

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

ALINE GARCIA

ESTUDO DE TRATABILIDADE DE EFLUENTES LÍQUIDOS
GERADOS DAS ANÁLISES DE ESPECTROMETRIA DE
ABSORÇÃO ATÔMICA

CAMPO GRANDE, MS
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

ALINE GARCIA

**ESTUDO DE TRATABILIDADE DE EFLUENTES LÍQUIDOS
GERADOS DAS ANÁLISES DE ESPECTROMETRIA DE
ABSORÇÃO ATÔMICA**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

ORIENTADORA: Prof^ª. Dr^ª. Maria Lúcia Ribeiro

Aprovada em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr^ª. Maria Lúcia Ribeiro
Orientadora – UFMS

Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide
UFMS

Prof. Dr. Julio Cesar Gonçalves
UFMS

Campo Grande, MS
2012

Ficha catalográfica preparada pela
COORDENADORIA DA BIBLIOTECA CENTRAL/UFMS

Garcia, Aline
Estudo de Tratabilidade de Efluentes Líquidos Gerados das
Análises de Espectrometria de Absorção Atômica / Aline Garcia.
– Campo Grande, 2012.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso
do Sul, 2012.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Lúcia Ribeiro

1.coagulação 2. adsorção. 3. metais pesados.

DEDICATÓRIA

*A minha família,
amigos e professores, pelo apoio e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

À Deus pai misericordioso que me concedeu a oportunidade de realizar esta pesquisa.

À Professora Doutora Maria Lúcia Ribeiro, por sua paciência e dedicação a pesquisa.

Ao Professor Doutor Carlos Nobuyoshi Ide, por ser um grande incentivador e amigo em todos os momentos da pesquisa.

Ao Professor Doutor Robert Schiaveto de Souza, por seu incentivo para o sucesso da pesquisa.

A Leslie Schueler Martins Hall e ao Edvair Alves Ferreira, pela cooperação e compreensão durante todo tempo que precisei.

Especialmente ao Willian Ribeiro Ide, por sua dedicação como bolsista e sua inteira colaboração no desenvolvimento da pesquisa.

A todos os colegas, professores e funcionários do Antigo Departamento de Hidráulica e Transportes e do Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da UFMS, pela excelente colaboração.

“Aqueles que excels na defesa se enterram além das mais baixas profundezas da Terra. Aqueles que excels no ataque se movem acima das mais elevadas alturas do Céu. Assim são capazes de se preservar e alcançam a plena vitória”.

“Perseguir uma vitória que não ultrapassa o que as massas poderiam saber não é o ápice da excelência. Contender por vitórias pelas quais tudo que há sob o Céu proclama tua excelência não é o ápice da excelência”.

“Assim, erguer uma lebre de outono não pode ser considerado uma enorme força; ver o sol e a lua não pode ser considerado uma visão aguda; ouvir o som do trovão não pode ser considerado uma audição sensível”.

“Aqueles a quem os antigos se referem como excelentes na guerra conquistaram os que eram fáceis de conquistar. Assim, as vitórias dos que excels na guerra não eram famosas pela sabedoria ou pela realização corajosa. Suas vitórias eram, portanto, livres de erros. Quem é livre de erros direciona suas medidas para vitórias certas, conquistando aqueles que já estão derrotados”.

Sun Tzu

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| DEDICATÓRIA..... | iii |
| AGRADECIMENTOS..... | iv |
| EPÍGRAFE..... | v |
| SUMÁRIO..... | vi |
| LISTA DE FIGURAS..... | viii |
| LISTA DE TABELAS..... | ix |
| LISTA DE SIGLA..... | x |
| RESUMO..... | xi |
| ABSTRACT..... | xii |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. OBJETIVO GERAL..... | 3 |
| 2.1 OBJETIVO ESPECIFICO..... | 3 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 4 |
| 3.1 METAIS PESADOS NO AMBIENTE..... | 4 |
| 3.1.1 Cádmio..... | 5 |
| 3.1.2 Chumbo..... | 5 |
| 3.1.3 Cobre..... | 6 |
| 3.1.4 Cromo..... | 6 |
| 3.1.5 Níquel..... | 7 |
| 3.1.6 Zinco..... | 7 |
| 3.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS..... | 8 |
| 3.2.1 Processos de Tratamento..... | 9 |
| 3.2.1.1 Precipitação Seletiva..... | 9 |
| 3.2.1.2 Coagulação/Floculação..... | 10 |
| 3.2.1.3 Adsorção sobre Carvão Ativado..... | 11 |

