mohr indica que é possível a recuperação de íons metálicos e sua reutilização na própria universidade, porém o tratamento, com as devidas adequações, só será possível e proveitoso se o sistema de segregação e rotulagem for eficiente, evitando assim o desperdício de recursos e a geração de resíduos indesejáveis. O tratamento e/ou

reutilização desses íons é outra forma de contribuir com o gerenciamento e vai de encontro com os princípios da hierarquia de gerenciamento.

As palestras para professores e alunos, com orientações priorizando os pontos falhos observados, reforçando a responsabilidade de cada gerador e a importância da cooperação de todos para a implementação e manutenção de gerenciamento, teve um retorno foi positivo, pois a grande maioria dos resíduos foram identificados e segregados adequadamente, como observado na coleta interna de maio de 2018. Entretanto ainda foram encontradas algumas inconformidades.

Recomenda-se palestras periódicas destacando tipos de ocorrências inadequadas visando evitá-las futuramente para aprimoramento contínuo do processo. O fator humano é importantíssimo, pois somente persistindo e com mudanças de atitudes é possível avançar no gerenciamento de resíduos

A realização desta pesquisa é apenas mais uma etapa para o estabelecimento de um programa de gerenciamento de resíduos no DAQBI, ficando evidente que há necessidade de um contínuo monitoramento do mesmo. Porém somente com a persistência é que será possível ter êxito nesta área.

7 PERSPECTIVAS FUTURAS

Espera-se que as análises obtidas durante o acompanhamento das coletas, as alterações feitas no Manual, bem como os métodos de tratamento propostos e as orientações e recomendações descritas possam colaborar para um melhor gerenciamento dos resíduos químicos do DAQBI.

Fica a sugestão, para trabalhos futuros:

- Procurar alternativas para substituição de reagentes perigosos por outros que estão dentro dos padrões da Química Verde, a exemplo do Método de Mohr.
- Tentar utilizar os reagentes em escala reduzida, utilizando técnicas semi-micro escala, ou até mesmo micro escala, em todos os laboratórios, com objetivo de reduzir o volume de resíduos gerados.
- Testar os tratamentos citados neste trabalho, quando o processo de segregação e identificação dos resíduos estiverem acontecendo de forma adequada, para verificar a real eficiência e viabilidade de implementar os tratamentos.
- Tentar possíveis parcerias com outros cursos da Universidade, tais como Design, para criação de ilustrações para facilitar o entendimento do Manual de Gerenciamento de Resíduos de Laboratório do DAQBI ou até mesmo trabalhar em conjunto como o pessoal da Tecnologia da Informação para o desenvolvimento de programas que possa ajudar no gerenciamento de resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14725-4 – Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ). Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

AFONSO, Júlio C. et al. **Gerenciamento de Resíduos Laboratoriais: Recuperação de Elementos e Preparo para Descarte Final**. Revista Química Nova, São Paulo, p.602-611, v. 26, 2003.

AMARAL, Suzana T. et al. **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**. Revista Química Nova, São Paulo, p.419-423, v. 24, n. 3, 2001.

AYRES, Fernando M.; AMARAL, Carmem L. C. **A Questão da Sustentabilidade Ambiental no Ensino de Química**. Revista de Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Cruzeiro do Sul. Curitiba, p.01-12, v. 7, n 5, 2016.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARBOSA, Ricardo. **Avaliação da Geração de Resíduos em Disciplinas de Química Orgânica e Inorgânica e Propostas de Redução**. 2015. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

BARBOSA, Valma M.; CASAGRANDE JUNIOR, Eloy F.; LOHMANN, Gabriele. **O Programa de Gerenciamento de Resíduos da UTFPR – Campus Curitiba e a Contribuição de Trabalhos Acadêmicos no DAQBi**. Revista Educação e Tecnologia. Sustentabilidade na Academia: Contribuições do Grupo de Pesquisa “Tecnologia e Meio Ambiente” da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, p.66-76, 2009.

BAZITO, Reginaldo C.; FREIRE, Renato S. Química Verde. In: SPIRO, Thomas G.; STIGLIANI, William M. **Química Ambiental**. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2009. p. 320 – 327.

BENDASSOLI, José A. et al. **Procedimentos Para Recuperação de Ag de Resíduos Líquidos e Sólidos**. Revista Química Nova, São Paulo, p.612-617, v. 26, n. 4, 2003.

BORGES, M. S.; NASCIMENTO, R. F. S.; AIDA, A. K.; KRAFT, P. B. **Tratamento de Resíduos Galvânicos de Laboratório da Universidade Federal do Paraná**. In:° Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 3, 2005. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0532_05.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2017.

BOURNE, Richard A.; POLIAKOFF, Martyn. **Green Chemistry: What is the Way Forward?** Mendeleev Commun, The School of Chemistry, The University of Nottingham. Nottingham, p.235-238, 2011.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 3 mar. 2017.

BRASIL. Resolução RDC nº 33 de 25 de fevereiro de 2003. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. **ANVISA**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 5 fev. 2003. Disponível em: <http://www.cff.org.br/userfiles/file/resolucao_sanitaria/33.pdf>. Acesso em: 5 out. 2017.