| | |
|--|----|
| 3.3 RESÍDUOS QUÍMICOS DE LABORATÓRIO..... | 13 |
| 3.4 DESCARTE DE RESÍDUOS PERIGOSOS..... | 14 |
| 3.5 GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS..... | 17 |
| 4. METODOLOGIA..... | 20 |
| 5. RESULTADO DAS DISCUSSÕES..... | 22 |
| 5.1 GERENCIAMENTO E DESCARTE DOS RESÍDUOS..... | 39 |
| 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 41 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 42 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 3.1 - Solubilidade dos metais em função do pH..... | 10 |
| Figura 5.1 - Taxa de remoção do Cd em função do pH..... | 25 |
| Figura 5.2 - Taxa de remoção do Pb em função do pH..... | 27 |
| Figura 5.3 - Taxa de remoção do Cu em função do pH..... | 30 |
| Figura 5.4 - Taxa de remoção do Cr em função do pH..... | 33 |
| Figura 5.5 - Taxa de remoção do Ni em função do pH..... | 36 |
| Figura 5.6 - Taxa de remoção do Zn em função do pH..... | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1 - Compostos químicos usados no tratamento de efluentes líquidos..... | 11 |
| Tabela 4.1 – Métodos analíticos utilizados na determinação dos metais no EAA..... | 20 |
| Tabela 4.2 – Tratamento em Função do pH, Coagulante e Adsorvente..... | 21 |
| Tabela 5.1 – Lançamento de Efluentes (Padrões)..... | 22 |
| Tabela 5.2 – Precipitação Seletiva do Cádmio..... | 23 |
| Tabela 5.3 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante do Cádmio..... | 23 |
| Tabela 5.4 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado do Cádmio..... | 24 |
| Tabela 5.5 – Tratamento sobre Carvão Ativado do Cádmio..... | 24 |
| Tabela 5.6 – Precipitação Seletiva do Chumbo..... | 25 |
| Tabela 5.7 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante do Chumbo..... | 26 |
| Tabela 5.8 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado do Chumbo..... | 26 |
| Tabela 5.9 – Tratamento sobre Carvão Ativado do Chumbo..... | 27 |
| Tabela 5.10 – Precipitação Seletiva do Cobre..... | 27 |
| Tabela 5.11 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante do Cobre..... | 29 |
| Tabela 5.12 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado do Cobre..... | 29 |
| Tabela 5.13 – Tratamento sobre Carvão Ativado do Cobre..... | 30 |
| Tabela 5.14 – Precipitação Seletiva do Cobre..... | 31 |
| Tabela 5.15 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante do Cromo..... | 31 |
| Tabela 5.16 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado do Cromo..... | 32 |
| Tabela 5.17 – Tratamento sobre Carvão Ativado do Cromo..... | 32 |
| Tabela 5.18 – Precipitação Seletiva do Níquel..... | 34 |
| Tabela 5.19 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante do Níquel..... | 34 |
| Tabela 5.20 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado do Níquel..... | 35 |
| Tabela 5.21 – Tratamento sobre Carvão Ativado do Níquel..... | 35 |
| Tabela 5.22 – Precipitação Seletiva do Zinco..... | 36 |
| Tabela 5.23 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante do Zinco..... | 37 |
| Tabela 5.24 – Precipitação Seletiva com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado do Zinco..... | 37 |
| Tabela 5.25 – Tratamento sobre Carvão Ativado do Zinco..... | 38 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-------|--|
| BA | Bário |
| Bi | Bismuto |
| Cd | Cádmio |
| Co | Cobalto |
| Cr | Cromo |
| Cu | Cobre |
| DQUI | Departamento de Química |
| EAA | Espectrômetro de Absorção Atômica |
| Fe | Ferro |
| Hg | Mercúrio |
| ISO | International Organization for Standardization |
| LAQUA | Laboratório de Qualidade Ambiental |
| Li | Lítio |
| Mn | Manganês |
| Mo | Molibdênio |
| Ni | Níquel |
| OD | Oxigênio Dissolvido |
| Pb | Chumbo |
| Pt | Platina |
| Sb | Antimônio |
| Se | Selênio |
| Ta | Tântalo |
| UFMS | Universidade Federal de Mato Grosso do Sul |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| USEPA | Agência de Proteção Ambiental Norte Americana |
| Zn | Zinco |

RESUMO

Garcia, A. (2012). *Estudo de Tratabilidade de Efluentes Líquidos Gerados das Análises de Espectrometria de Absorção Atômica. Campo Grande, 2012. 57 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal De Mato Grosso Do Sul, Brasil.*

Na atualidade várias universidades do país demonstram-se preocupadas com seus resíduos e através do gerenciamento, colocam em prática a denominada responsabilidade objetiva, estabelecida pela Política Nacional do Meio Ambiente Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981, quando o gerador torna-se responsável pelos resíduos que produz e pelos possíveis danos que possam vir a causar, quando descartados no ambiente. Os efluentes líquidos contendo metais pesados podem ser tratados com técnicas simples, como a precipitação química. Este trabalho avaliou a remoção dos metais Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Níquel (Ni) e Zinco (Zn), presentes em efluente gerado na análise de espectrometria de absorção atômica, armazenados nos laboratórios de ensino e pesquisa da UFMS. O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da universidade, utilizando os quatro tratamentos: precipitação seletiva, precipitação por adição de coagulante, precipitação por adição de coagulante mais adsorção em carvão ativado e tratamento por adsorção em carvão ativado. Os ensaios foram realizados em escala de bancada, através de Teste de Jarros (*Jar test*) e Adsorção. No tratamento de precipitação seletiva o melhor resultado obtido foi 100% na remoção de cromo e níquel e o menor percentual foi de 62,41 de cobre, no tratamento de precipitação com adição de coagulante a melhor remoção foi de 100% de cádmio, chumbo, cromo e níquel e a menor remoção foi de 57,96% de cobre. No tratamento de precipitação com adição de coagulante mais tratamento de adsorção por carvão ativado a melhor remoção foi de 100% de cobre, cromo e níquel e a menor remoção foi de 68,72% de chumbo. No tratamento de adsorção por carvão ativado foi removido 100% de cobre, cromo e níquel e a menor remoção foi de 69,79% de zinco. Para que se mantenha o descarte adequado dos resíduos perigosos, o gerenciamento dos resíduos nas universidades deve ser incentivado, contribuindo para a formação de profissionais competentes e responsáveis com o meio ambiente.

Palavras – chave: Coagulação; Adsorção; Metais pesados.

ABSTRACT

Garcia, A. (2011). *Treatability Study of Wastewater Generated Analysis Atomic Absorption Spectrometry, Campo Grande, 2011. 57 p. Máster Dissertation – Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil (in Portuguese).*

Currently several universities in the country demonstrate their concerns with their waste management and through, put into practice the so-called strict liability established by the National Environmental Policy Act of 6938 August 31, 1981, when the generator becomes responsible for waste it produces and the potential damage that may result when discarded into the environment. The liquid effluent containing heavy metals can be treated by simple techniques such as precipitation chemical. This study evaluated the removal of the metals cadmium (Cd), copper (Cu), Lead (Pb), Chromium (Cr), nickel (Ni) and zinc (Zn) present in the effluent generated in the analysis of atomic absorption spectrometry, stored in teaching and research laboratories UFMS. The study was conducted at the Laboratory of Environmental Quality (LAQUA) of the university, using the four treatments: selective precipitation, precipitation by addition of coagulant, coagulant precipitation by adding more and activated carbon adsorption treatment by adsorption on activated carbon. Assays were performed in a bench scale test jars through (Jar test) and adsorption. In the selective precipitation treatment the best result was obtained in 100% removal of chromium and nickel and the lowest 62.41 copper precipitation treatment with the addition of coagulant was the best of 100% removal of cadmium, lead, chromium and nickel and less removal was 57.96% copper. In the treatment by precipitation with addition of further treatment coagulant adsorption by activated carbon better removal was 100% of copper, chromium and nickel and less removal is 68.72% of lead. In the treatment of adsorption by activated carbon was removed 100% of copper, chromium and nickel removal was lower and 69.79% zinc. To maintain the proper disposal of hazardous waste, the waste management in universities should be encouraged, contributing to the formation of competent professionals responsible for the environment.

Key - words: coagulation, adsorption, heavy metals.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial à vida, sendo utilizado em larga escala pelo homem para diversos fins (abastecimento público, esgotamento sanitário, indústrias, irrigação, geração de eletricidade, recreação, entre outros). Para tanto, existem leis que visam garantir a saúde das populações que fazem uso dela. No Brasil, a Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (Brasil, 2011) dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005) regulamenta a proteção ambiental de cursos d'água e mananciais, através do controle da qualidade de efluentes industriais e domésticos, por meio de padrões de qualidade, obedecendo aos critérios de classificação e enquadramento dos cursos d'água.