BRASIL. Resolução RDC nº 306 de 7 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. **ANVISA**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 6 dez. 2004. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/res0306_07_12_2004.pdf/95eac678-d441-4033-a5ab-f0276d56aaa6>. Acesso em: 5 out. 2017.

BRASIL. Resolução nº 313 de 22 de novembro de 2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. **CONAMA**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 29 out. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335>>. Acesso em: 9 mai 2018.

BRASIL. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. **CONAMA**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 16 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 3 mar 2018.

DEL PINO José C, KRÜGER Verno. **Segurança no Laboratório**. Instituto de Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997. Disponível em: <<http://www.iq.ufrgs.br/aeq/html/publicacoes/matdid/livros/pdf/Seguranca%20laboratorio.pdf>>. Acesso: 30 out 2017.

DI VITTA, Patrícia B. et al. **Gerenciamento de Resíduos no Instituto de Química da Universidade de São Paulo**. Encontro Latino Americano de Universidades Sustentáveis, 1, 2008, Passo Fundo. Disponível em: <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ELAUS_2008/trabalhos/540.pdf> Acesso em: 26 set. 2017.

FELISBERTO, Regina et al. **De resíduo a insumo: a construção do caminho para uma química mais limpa através de um projeto de ensino**. Revista: Química Nova, São Paulo, p.174-177, v 31, n. 1, 2008.

FONSECA, Janaína C. L. **Manual para Gerenciamento de Resíduos Perigosos**. Universidade Estadual Paulista (Unesp). 2009. Disponível em: <http://www.sorocaba.unesp.br/Home/CIPA/Manual_de_Residuos_Perigosos.pdf>. Acesso: 26 set 2017.

GENG, Yong, et al. **Creating a “green university” in China: a case of Shenyang University**. Journal of Cleaner Production – Elsevier, p.13-19 , v. 61, 2013.

GHELFI, Ariane. **Proposta para o gerenciamento de resíduos do laboratório de fertilizantes e calcários do TECPAR**. 2009. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso Superior de Tecnologia em Química Ambiental, Curitiba, 2009.

GODOY, A. S. **Pesquisa qualitativa**. Revista de administração de empresas, São Paulo, p. 21-29, v. 35, n. 2, 1995.

GOMES, Maria das G. et al. **Tratamento, Recuperação e Reaproveitamento de Resíduos Químicos Gerados em Laboratórios de Ensino da UFC**. Revista: Universo & Extensão, Belém, p. 61-72, v. 1, n. 1, 2013. Disponível em: <http://www.revistaeletronica.ufpa.br/index.php/universo_extensao/article/viewArticle/348>. Acesso em: 18 mai. 2017.

HIRATA, Mário H.; MANCINI FILHO, Jorge. **Manual de biossegurança**. São Paulo: Manole, 2002.

JARDIM, Wilson F. **Gerenciamento de Resíduos Químicos em Laboratórios de Ensino e Pesquisa**. Revista Química Nova, São Paulo, p.671-673, v 21, n. 5, 1998.

LEE, John D. **Química inorgânica não tão concisa**. São Paulo, SP: Blucher, 1999.

LENARDÃO, Eder J. et al. **"Green chemistry": os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa**. Revista Química Nova, São Paulo, p.123-129, v. 26, n. 1, 2003.

MACHADO, Adélio A. S. C. **Química e Desenvolvimento Sustentável - QV, QUIVES, QUISUS**. Boletim Sociedade Portuguesa de Química, Lisboa, p.59-67, v. 2, n.95, 2004. Disponível em: <http://www.academia.edu/7423606/QU%C3%80DMICA_E_DESENVOLVIMENTO_SUSTENT%C3%81VEL_-_QV_QUIVES_QUISUS>. Acesso em: 2 mai. 2018.

MANAHAN, Stanley E. **Química Ambiental**. 9. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013.

MARINHO, Claudio C; BOZELLI, Reinaldo L.; ESTEVES, Francisco de A. 2011. **Gerenciamento de Resíduos Químicos em um Laboratório de Ensino e Pesquisa: A Experiência do Laboratório de Limnologia da UFRJ**. Revista Eclética Química, São Paulo, p.85-104, v. 36, n. 2, 2011.

MICARONI, Regina C. C. M. **Gestão de resíduos em laboratórios do Instituto de Química da Unicamp**. 2002. 120p. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Poluentes Atmosféricos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

MISTURA, Clóvia M.; VANIEL, Ana P. H.; LINCK, Mara R. **Gerenciamento de Resíduos dos Laboratórios de Ensino de Química da Universidade de Passo Fundo – RS**. Revista: CIATEC – UPF, Passo Fundo, p.54-60,. v. 2, n. 1, 2010. Disponível em: <<http://seer.upf.br/index.php/ciatec/article/view/1420>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

PENATTI, Fabio E.; GUIMARÃES, Solange T. L.; SILVA, Paulo M. **Gerenciamento de Resíduos Químicos em Laboratórios de Análises e Pesquisa: O Desenvolvimento do Sistema em Laboratórios da Área Química**. In: WORKSHOP INTERNACIONAL E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE–WIPIS, 2, SÃO CARLOS, 2008. Disponível em: <hygeia.fsp.usp.br/siades/documentos/Publicacoes/artigo_9f.pdf> Acesso em: 1 nov. 2017

POSSIGNOLO, Nadia V.; BENDASSOLLI, José A.; TAVARES, Glauco A. Tratamento de Soluções Residuais contendo Cromo. In: REUNIÃO ANUAL DO ENSAIO DE PROFICIÊNCIA IAC PARA LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO PARA FINS AGRÍCOLAS, 27, 2011, Campinas. **Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA)**. Disponível em: <http://lab.iac.sp.gov.br/files/apostila_curso_tratamentocr1.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2018.

PRADO, Ulisses S. do, **Construção de Forno à Gás de Laboratório para Fusão de Vidro**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 60, 2016, Águas de Lindoia. **Associação Brasileira de Cerâmica**. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/60cbc/anais/PDF/08-003TT.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

ROSENBROCK, Ligia, C. C. **Recuperação de Prata e Cromo dos Resíduos Gerados nos Experimentos de Titulações Argentimétricas**. 2009. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curso Superior de Química, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/99921?show=full>>. Acesso em: 5 abr. 2017.

RUSSEL, John B. **Química Geral – Vol 2**. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson Education, 1994.

SASSIOTO, Maria L. P. **Manejo de Resíduos de Laboratórios Químicos em Universidades - Estudo de Caso do Departamento de Química da UFSCar**. 2005. 151 p. (Dissertação) Mestrado em Engenharia Urbana. UFSCar. São Carlos, 2005.

SANTOS, Carlos E. M. dos; COLASSO, Camilla; MONERÓ, Tatiana O. **Aspectos Toxicológicos da Exposição à Prata**. RevInter: Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade, São Paulo, p.05-23, v. 7, n. 1, 2014. Disponível em: <<http://revistarevinter.com.br/index.php/toxicologia/article/view/163/379>>. Acesso em: 10jul. 2017.

SARAMENTO, Emanuela. et al. **Precipitação química e encapsulamento no tratamento e destinação de resíduos líquidos contendo cromo**. In: Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 3, 2011, Bento Gonçalves. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/I-032.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

SCHLLEMER, Magalí A. et al. **Gestão de Resíduos Químicos em Instituições de Ensino Superior: Melhores Práticas e Perspectivas**. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 6, 2015, Porto Alegre. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/congresso/anais/verArtigo?id=141&ano=_terceiro>. Acesso em: 28 mai. 2018.

SKOOG, Douglas A. et al. **Fundamentos de química analítica**. São Paulo, SP: Thomson Learning, 2006.

TEODORO, Reges E. F. et al. **Manual para Gerenciamento de Resíduos Químicos**. Universidade Federal de Uberlândia. 2014. Disponível em: <<http://www.sustentavel.ufu.br/LRQ>>. Acesso: 12 mar. 2018.

TOCCHETTO, Marta R. L; VIARO, Nádia S. S.; PANATIERI, Rogério B. **Tratamento de Resíduos: Recuperação de Prata**. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 28, 2002, Cancun, México.

VOGEL, Arthur I. **Química analítica qualitativa**. São Paulo, SP: Mestre Jou, 1981.

ZANDONAI, Dorai P. et al. **Química Verde e Formação de Profissionais do Campo da Química: Relato de uma Experiência Didática para Além do Laboratório de Ensino**. Revista Virtual de Química, São Paulo, p.73-84, v. 6, n. 1, 2014. Disponível em: <<http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v6n1a07.pdf>>. Acesso em: 1set. 2017.

ZUIN, Vânia, G. **A Inserção da Química Verde nos Programas de Pós-Graduação em Química do Brasil: Tendências e Perspectivas**. Revista Brasileira de Pós Graduação, Brasília, p.557-573, v. 10, n. 21, 2013.

APÊNDICE A – A INTRODUÇÃO DO MANUAL

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a química passa por uma transição para a sustentabilidade ambiental. Mas há várias definições de química sustentável. Um exemplo é da International Union for Pure and Applied Chemistry (IUPAC) que, no início dos anos 90, a define como "invenção, projeto e aplicação de produtos químicos e processos para reduzir ou eliminar o uso e geração de substâncias perigosas". Para a IUPAC a Química Verde é denominada Química Sustentável (AYRES; AMARAL, 2016).

Embora os termos "Química Verde" e "Química Sustentável" sejam muitas vezes utilizados como sinônimos há uma diferença sutil em seus entendimentos. Química Sustentável está relacionada à produção industrial, ou seja, processos químicos com alta utilização de insumos, eficiência, margem de lucro e com menos impactos e poluentes. Já a Química Verde sugere reações químicas ecológicas, "ecoeficientes", menos impactantes devido a ações mitigadoras, sem necessariamente um caráter de produção industrial. (MACHADO, 2004).