Os padrões de qualidade de água de potabilidade ou de efluentes industriais e domésticos, estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (Brasil, 2011) e CONAMA 357 (Brasil, 2005) respectivamente, muitas vezes só são conseguidos através de sistemas específicos de tratamento de água, que podem apresentar inúmeras configurações, dependendo da qualidade da água a ser tratada e do padrão de qualidade que se deseja atingir.

Uma das etapas mais importantes em sistemas de tratamento físico-químico de água para fins de abastecimento público, é o processo de coagulação/floculação, que pode ser seguida de decantação, flotação, ou, ainda, das duas etapas associadas, que se destina à remoção de sólidos em suspensão, que conferem à água turbidez, e de sólidos dissolvidos, que conferem cor e sabor. Os sólidos suspensos e os dissolvidos podem ser fixos ou voláteis, havendo, entre os sólidos fixos, o predomínio de substâncias inorgânicas, enquanto que o predomínio de substâncias orgânicas ocorre nos sólidos voláteis. A presença de sólidos na água pode acarretar sérios efeitos, diretos e indiretos, ao meio ambiente e aos organismos dele dependentes, inclusive o homem, já que podem ser constituídos de substâncias nocivas, além das alterações físicas que proporcionam aos meios aquáticos. O processo que agrega as etapas citadas coagulação/floculação, seguida de filtração, é denominado clarificação.

A partir do desenvolvimento de técnicas de tratamento, tornou-se muito viável a aplicação de coagulação/floculação em larga escala nas estações de tratamento de água, dada a sua praticidade e controle, aliada à sua elevada eficiência operacional.

O “Teste de Jarros” simula a real situação do processo de coagulação/floculação, através de amostra representativa das características da água a ser tratada, além de serem reproduzidas, no ensaio, as condições operacionais do sistema, como tempos de contato de

reação, concentração do coagulante, tempo de coagulação, formação de floco, tempo de sedimentação, as características de mecânica do fluido, entre outras, a fim de definir qual a melhor alternativa operacional no caso de elaboração de projeto em grande escala (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

De forma a evitar que os metais sejam descartados no meio ambiente, alguns tratamentos foram desenvolvidos e relatados. Na literatura, encontram-se várias técnicas de tratamento de metais pesados presentes em efluentes líquidos, dentre as quais destacam-se a precipitação química (Giovannini *et al.*, 2007 e Macente, 2011), pH, potencial de óxi-redução e condutância (Silva, 2005), adsorção em carvão ativado (Landrigan & Hallowell, 1975 e Alves, 2007) e vários outros.

Este trabalho teve como objetivo avaliar as melhores condições no tratamento de efluentes líquidos gerados em análises de metais no Espectrômetro de Absorção Atômica, dos laboratórios da UFMS, através de procedimentos analíticos, baseados nos seguintes tratamentos: reações químicas de precipitação seletiva; precipitação com coagulante e adsorção com carvão ativado, visando a redução da concentração dos metais Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni), e Zinco (Zn), presentes no efluente.

2. OBJETIVO GERAL

Realizar o estudo de tratabilidade de efluentes líquidos gerados em análises de metais pesados em Espectrômetro de Absorção Atômica.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

Recomendar propostas para o descarte controlado dos resíduos resultantes dos processos, sem agressão ao meio ambiente.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em face da finalidade desta pesquisa, esta seção busca nortear as propostas estabelecidas. Está dividida em cinco subseções que tratará inicialmente sobre os metais no ambiente, com uma descrição sucinta dos metais selecionados para este estudo. Em seguida, são apresentados os processos de tratamento utilizado em efluentes líquidos. Na terceira subseção será abordada, também, a necessidade de tratamento de resíduos químicos de laboratórios nas universidades. Na quarta subseção será descrito sobre o descarte de resíduos perigosos segundo a legislação vigente e por último será apresentado um compêndio de idéias sobre a gestão e o gerenciamento de resíduos, frente às necessidades de implantação nas universidades.

3.1 METAIS PESADOS NO AMBIENTE

Os despejos industriais nas águas são uma das principais fontes de contaminação tóxica no ambiente. Os rios localizados em áreas industriais contêm, por vezes, grandes quantidades de metais pesados, aos quais afetam os ecossistemas da região, devido sua toxicidade, persistência e acumulação.

Segundo Alves (2007), alguns metais são essenciais à vida e sua ausência pode comprometer a sobrevivência de plantas e animais. Na medida certa, são considerados macro ou micronutrientes o cobre (Cu), o ferro (Fe), o manganês (Mn), o molibdênio (Mo) e o zinco (Zn). Em quantidades adequadas os metais cobalto (Co), níquel (Ni) e o vanádio (V), são considerados benéficos, porém não essenciais. Outros são considerados prejudiciais em quaisquer quantidades, como por exemplo o cádmio (Cd), o mercúrio (Hg), e o chumbo (Pb).

Cavalcante (2009) explica que os metais pesados mercúrio, chumbo, cádmio, cromo, ferro, prata, selênio e outros, apresentam grande risco ambiental, fixam-se no solo e na água, transportam-se em forma de gases ou adsorvidos em material particulado em suspensão, alteram o pH em sistemas de tratamento biológico. Porém, alguns metais como o cálcio, magnésio, potássio e sódio, são fundamentais no equilíbrio do corpo humano. O cobre, cobalto, ferro, manganês, molibdênio, selênio e zinco são também necessários em baixas concentrações como catalisador em reações enzimáticas.

Os metais pesados são agentes tóxicos mais conhecidos pelo homem. A seguir serão abordadas as características dos metais pesados no ambiente, seus efeitos no homem e

algumas particularidades específicas.

3.1.1 Cádmio

O cádmio apresenta nas águas naturais, devido às descargas de efluentes industriais, principalmente as de galvanoplastias. É também usado como inseticida e apresenta efeito agudo, sendo que uma única dose de 9,0 gramas pode levar à morte e efeito crônico, pois se concentra nos rins, no fígado, no pâncreas e na tireóide. O cádmio não apresenta nenhuma qualidade, pelo menos conhecida até o presente, que o torne benéfico ou essencial para os seres vivos (Kuno, 2009). Estudos feitos com animais demonstram a possibilidade de causar anemia, retardamento de crescimento e morte. O padrão de potabilidade é fixado pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (Brasil, 2011) em $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$. O cádmio ocorre na forma inorgânica, pois seus compostos orgânicos são instáveis; além dos malefícios já mencionados, é um irritante gastrointestinal, causando intoxicação aguda ou crônica sob a forma de sais solúveis. Kuno (2009) registra o caso de quatro pessoas que, por longo tempo, ingeriram água com teor de $0,047 \text{ mg.L}^{-1}$ de cádmio, nada apresentando de sintomas adversos. No Japão, um aumento de concentração de cádmio de $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ para $0,18 \text{ mg.L}^{-1}$, provocado por uma mina de zinco, causou a doença conhecida como doença de “itai – itai” (dói – dói). A ação do cádmio sobre a fisiologia dos peixes é semelhante às do níquel, zinco e chumbo.

A Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) estabelece o padrão de lançamento de efluentes com o valor máximo permitido de $0,2 \text{ mg.L}^{-1} \text{ Cd}$.

3.1.2 Chumbo

O chumbo está presente no ar, no tabaco, nas bebidas e nos alimentos, nestes últimos, naturalmente, por contaminação e na embalagem. Está presente na água devido às descargas de efluentes industriais como, por exemplo, os efluentes das indústrias de acumuladores (baterias), bem como devido ao uso indevido de tintas e tubulações e acessórios à base de chumbo. Constitui veneno cumulativo, provocando envenenamento crônico denominado saturnismo, que consiste em efeito sobre o sistema nervoso central com consequências bastante sérias.

Para o elemento chumbo o valor máximo permissível de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ para o padrão de potabilidade exigido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (Brasil, 2011), mesmo valor adotado nos Estados Unidos. É também padrão de emissão de esgotos e de classificação das águas naturais. Nestes, para as classes mais exigentes os valores estabelecidos são tão restritivos quanto os próprios padrões de potabilidade, prevendo-se que o tratamento

convencional de água não remove metais pesados consideravelmente. Aos peixes, as doses fatais, no geral, variam de 0,1 a 0,4 mg.L⁻¹, embora, em condições experimentais, alguns resistam até 10 mg.L⁻¹. Outros organismos (moluscos, crustáceos, mosquitos quironomídeos e simuliídeos, vermes oligoquetos, sanguessugas e insetos tricópteros) desaparecem após a morte dos peixes, em concentrações superiores a 0,3 mg.L⁻¹. A ação sobre os peixes é semelhante à do níquel e do zinco (KUNO, 2009). A Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) estabelece o padrão de lançamento de efluentes com o valor máximo permitido de 0,5 mg.L⁻¹ Pb.

3.1.3 Cobre

O cobre ocorre geralmente nas águas, naturalmente, em concentrações inferiores a 20 µg.L⁻¹. Quando em concentrações elevadas, é prejudicial à saúde e confere sabor às águas. Segundo pesquisas efetuadas, é necessária uma concentração de 20 mg.L⁻¹ de cobre ou um teor total de 100 mg.L⁻¹ por dia na água, para produzirem intoxicações humanas com lesões no fígado. No entanto, concentrações de 5 mg.L⁻¹ tornam a água absolutamente impalatável, devido ao gosto produzido. Interessante é notar, todavia, que o trigo contém concentrações variáveis de 190 a 800 mg/kg de cobre, a aveia 40 a 200 mg/kg, a lentilha 110 a 150 mg/kg e a ervilha de 13 a 110 mg/kg. As ostras podem conter até 2000 mg/kg de cobre. O cobre em pequenas quantidades é até benéfico ao organismo humano, catalisando a assimilação do ferro e seu aproveitamento na síntese da hemoglobina do sangue, facilitando a cura de anemias. Para os peixes, muito mais que para o homem, as doses elevadas de cobre são extremamente nocivas. Assim, trutas, carpas, bagres, peixes vermelhos de aquários ornamentais e outros, morrem em dosagens de 0,5 mg.L⁻¹. Os peixes morrem pela coagulação do muco das brânquias e consequente asfixia (ação oligodinâmica). Os microrganismos perecem em concentrações superiores a 1,0 mg.L⁻¹ (BAIRD, 2002). O cobre aplicado em sua forma de sulfato de cobre, CuSO₄.5H₂O, em dosagens de 0,5 mg.L⁻¹ é um poderoso algicida. Segundo a USEPA - Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (EUA, 1972), a concentração de 1,0 mg.L⁻¹ de cobre é a concentração máxima permissível para águas reservadas para o abastecimento público. Já a Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (Brasil, 2011), fixa o máximo permitido em 2 mg.L⁻¹.

3.1.4 Cromo

Segundo Baird (2002) o cromo é um elemento traço essencial à nutrição humana, mas

raramente encontrado em águas naturais. A toxicidade do cromo, em relação à vida aquática, varia largamente com a espécie, temperatura, pH, valência, oxigênio dissolvido (OD) e efeitos sinérgicos e antagonísticos. Geralmente, o estado de oxidação depende da forma como o cromo é lançado e das condições ambientais do corpo receptor, mas, em condições normais de pH e OD, a forma hexavalente é mais tóxica para os peixes. Os efeitos que uma intoxicação por cromo pode causar são: corrosão das mucosas, problemas respiratórios e modificações hematológicas. Os organismos aquáticos apresentam variação de 0,03 a 118 mg.L⁻¹, em relação à sensibilidade ao cromo. Considerando o cromo hexavalente, uma concentração de 0,05 mg.L⁻¹ causa a morte de *Daphnia magna* em 6 dias. A Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) estabelece o padrão de lançamento de efluentes com o valor máximo permitido de 0,5 mg.L⁻¹ Cr.

3.1.5 Níquel

O níquel é também utilizado em galvanoplastias. Estudos recentes demonstram que é carcinogênico. Não existem muitas referências bibliográficas quanto à toxicidade do níquel; todavia, assim como para outros íons metálicos, é possível mencionar que, em soluções diluídas, estes elementos podem precipitar a secreção da mucosa produzida pelas brânquias dos peixes. Assim, o espaço inter-lamelar é obstruído e o movimento normal dos filamentos branquiais é bloqueado. O peixe, impedido de realizar as trocas gasosas entre a água e os tecidos branquiais, morre por asfixia. Por outro lado, o níquel complexado (níquelcianeto) é tóxico quando em baixos valores de pH. Concentrações de 1,0 mg.L⁻¹ desse complexo são tóxicas aos organismos de água doce (BAIRD, 2002). A Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) estabelece o padrão de lançamento de efluentes com o valor máximo permitido de 2,0 mg.L⁻¹ Ni.