O desenvolvimento de ensaios de pesquisas ou didáticos para estarem alinhados com essa nova concepção precisam buscar aplicar os 12 princípios da Química Verde que são:

1	Prevenção. Evitar a produção do resíduo é melhor do que tratá-lo ou "limpá-lo" após sua geração.
2	Economia de Átomos. Deve-se procurar desenhar metodologias sintéticas que possam maximizar a incorporação de todos os materiais de partida no produto final
3	Síntese de Produtos Menos Perigosos. Sempre que praticável, a síntese de um produto químico deve utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.
4	Desenho de Produtos Seguros. Os produtos químicos devem ser desenhados de tal modo que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos
5	Solventes e Auxiliares mais Seguros. O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes, etc.) precisa, sempre que possível, tornar-se desnecessário e, quando utilizadas, estas substâncias devem ser inócuas.
6	Busca pela Eficiência de Energia. A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.
7	Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima. Sempre que técnica e economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não renováveis.
8	Evitar a Formação de Derivados. A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.

9	Catálise. Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.
10	Desenho para a Degradação. Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente.
11	Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição. Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.
12	Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes. As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

No plano de gerenciamento de resíduos (BRASIL, 2010) está explicitado que antes de dispor resíduos, deve-se pensar primeiro em prevenir/eliminar e reduzir, ou seja, fazer modificações e aprimoramentos em determinado processo, para depois pensar em alternativas de reutilização e reciclagem de insumos. Com relação a estes últimos, em uma universidade, por exemplo, os resíduos químicos podem ser tratados e reutilizados nos próprios laboratórios, contribuindo assim para a redução de danos ao meio ambiente, economia de matérias-primas e mudança no comportamento das pessoas.

2. O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS NO DAQBI

O DAQBI, ciente da necessidade da implantação de medidas para melhor administrar os resíduos gerados, propõe um gerenciamento dos resíduos de seus laboratórios que deverá ser seguido por todos que realizam trabalho nessas dependências, sejam elas de caráter didático ou em projetos de pesquisa a serem desenvolvidos (no todo ou em parte) nos laboratórios do DAQBI/UTFPR-PR.

A problemática dos resíduos químicos em uma universidade é que estes apresentam composições diversas e em pequenas quantidades. Por isso, para cooperar com o gerenciamento dos resíduos foi elaborado este manual, com o intuito de fornecer orientações gerais, mas ainda suficientes devido à grande diversidade de resíduos gerados num departamento desta natureza.

Sendo assim, são premissas desse Manual:

Não gerar resíduos, ou então minimizar sua geração, utilizando reagentes em micro escala ou semi micro escala

Substituição de substâncias perigosas por outras ou mudança de roteiros de aulas práticas, devem ser adotados sempre que possível. Caso não seja possível a substituição deve-se buscar a redução na quantidade de utilização de substâncias e/ou materiais perigosos.

Cada gerador é responsável pelos resíduos gerados, **devendo este** buscar soluções de formas adequadas de minimização e destinação final, pois as composições dos resíduos químicos mudam frequentemente de acordo com as características e peculiaridades de novas pesquisas ou aulas práticas

As aulas práticas devem ser programadas **com antecedência** e o professor responsável deverá fazer constar no roteiro a previsão dos resíduos gerados.

No caso de projetos de pesquisa deverão constar **descrição detalhada** do tratamento/destinação que será dado aos resíduos químicos gerados, que deverá seguir, no que couber, as orientações deste manual

As Fichas de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) das substâncias químicas que compõem a solução residual, **devem ser sempre consultadas**

Cada resíduo tem características diferentes, ou seja, isto **requer** manuseio e equipamentos de proteção diferentes que devem ser observados

De acordo com a NBR 14725-4 de 2014, a FISPQ serve para fornecer conhecimentos básicos e informações sobre vários aspectos da substância ou mistura quanto à proteção, à segurança, à saúde e ao meio ambiente. É um meio de transferir informações essenciais sobre os perigos de uma substância ou uma mistura ao usuário desta, possibilitando a ele tomar as medidas necessárias cabíveis, seja no manuseio ou transporte.

Este manual foi elaborado com base em artigos científicos, legislações, normas da ABNT bem como procedimentos já aprovados e implantados por outras universidades, com algumas inserções e adaptações às nossas necessidades, mas é necessário que todos colaborem para sua implementação e contínuo melhoramento.

APÊNDICE B – SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS

4 SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS

A seguir estão descritas as categorias mais comuns em que os resíduos devem ser separados.

OBS:

- 1) *Consulte o Anexo 1 e 2 deste documento para verificar a incompatibilidade entre resíduos. Caso o resíduo não se encontre nos anexos consulte o site Material Safety Data Sheets (MSDS) <<https://www.msds-online.com/msds-search/>> ou o The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) <<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-149/default.html>> para mais informações.*
- 2) *Substâncias que não se enquadram nestas categorias devem ser avaliadas quanto à compatibilidade química e adicionadas a uma dessas categorias, ou armazenadas em separado, conforme o caso.*

Informações sobre toxicidade, reatividade e compatibilidade de inúmeras substâncias químicas podem ser encontradas em Material Safety Data Sheets (MSDS), disponíveis em vários sites da internet (alguns estão listados no links acima e também na Seção de Bibliografia deste documento).

Todos os frascos contendo resíduos devem ser identificados adequadamente quanto aos componentes do resíduo, experimento de origem, possível concentração, data do início de armazenamento, laboratório gerador e/ou responsável pelo resíduo. Para mais informações de como preencher corretamente o rótulo consulte o item 5 desde manual – Rotulagem de Resíduos.

APÊNDICE C – EMBALAGENS APROPRIADAS

4.1. EMBALAGENS APROPRIADAS

Cada tipo de resíduo deve ser acondicionado em embalagem adequada às suas características. As embalagens plásticas PEAD (polietileno alta densidade) são preferíveis, exceto quando houver incompatibilidade com o resíduo.



Embalagens de polietileno de alta densidade (PEAD) (a) 5 L, (b) 10 L, (c) 20L.

Na falta de embalagens de PEAD, podem ser utilizadas garrafas de polietileno (PE) de produtos gasosos, por apresentarem resistência. Frascos vazios de reagentes/solventes (ácidos ou bases) também poderão ser utilizados após tríplice enxágue com água ou solvente apropriado.

OBS: Atenção às incompatibilidades com o resíduo que se pretende armazenar no frasco



Embalagens plásticas PE (Ex: garrafas PET de bebidas gasosas). Não utilizar embalagens de água sem gás.

APÊNDICE D – ROTULAGEM DE RESÍDUOS

5. ROTULAGEM DE RESÍDUOS

De acordo com Afonso et al. (2003), no gerenciamento de resíduos de laboratório existem dois tipos de resíduos:

- *Resíduo Ativo: gerado continuamente nas atividades rotineiras na unidade geradora;*
- *Resíduo Passivo: compreende todo aquele resíduo estocado, comumente não-caracterizado (frasco sem rótulo).*

O grande problema está nos Resíduos Passivos, pois sua caracterização nem sempre é possível, embora algumas vezes seja possível chegar a seu conteúdo através de testes de identificação. Este passivo também tende a diminuir ou mesmo a acabar com a implementação do processo de rotulagem e identificação adequadas (AFONSO et al., 2003).

É de suma importância saber qual a origem do resíduo. De acordo com Afonso et al. (2003), ao se ter conhecimento do experimentos de origem pode-se listar, a nível qualitativo, a presença de cátions, ânions e outros compostos presentes no resíduo, sendo essas informações vitais em matéria de tratamento. Não há uma rota única para a recuperação de cada elemento ou de preparo para disposição final, mas adaptações podem ser feitas a partir das propostas feitas.

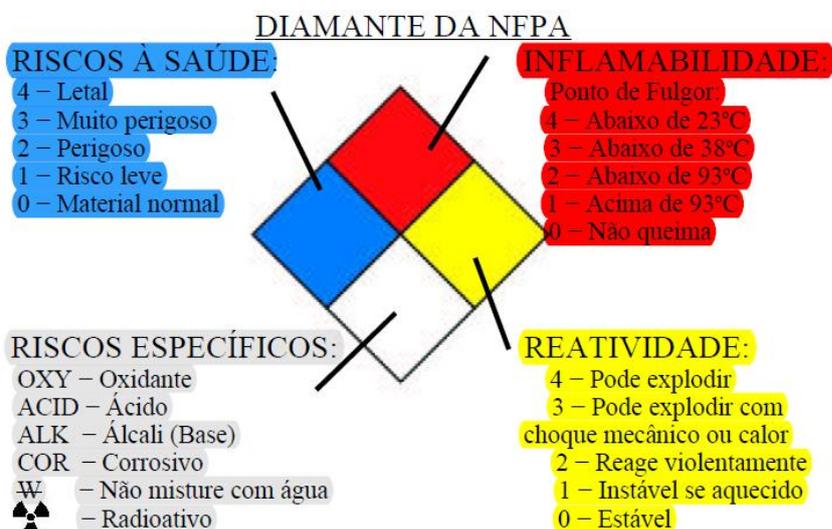
Por esse motivo todos os frascos contendo resíduos devem ser identificados adequadamente quanto aos componentes do resíduo, experimento de origem, possível concentração, data do início de armazenamento, laboratório gerador e/ou responsável pelo resíduo.

Obs: *Os rótulos devem ser entregues a Comissão de Resíduos devidamente preenchidos, via email, com antecedência de pelo menos 30 dias antes da data prevista coleta de resíduos para a análise. Após a autorização, estas etiquetas podem ser impressas, e podem ser anexados nos seus respectivos frascos de resíduos. Em caso de dúvida procure os membros da Comissão de Resíduos. Consulte o item 9 deste manual para mais informações.*

O MODELO PARA A ROTULAGEM DOS RESÍDUOS É MOSTRADO A SEGUIR:

	DEPARTAMENTO E LABORATÓRIO GERADOR / PROF RESPONSÁVEL		
	Reação/Experimento de origem (Ex: Digestão de DQO)		
	Principais Constituintes do Resíduo		
	pH:		
Data de início de armazenamento:		Quantidade (1kg ± 1L):	
Características: <input type="checkbox"/> Ácido <input type="checkbox"/> Organoclorado <input type="checkbox"/> Básico <input type="checkbox"/> Metais <input type="checkbox"/> Orgânico Polar <input type="checkbox"/> Biológico <input type="checkbox"/> Orgânico Apolar <input type="checkbox"/> Outros		Procedência: <input type="checkbox"/> Aula Prática <input type="checkbox"/> Pesquisa <input type="checkbox"/> Extensão	Passível de recuperação: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não sei
NÃO ultrapassar 70% do volume do frasco.			