3.1.6 Zinco

O zinco é também bastante utilizado em galvanoplastias na forma metálica e de sais tais como: cloreto; sulfato; cianeto; etc. A presença de zinco é comum nas águas naturais, excedendo em um levantamento efetuado nos EUA a 20 mg.L⁻¹ em 95 dos 135 mananciais pesquisados. O zinco é um elemento essencial para o crescimento, porém, em concentrações acima de 5,0 mg.L⁻¹, confere sabor à água e uma certa opalescência à águas alcalinas. Os efeitos tóxicos do zinco sobre os peixes são muito conhecidos, assim como sobre as algas. A ação desse íon metálico sobre o sistema respiratório dos peixes é semelhante à do níquel, anteriormente citada. As experiências com outros organismos aquáticos são escassas.

Entretanto, é preciso ressaltar que o zinco em quantidades adequadas é um elemento essencial e benéfico para o metabolismo humano, sendo que a atividade da insulina e diversos compostos enzimáticos dependem da sua presença. A deficiência do zinco nos animais pode conduzir ao atraso no crescimento (BAIRD, 2002). Nos EUA, em populações consumindo águas com 11 a 27 mg.L⁻¹ não foi constatada qualquer anormalidade prejudicial à saúde (USEPA, 1972). Os padrões para águas reservadas ao abastecimento público fixam em 5,0 mg.L⁻¹ o valor máximo permitido, conforme Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (Brasil, 2011). A Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) estabelece o padrão de lançamento de efluentes com o valor máximo permitido de 5,0 mg.L⁻¹ Zn.

3.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Braile & Cavalcante (1993) argumentam que os hábitos de consumo da sociedade moderna estimulam o crescimento das indústrias e conseqüentemente, a poluição dos recursos hídricos, quando os efluentes não recebem o tratamento adequado.

A Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005) e a Resolução CONAMA 430 (Brasil, 2011), dispõem as condições e padrões de lançamento de efluentes. As Resoluções estabelecem que os efluentes de qualquer fonte poluidora, somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento. As Resoluções determinam também, os valores máximos de concentrações de metais permitidos para o descarte em corpos receptores. No Estado de Mato Grosso do Sul, essa questão é regida pela Deliberação CECA 003 (Mato Grosso do Sul, 1997).

Com o tratamento, o efluente fica apto para ser lançado no corpo receptor, não alterando a qualidade original e mantendo-se disponível para os usos múltiplos. Analogicamente, ao solo e ar que podem ser afetados direta ou indiretamente pela poluição (Rocha *et al.*, 2005).

Rocha *et al.*, (2005), afirmam que o objetivo do tratamento deve ser estabelecido para o projeto específico, pois existem inúmeros tipos de tratamento, para determinados efluentes, dependendo de suas características. O nível de tratamento pode ser determinado pela comparação entre as características do efluente sem tratamento e as que se deseja obter para o efluente tratado. Um grande número de diferentes tratamentos e disposições ou alternativas de reutilização podem ser desenvolvidos e avaliados, selecionando-se a melhor alternativa.

Para que os resíduos produzidos possam ser descartados em corpos receptores é necessário o seu tratamento prévio, para enquadrá-los na legislação vigente.

O tratamento clássico de efluentes contendo metais envolve processos físico-químicos de precipitação, troca iônica e eletroquímica. O método mais utilizado atualmente é a precipitação química, seguido de sedimentação e filtração. Contudo, essas técnicas tradicionais são inadequadas para a descontaminação de grandes volumes de efluentes contendo metais em baixas concentrações, devido à baixa eficiência operacional e aos elevados custos deste processo. Diante disso, métodos alternativos vêm sendo investigados como, por exemplo, eletrodialise, osmose reversa, ultrafiltração e a adsorção com biosorventes. A grande vantagem da adsorção sobre as outras é a baixa geração de resíduos, fácil recuperação dos metais e a possibilidade de reutilização do adsorvente (SPINELLI *et al.*, 2005).

Os efluentes industriais são as principais causas de contaminação das águas com metais potencialmente tóxicos. Como esses metais são biocumulativos, há uma crescente exigência por parte da sociedade e dos órgãos públicos, no sentido de haver diminuição dessa contaminação, aos níveis toleráveis pelos organismos sujeitos ao contato com tais contaminantes e, conseqüentemente, uma tendência em se aprovar uma legislação ambiental cada vez mais rigorosa (SAQUETO *et al.*, 2006).

3.2.1 Processos de Tratamento

A seguir serão abordados três tipos de processos de tratamento: Precipitação Seletiva, Coagulação/Floculação e Adsorção sobre Carvão Ativado, que foram utilizados neste estudo.

3.2.1.1 Precipitação Seletiva

Conforme Cavalcanti (2009), a precipitação de metais depende de dois fatores: concentração do metal e o pH da água. Os metais pesados encontram-se, usualmente, dissolvidos em água ($1-100 \text{ mg.L}^{-1}$) em valor de $\text{pH} < 7$ ou em faixas de pH muito alcalinas. A remoção de metais pesados pode ser feita por meio de procedimentos de ajuste de pH, com ácido ou álcali, de forma a diminuir a solubilidade de metais dissolvidos e, conseqüentemente, precipitar os metais sob a forma de hidróxidos metálicos. Cada metal possui pH ótimo de insolubilidade, sendo possível fazer sucessivas precipitações seletivas. A Figura 3.1 apresenta a faixa de concentração do metal dissolvido em função do pH.

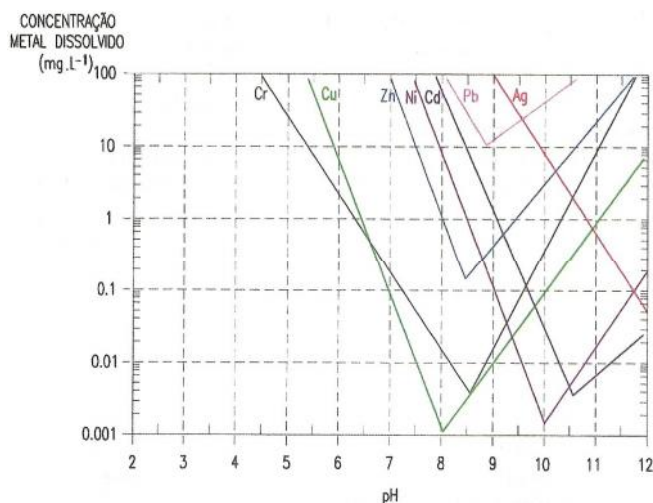


Figura 3.1. Solubilidade dos metais em função do pH
Fonte: Cavalcanti (2009)

A Figura 3.1 ilustra como a solubilidade de um determinado metal é diretamente controlado pelo pH. Para cada metal, a região “côncava” das curvas delimita as zonas em que ocorre a precipitação como hidróxidos metálicos. Em contrapartida, as zonas de maior solubilidade encontram-se fora daqueles limites (Cavalcanti, 2009).