INSTRUÇÕES DE PREENCHIMENTO:



GUIA PARA OS CÓDIGOS DA NFPA (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS DOS ESTADOS UNIDOS)					
SAÚDE		INFLAMABILIDADE		REATIVIDADE	
Proteção recomendada		Susceptibilidade para inflamar		Susceptibilidade para a liberação de energia	
4	Obrigatoriamente deve usar roupa de proteção completa e proteção respiratória.	4	Muito inflamável.	4	Pode explodir em condições normais.
3	Deveria usar roupa de proteção completa e proteção respiratória.	3	Inflama sob condições normais de temperatura.	3	Pode explodir com choque mecânico ou aquecimento.
2	Deveria ser usado proteção respiratória com proteção facial completa.	2	Inflama com aquecimento moderado.	2	Sofre violenta alteração química, porém não explode.
1	Poderia usar proteção respiratória.	1	Inflama quando pré-aquecido.	1	Instável se aquecido; tenha cuidado.
0	Não são necessários cuidados especiais	0	Não inflama.	0	Normalmente estável.

MODELOS DE PREENCHIMENTO CORRETO E INCORRETO DO RÓTULO SÃO MOSTRADOS A SEGUIR:

X RÓTULO COM PREENCHIMENTO INCORRETO



✓ RÓTULO COM PREENCHIMENTO CORRETO (PARA UM GALÃO DE 5 LITROS)

	DEPARTAMENTO E LABORATÓRIO GERADOR / PROF RESPONSÁVEL		
	Laboratório de Química XXXX / Prof YYYY		
	Reação/Experimento de origem (Ex: Digestão de DQO) Volumetria de Precipitação. Determinação de Cloretos pelo Método de Mohr. Reações: $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{AgCl}$; $\text{Ag}^+ + \text{K}_2\text{CrO}_4 \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4 + \text{KNO}_3$		
	Principais Constituintes do Resíduo NaCl, AgNO ₃ , NaNO ₃ , AgCl, Ag ⁺ , K ₂ CrO ₄ , Ag ₂ CrO ₄ , KNO ₃ . Pode ter HNO ₃ , K ₂ CrO ₄ , CaCO ₃ em excesso		
pH: 7,0	Data de início de armazenamento: 25/10/2017	Quantidade (1kg ≈ 1L):	3,5
Características: <input type="checkbox"/> Ácido <input type="checkbox"/> Básico <input type="checkbox"/> Orgânico Polar <input type="checkbox"/> Orgânico Apolar <input type="checkbox"/> Organoclorado <input checked="" type="checkbox"/> Metais <input type="checkbox"/> Biológico <input type="checkbox"/> Outros		Procedência: <input checked="" type="checkbox"/> Aula Prática <input type="checkbox"/> Pesquisa <input type="checkbox"/> Extensão	Passível de recuperação: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não sei
NÃO ultrapassar 70% do volume do frasco.			

APÊNDICE E – RESÍDUOS BIOLÓGICOS

7. RESÍDUOS BIOLÓGICOS

Com relação aos resíduos biológicos, estes devem ser tratados e ou destinados de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), na [resolução RDC nº 306 de 2004](#). Esta resolução está relacionada ao manejo de resíduos de serviços da saúde.

A ANVISA também disponibiliza um manual de [Segurança e Controle de Qualidade no Laboratório de Microbiologia Clínica](#) para o tratamento de resíduos biológicos nos laboratórios de microbiologia. Os materiais contaminados devem ser autoclavados antes do descarte. O tempo pode variar de acordo com a quantidade da amostra. Após a descontaminação desse material o resíduo pode ser descartado como resíduo orgânico comum.

Em caso de dúvidas consultar a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) para destinação final.

APÊNDICE F – CUIDADOS E MEDIDAS

8. **SEGURANÇA NOS LABORATÓRIOS**

Reforça-se que todos os procedimentos devem ser efetuados em capela com boa exaustão, fazendo-se uso de equipamentos de proteção individual como guarda pó, luvas e óculos de segurança. É aconselhável a supervisão de um docente. Sempre consulte as FISPQ's dos materiais manipulados para verificar se é necessário utilizar EPI's adicionais para a manipulação, bem como para verificar os cuidados no transporte e armazenamento.

ANEXO A – TRATAMENTO DE RESÍDUO CONTENDO CROMO

 <small>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</small>	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Curitiba – Departamento de Química e Biologia Disciplina: RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS
--	--

Profa. Valma	Tratamento de Resíduo Contendo Cr⁶⁺
--------------	---

1 OBJETIVO

Promover o tratamento de um resíduo que contém como agente perigoso o cromo hexavalente.

2 MATERIAIS E REAGENTES

Materiais	Reagentes
1 suporte universal	Bissulfito de Sódio p. a. (NaHSO ₃)
1 argola para funil	Soda Cáustica a 50% (m/v)
1 funil de vidro	Ácido Sulfúrico 3 mol L ⁻¹
Filtro de papel faixa preta	Ácido Sulfúrico Concentrado (H ₂ SO ₄ (conc.))
1 pipeta volumétrica de 20 ml	
1 pipeta graduada de 10 mL	
1 pipeta de 2 ml	
2 béqueres de 100 ml	
1 bastão de vidro	
2 vidros de relógio	
Banho de gelo (1 por bancada)	
1 pêra	
Fita Indicadora de pH	
1 espátula	

3 PROCEDIMENTO

- 1) Retirar uma alíquota de 40 mL do resíduo a ser tratado e coloca-lo em um béquer de 100 mL;
- 2) Ajustar o pH entre 1 e 2 com ácido sulfúrico 3 mol L⁻¹, se necessário;
- 3) Em capela e em banho de gelo, adicionar, sob agitação aproximadamente 0,1 g de bissulfito de sódio ao resíduo, observando a mudança de coloração que deve ser verde escuro.
- 4) Ajustar o pH com soda caustica a 50% (m/v) (aproximadamente 12,0 mL) para que este situe-se entre 9 e 10, ainda em banho de gelo e sob agitação, observando a formação de precipitado. Após acertar o pH aguardar em torno de 10 minutos para garantir maior precipitação do cromo trivalente;
- 5) Filtrar a solução. Se a solução filtrada apresentar coloração verde, o processo de precipitação deve ser repetido até a eliminação da cor e que não haja mais formação de precipitado;
- 6) Neutralizar o filtrado com ácido sulfúrico concentrado, ainda em banho de gelo e sob agitação, e descarta-lo na pia com água corrente;

- 7) Secar o filtro de papel contendo o precipitado em estufa a 30°C;
- 8) Depois de seco, reservá-lo em um recipiente plástico para aguardar destinação;

4 REFERÊNCIA

POSSIGNOLO, Nadia V.; BENDASSOLLI, José A.; TAVARES, Glauco A. Tratamento de Soluções Residuais contendo Cromo. In: REUNIÃO ANUAL DO ENSAIO DE PROFICIÊNCIA IAC PARA LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO PARA FINS AGRÍCOLAS, 27, 2011, Campinas. **Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA)**. Disponível em: <http://lab.iac.sp.gov.br/files/apostila_curso_tratamentocr1.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2018.

VOGEL, A. I. **Química Analítica Qualitativa**. 5ª ed. São Paulo: Mestre Jou, 1981.

ANEXO B – FICHA DE CADASTRO DE RESÍDUOS E RÓTULO UTILIZADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS ENTRE NOVEMBRO DE 2016 A AGOSTO DE 2017

Ficha de cadastro

		Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Curitiba				
Departamento/setor		Responsável				
Laboratório		Telefone				
e-mail						
		Procedência do Resíduo		Característica do Resíduo		
<i>Experimento de origem e/ou Reação de origem</i> Ex: Determinação de DQO	<i>Passível de Recuperação?</i> Sim/ Não ou Não sei	<i>Aula Prática ou Pesquisa?</i> Nome do experimento	<i>Composição Química esperada do resíduo gerado</i> Ex: $K_2CrO_4 + AgNO_3 + Ag_2SO_4 + H_2SO_4$	<i>Ácido, Básico, Orgânico Polar ou Apolar, Metais, Organoclorados e outros.</i>	<i>Quantidade (kg)</i>	<i>Quando o resíduo foi gerado?</i>

Fonte: Almoxarifado do DAQBI.

Rótulo

	DEPARTAMENTO E LABORATÓRIO GERADOR:		
	Insira no Diagrama de Hommel os números correspondentes ao resíduo gerado. 		PROF. RESPONSÁVEL: 
	CONSTITUINTES DO RESÍDUO:		
pH: <i>Não ultrapassar 70% do volume do frasco.</i>	<i>Características:</i> <input type="radio"/> Ácido <input type="radio"/> Básico <input type="radio"/> Orgânico Polar <input type="radio"/> Orgânico Apolar	<input type="radio"/> Organoclorados <input type="radio"/> Metais <input type="radio"/> Outros _____	<i>Procedência:</i> <input type="checkbox"/> Aula Prática <input type="checkbox"/> Pesquisa <input type="checkbox"/> Extensão
	DATA DE INÍCIO DE ARMAZENAMENTO:		<i>Passível de recuperação:</i> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não sei
		QUANTIDADE (1 kg = 1L):	kg

Fonte: Almoxarifado do DAQBI.