3.2.1.2 Coagulação/Floculação

O processo de coagulação/floculação consiste na aglutinação de partículas presentes na água a ser tratada (água bruta ou efluente líquido) em pequenas massas, denominados flocos, que dependendo de sua densidade em relação à água podem decantar ou flotar, sendo estes efeitos determinados, principalmente, pelos mecanismos físicos envolvidos no processo (NUMES, 1996).

O processo ocorre em duas etapas distintas: a coagulação e a floculação. Estas dependem intimamente de fatores físicos e químicos para que ocorram de forma satisfatória. A coagulação/floculação, no tratamento de água e efluentes, visa à remoção da turbidez (orgânica e inorgânica), cor (aparente e verdadeira), microrganismos, algas, plânctons, substâncias responsáveis pelo odor e sabor, precipitados químicos e nutrientes (NUMES, 1996).

Para Richter e Azevedo Netto (1991) o coagulante mais utilizado no tratamento de água e de efluentes é o sulfato de alumínio, que forma um produto insolúvel (hidróxido de alumínio, na forma de floco gelatinoso) em 01 (um) a 07 (sete) segundos, sendo que o tempo para formação do floco é de 30 (trinta) minutos. A coagulação das partículas em suspensão

ocorre através da desestabilização das partículas. Quando isto ocorre, a remoção das partículas se processa por meio de arraste promovido pelos flocos gelatinosos de hidróxido de alumínio, que as incorpora à sua massa, que pode resultar em boa clarificação da água, no entanto, com menor eficiência operacional em função do maior consumo de coagulante e do maior tempo de detenção necessário para que ocorra de forma satisfatória. Porém, na prática o que se obtém é a associação das duas formas de coagulação (por adsorção e varredura), em maior ou menor grau, quando se utiliza o sulfato de alumínio como coagulante, dependendo da quantidade aplicada deste e da agitação implementada na etapa de coagulação. Os principais fatores químicos a serem considerados no processo de coagulação/floculação são o pH, a alcalinidade e a adição de produtos auxiliares, destinados a melhorar as características desejáveis no processo, além das características do próprio coagulante escolhido e sua concentração para aplicação (DI BERNARDO, 2003).

Conforme Cossich (2006), os coagulantes mais utilizados nos tratamentos de efluentes são o sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso e a cal para controle do pH. A Tabela 3.1 mostra os compostos químicos geralmente utilizados no tratamento de efluentes líquidos.

Tabela 3.1 – Compostos químicos usados no tratamento de efluentes líquidos.

| Composto | Fórmula | Peso Molecular |
|---------------------|-----------------------------|----------------|
| Sulfato de alumínio | $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ | 666,7 |
| | $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ | 594,3 |
| Cloreto férrico | $FeCl_3$ | 162,1 |
| | $Fe_2(SO_4)_3$ | 400,0 |
| Sulfato férrico | $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$ | 454,0 |
| Sulfato ferroso | $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ | 278,0 |
| Cal | $Ca(OH)_2$ | 56 como CaO |

Fonte: Cossich (2006).

Aziz *et al.* (2007) utilizaram vários coagulantes, como cloreto férrico, cloreto ferroso e sulfato de alumínio para remoção de cor em chorume de aterro sanitário, após tratamento pré-anaeróbio. Concluíram que com cloreto férrico a taxa de remoção de cor foi maior, aproximadamente 94% com dosagem de 800 mg.L^{-1} a pH 4. O efeito dessa dosagem de coagulante na remoção de cor mostrou tendência semelhante para DQO (Demanda Química de Oxigênio), turbidez e sólidos suspensos.

3.2.1.3 Adsorção sobre Carvão Ativado

Diversos processos físicos e químicos são desenvolvidos para o controle da emissão e remoção de metais em efluentes. Dentre os processos existentes pode-se destacar a sorção

(termo geral que inclui absorção e adsorção). A absorção pode ser definida como o processo de acumular substâncias pela interpenetração em outra fase, enquanto, a adsorção pode ser entendida como as interações que ocorrem entre as substâncias e as superfícies dos sólidos, sendo a adsorção um processo mais complexo que utiliza materiais de origem mineral (zeolitas, bentonitas, caulinita, diatomita etc.), que possuem a capacidade de remover íons metálicos do meio aquoso, podendo ser utilizados no tratamento por apresentar taxas de remoção de metais de até 95% (LOPES *et al.*, 2005).

Cavalcante (2009) explicou que o processo de adsorção consiste em separar substâncias orgânicas e inorgânicas em solução sobre uma interface entre um líquido e um sólido. A separação ocorre com uma formação rápida de uma concentração interfacial de equilíbrio, com uma lenta difusão das moléculas de soluto dentro dos poros capilares das partículas de carvão ativado. A capacidade de adsorção do carvão está relacionada com a formação de milhões de micro, médio e macro poros na ativação. Os dois tipos mais utilizados em tratamento de efluentes são o carvão em pó (PAC), com diâmetro menor que 200 mesh o carvão granular (GAC), com diâmetro maior que 0,1 mm.

Existem dois mecanismos de adsorção: adsorção física e adsorção química. Ambos os mecanismos ocorrem quando as moléculas da fase líquida são atacadas pela superfície do sólido como um resultado das forças atrativas na superfície sólida (adsorvente), sobrepondo a energia cinética das moléculas do líquido contaminante (adsorbato).

A adsorção física ocorre quando do envolvimento de forças elétricas atrativas não específicas (forças de Van der Waals), ficando as moléculas de adsorbato “ligadas” fisicamente às moléculas do adsorvente. Neste tipo de adsorção, o equilíbrio é normalmente atingido rapidamente, já que não há participação de energia de ativação e o processo é facilmente reversível. Este tipo de adsorção é em camadas múltiplas e costuma ser favorecido a baixas temperaturas.

A adsorção química ocorre quando é produzido um composto químico pela reação entre a molécula adsorvida e o adsorvente. A adsorção química se dá em camadas mais moleculares, sendo um processo relativamente lento e muitas vezes é requerida no processo. Este tipo de adsorção costuma ser favorecido por temperaturas mais elevadas.

Em muitos casos de adsorção reais ocorre uma combinação de adsorção física e química, sendo uma ou outra mais favorecida em função da temperatura.

A adsorção é um fenômeno de superfície e como tal, sua intensidade ou grau de adsorção é proporcional à área superficial específica, que é a parcela da área superficial total

efetivamente disponível para a adsorção. Portanto, quanto mais poroso e mais finamente dividido o adsorvente, maior a sua capacidade de adsorção.

Uma das principais características físicas dos carvões ativados é a sua elevada área superficial, que muitas vezes chega a 2000 m²/g. Esta enorme área superficial recoberta de óxidos superficiais que conferem aos carvões ativados alta capacidade adsortiva, é consequência direta da estrutura altamente porosa que os carvões ativados desenvolvem durante o processo de carbonização e ativação.

O pH e a temperatura da solução influencia o grau de adsorção. Uma vez que os íons hidrogênio e hidroxila são fortemente adsorvidos, a adsorção de outros íons é influenciada pelo pH da solução. Além disto, do mesmo modo que a ionização de compostos ácidos e básicos influenciam na adsorção, o pH também influi uma vez que ele que governa o grau de ionização.

3.3 RESÍDUOS QUÍMICOS DE LABORATÓRIO

Amaral *et al.* (2001) descreveram que houve um crescimento mundial na conscientização por parte das indústrias químicas, das instituições acadêmicas, dos laboratórios clínicos e dos órgãos governamentais a respeito da necessidade de tratamento adequado e disposição final dos resíduos, preocupados com a segurança dos trabalhadores e o meio ambiente. A recuperação dos resíduos gerados nos processos e a substituição destes por tecnologias limpas, são atitudes responsáveis essenciais para minimizar os danos ambientais e os riscos à saúde da humanidade.

O Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, preocupado com o problema, desenvolveu um programa de coleta seletiva e tratamento de rejeitos dos laboratórios de pesquisa e graduação, “Programa em Química Limpa” com destaque em fluxo de resíduos e produtos, sob a responsabilidade da Prof^a. Suzana Trindade Amaral. Este projeto teve como objetivo reduzir as quantidades de resíduos produzidos nos laboratórios do instituto (AMARAL *et al.*, 2001).

Paim, Palma e Eifler-Lima (2002) apresentaram sugestões para o gerenciamento e o descarte dos principais resíduos químicos gerados na UFRGS. Relataram que o tratamento dos resíduos é uma das principais operações que precede a destinação final dos mesmos. Este procedimento visa diminuir ao máximo os problemas de toxicidade, contaminação e agressão ao meio ambiente. Muitos produtos classificados como perigosos podem mediante reações de neutralização e inativação, ser reaproveitados ou mesmo descartados, pois já não oferecem

mais perigo. Os metais hidrossolúveis são transformados em resíduos sólidos, evitando o descarte em água corrente e sugerem a agregação do resíduo inorgânico e do precipitado formado em blocos de concreto.

Na Universidade Federal do Paraná, os resíduos químicos gerados pelos laboratórios do DQUI – (Departamento de Química) são gerenciados através do Programa de co-processamento em forno de cimento, que consiste em adicionar resíduos químicos, combustíveis ou não, na forma de sólidos líquidos ou pastas, no forno de cimento durante a formação do clínquer. Cunha (2001) verificou que o processo ocorre com a queima dos líquidos combustíveis misturados com o combustível auxiliar do forno, os sólidos e pastosos são direcionados para a parte alta do forno e os aquosos são adicionados junto com a água de resfriamento dos gases do forno.

No Estado do Paraná, o processamento de resíduos químicos de laboratórios é licenciado para tratar ácidos e bases, solventes halogenados e não halogenados, cianetos e arsenatos, sais de quase todos os metais exceto os de mercúrio, cádmio e tálio. Foram vetados os tratamentos de agrotóxicos, materiais radioativos, explosivos, materiais infecciosos e bifenilas policloradas (PCB) (CUNHA, 2001).

A questão dos resíduos laboratoriais é um tema mundialmente discutido, principalmente nas universidades e centros de pesquisas de países desenvolvidos, ou seja, há a preocupação com o desenvolvimento sustentável. A prioridade é a prevenção da geração de resíduos, isto é, deve-se evitar, sempre que possível, a geração. Isso pode ser obtido pela modificação de um processo qualquer ou método, substituição de matérias - primas ou insumos. Quando não é possível prevenir a geração de resíduos, muitas vezes é possível minimizá-la. O tratamento é a penúltima prática a ser realizado, definido na escala de prioridades, podendo ser químico, físico, biológico ou térmico. O tratamento biológico é mais recomendado para grandes volumes de resíduos e o tratamento térmico (incineração) é considerado dispendioso, os métodos físicos e químicos são os mais promissores. Os processos mais usuais são, a neutralização ácido/base e a precipitação química de metais. Por fim, deve-se dispor adequadamente os resíduos, o que pode ser realizado em aterros ou outros locais apropriados (NOLASCO, TAVARES e BENDASSOLLI, 2006).

3.4 DESCARTE DE RESÍDUOS PERIGOSOS

O descarte inadequado de resíduos tem produzido passivos ambientais capazes de colocar em risco e comprometer os recursos naturais e a qualidade de vida das atuais e futuras

gerações.

Tais desafios têm gerado políticas públicas e legislações tendo como eixo de orientação a sustentabilidade do meio ambiente e a preservação da saúde. Grandes investimentos são realizados em sistemas e tecnologias de tratamento e minimização.

A Resolução CONAMA nº 005 (Brasil, 1993) define resíduos sólidos como: *resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.*

De acordo com Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2000) os resíduos sólidos podem ser classificados de várias formas: 1) por sua natureza física: seco ou molhado; 2) por sua composição química: matéria orgânica e matéria inorgânica; 3) pelos riscos potenciais ao meio ambiente; e 4) quanto à origem.

Com relação aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública a NBR 10.004 (Brasil, 2004) classifica os resíduos sólidos em duas classes: classe I e classe II.

Os resíduos de classe I, denominados como perigosos, são aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou biológicas, podem apresentar riscos à saúde e ao meio ambiente. São caracterizados por possuírem uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Os resíduos de classe II denominados não perigosos são subdivididos em duas classes: classe II-A e classe II-B.

Os resíduos da classe II-A - não inertes podem ter as seguintes propriedades: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Os resíduos da classe II-B - inertes não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, com exceção dos aspectos cor, turbidez, dureza e sabor.

Com relação a origem e natureza, os resíduos sólidos são classificados em: domiciliar, comercial, varrição e feiras livres, serviços de saúde, portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários, industriais, agrícolas e resíduos de construção civil.

Com relação à responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos sólidos pode-se agrupá-los em dois grandes grupos.

O primeiro grupo refere-se aos resíduos sólidos urbanos, compreendido pelos:

- resíduos domésticos ou residenciais;
- resíduos comerciais;
- resíduos públicos.

O segundo grupo, dos resíduos de fontes especiais, abrange:

- resíduos industriais;
- resíduos da construção civil;
- rejeitos radioativos;
- resíduos de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários;
- resíduos agrícolas;
- resíduos de serviços de saúde.