ANEXO C – SUBSTÂNCIAS INCOMPATÍVEIS

SUBSTÂNCIA	INCOMPATÍVEL COM
Nitrato de Amônio	Ácidos, pós-metálicos, líquidos inflamáveis, cloretos, Enxofre, compostos orgânicos em pó.
Nitrato de sódio	Nitrato de amônio e outros sais de amônio
Nitroparafinas	Bases inorgânicas, aminas
Óxido de cálcio	Água
Óxido de cromo VI	Ácido acético, glicerina, benzina de petróleo, líquidos inflamáveis, naftaleno.
Oxigênio	Óleos, graxas, Hidrogênio, líquidos, sólidos e gases inflamáveis
Pentóxido de fósforo	Água, álcool, bases fortes
Perclorato de potássio	Ácidos (veja também ácido perclórico)
Permanganato de potássio	Glicerina, etilenoglicol, Ácido sulfúrico, benzaldeído
Peróxido de hidrogênio	Álcoois, Anilina, Cobre, Cromo, Ferro, líquidos inflamáveis, sais metálicos, compostos orgânicos em pó, nitrometano, metais em pó
Peróxido de sódio	Ácido acético, Anidrido acético, benzaldeído, etanol, metanol, etilenoglicol, Acetatos de metila e etila, furfural
Prata metálica e sais de prata	Acetileno, Ácido tartárico, Ácido oxálico, compostos de amônio.
Sódio	Veja metais alcalinos
Sulfeto de hidrogênio	Ácido nítrico fumegante, gases oxidantes

Fonte: HIRATA, Mário H. e MANCINI FILHO, Jorge (2002).

ANEXO D – INTERVALO DE PH PARA PRECIPITAÇÃO DOS CÁTIIONS NA FORMA DE HIDRÓXIDO

METAL	INTERVALO DE PH	METAL	INTERVALO DE PH
Alumínio – Al (III)	7-8	Molibidênio – Mo (VI)	Precipitado como sal de cálcio
Arsênio – As (III)	Precipitado como sulfeto	Nióbio – Nb (V)	1-10
Arsênio – As (IV)	Precipitado como sulfeto	Níquel – Ni (II)	8-14
Antimônio – Sb (II)	7-8	Ósmio – Os (IV)	7-8
Antimônio – Sb (II)	7-8	Ouro – Au (III)	7-8
Berílio – Be (II)	7-8	Paládio – Pd (II)	7-8
Bismuto – Bi (III)	7-14	Paládio – Pd (IV)	7-8
Cádmio – Cd (II)	7-14	Platina – Pt(II)	7-8
Chumbo – Pb (II)	7-8	Prata – Ag (I)	9-14
Cobalto – Co (II)	8-14	Rênio – Re (III)	6-14
Cobre – Cu (I)	9-14	Rênio – Re (VII)	Precipitado como sulfeto
Cobre – Cu (II)	7-14	Ródio – Rh (III)	7-8
Cromo – Cr (III)	7-14	Rutênio – Ru (III)	7-14
Escândio – Sc (III)	8-14	Selênio – Se (IV)	Precipitado como sulfeto
Estanho – Sn (II)	7-8	Selênio – Se (VI)	Precipitado como sulfeto
Estanho – Sn (IV)	7-8	Tálio – Tl (III)	9-14
Ferro – Fe (II)	7-14	Tantálio – Ta(V)	1-10
Ferro – Fe (III)	7-14	Terlúrio – Te (IV)	Precipitado como sulfeto
Gálio – Ga (III)	7-8	Terlúrio – Te (VI)	Precipitado como sulfeto
Germânio – Ge (IV)	6-8	Titânio – Ti (III)	8-14
Háfnio – Hf (IV)	6-7	Titânio – Ti (IV)	8-14
Índio – In (III)	6-13	Tório – Th (VI)	6-14
Índio – In (IV)	6-8	Tungstênio – W (IV)	Precipitado como sal de cálcio
Magnésio – Mg (II)	9-14	Vanádio – V (IV)	7-8
Manganês – Mn (II)	8-14	Vanádio – V (V)	7-8
Manganês – Mn (II)	7-14	Zinco – Zn (II)	7-8
Mercúrio – Hg (I)	8-14	Zircônio – Zr (IV)	6-7
Mercúrio – Hg (II)	8-14		

Fonte: FONSECA, Janaína, C. L. (2009)

ANEXO E – RÓTULO UTILIZADO PARA IDENTIFICAÇÃO E CADASTRO DE RESÍDUOS ENTRE AGOSTO DE 2017 A MAIO DE 2018

	DEPARTAMENTO E LABORATÓRIO GERADOR / PROF RESPONSÁVEL		
	Reação/Experimento de origem (Ex: Digestão de DQO)		
pH:	Principais Constituintes do Resíduo		
	Data de início de armazenamento:	Quantidade (1kg ≈ 1L):	
<p>Características:</p> <input type="checkbox"/> Ácido <input type="checkbox"/> Organoclorado <input type="checkbox"/> Básico <input type="checkbox"/> Metais <input type="checkbox"/> Orgânico Polar <input type="checkbox"/> Biológico <input type="checkbox"/> Orgânico Apolar <input type="checkbox"/> Outros	<p>Procedência:</p> <input type="checkbox"/> Aula Prática <input type="checkbox"/> Pesquisa <input type="checkbox"/> Extensão	<p>Passível de recuperação:</p> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não sei	
NÃO ultrapassar 70% do volume do frasco.			

Fonte: Almoarifado do DAQBI.