Quanto ao metal pesado, termo coletivo dado para um grupo de metais e metalóides que apresenta densidade atômica maior que 6 g.cm^{-3} , vem sendo utilizado para designar alguns elementos tais como: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn, que estão associados aos problemas de poluição e toxicidade (ALLOWAY & AYRES, 1997).

Os metais pesados são utilizados nas indústrias eletrônicas, maquinários e outros utensílios da vida cotidiana. Sua ocorrência nos resíduos está correlacionada às principais fontes, como baterias (inclusive de telefones celulares), pilhas e equipamentos eletrônicos em geral (Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg), pigmentos e tintas (Pb, Cr, As, Se, Mo, Cd, Ba, Zn, Co e Ti), papel (Pb, Cd, Zn, Cr, Ba), lâmpadas fluorescentes (Hg), remédios (As, Bi, Sb, Se, Ba, Ta, Li, Pt), dentre outros.

A avaliação do risco ambiental é uma ferramenta metodológica essencial para a execução de uma política de "saúde ambiental", sendo apropriada para auxiliar a gestão do risco e subsidiar os órgãos reguladores na tomada de decisões (SCHNEIDER, 2004).

De acordo com a RDC ANVISA nº 306 (Brasil, 2004) e Resolução CONAMA nº 358 (Brasil, 2005), os resíduos de serviços de saúde são classificados em cinco grupos: A, B, C, D e E.

- **Grupo A** - engloba os componentes com possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção. Exemplos: placas e lâminas de laboratório, carcaças, peças anatômicas (membros), tecidos, bolsas transfusionais contendo sangue, dentre outras;
- **Grupo B** - contém substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade,

corrosividade, reatividade e toxicidade. Ex: medicamentos apreendidos, reagentes de laboratório, resíduos contendo metais pesados, dentre outros;

- **Grupo C** - quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, como, por exemplo, serviços de medicina nuclear e radioterapia etc;
- **Grupo D** - não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares. Ex: sobras de alimentos e do preparo de alimentos, resíduos das áreas administrativas etc.;
- **Grupo E** - materiais perfuro-cortantes ou escarificantes, tais como lâminas de barbear, agulhas, ampolas de vidro, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas, espátulas e outros similares.

Pela RDC ANVISA nº 306 (Brasil, 2004), o tratamento consiste na aplicação de método, técnica ou processo que modifique as características dos riscos inerentes aos resíduos, reduzindo ou eliminando o risco de contaminação, de acidentes ocupacionais ou de danos ao meio ambiente.

As formas de disposição final dos resíduos atualmente utilizadas são: aterro sanitário, aterro de resíduos perigosos classe I (para resíduos industriais), aterro controlado, lixão ou vazadouro e valas sépticas.

O LAQUA (Laboratório de Qualidade Ambiental) da UFMS atende aos cursos de graduação (Engenharia Ambiental) e Pós-Graduação (Mestrado e Doutorado) em Tecnologias Ambientais, em ensino, pesquisa e extensão, nas análises de água, solo, sedimento, de parâmetros físicos, físico-químicos e bacteriológicos, utilizando metodologias validadas para suas análises. Não tendo como objetivo principal a validação da técnica analítica, mas sendo um laboratório de ensino e pesquisa gera compostos tóxicos e vem tratando seus resíduos e dispondo-os corretamente.

3.5 GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

A gestão e o gerenciamento consistem de princípios doutrinários que conformam as aspirações sociais e/ou governamentais no que concerne à regulamentação ou modificação no uso, controle, proteção e conservação do ambiente. Uma estratégia ambiental adequada, expressa através de uma política de resíduos, é o marco inicial para que as empresas considerem os aspectos ambientais das duas operações.

O gerenciamento é o conjunto de ações destinado a regular o uso, controle proteção e conservação do meio, e a avaliar a conformidade da situação corrente com os princípios doutrinários estabelecidos pela política ambiental. É parte integrante da gestão.

Segundo Jardim (1998) um programa de gestão de resíduos exige mudança de atitude, requer realimentação contínua com resultados a médio e longo prazo. É muito importante que o programa seja bem equacionado, discutido e assimilado por todos que serão responsáveis pela manutenção e o sucesso do mesmo. Acrescenta que as condições básicas para sustentar um programa de gestão de resíduos são: o apoio institucional irrestrito ao Programa; prioridade ao lado humano frente ao tecnológico; divulgação de metas para cada fase do programa; reavaliação contínua de resultados e metas estabelecidas.

As etapas de implementação do programa e gestão inicia-se pela caracterização dos tipos de resíduos, dentro de duas categorias, ativos e passivos. Os resíduos ativos, são os gerados continuamente fruto das atividades rotineiras dentro da unidade geradora e os resíduos do passivo, compreendendo todo aquele estocado, via de regra não-caracterizado, aguardando destinação final (JARDIM, 1998).

Independente das atividades geradoras de resíduo, ensino ou pesquisa, um programa de gestão deve adotar a regra da responsabilidade objetiva, ou seja, quem gerou o resíduo é responsável pelo mesmo, e conforme Jardim (1998) executar as seguintes diretrizes:

- 1) Prevenção na geração dos resíduos seja perigoso ou não;
- 2) Minimizar a quantidade dos resíduos perigosos que são inevitavelmente gerados;
- 3) Segregar e concentrar correntes de resíduos para tornar viável e economicamente possível o gerenciamento;
- 4) Reuso;
- 5) Reciclagem;
- 6) Manter os resíduos produzidos na forma mais passível de tratamento;
- 7) Tratar e dispor o resíduo de maneira segura.

Os conteúdos da série ISO 14000 estão relacionados diretamente a implantação de técnicas que reduzem os processos de deterioração ambiental. No caso de laboratórios químicos de análises e pesquisas o principal potencial que pode gerar impacto ambiental é a geração de resíduos líquidos oriundos do processamento da amostra analisada e os insumos usados para obter os resultados analíticos. Segundo Gil *et al.* (2007), com as determinações desta norma pode-se estabelecer procedimentos de levantamento, armazenamento, recuperação e disponibilização dos dados oriundos da quantificação dos resíduos gerados

favorecendo, desta forma, a prevenção de impactos ambientais de caráter compartimental e não-compartimental, tais como contaminações do solo, ar, água, flora e fauna.

Segundo Rocca *et al.* (1993), o gerenciamento de resíduos é uma prática que consiste em controlar o potencial de impactos ambientais dos resíduos gerados de uma determinada atividade. Esta atividade é considerada com uma prática de Produção Mais Limpa (P+L) na medida em que o gerenciamento de resíduos estabelece formas de minimizar a geração de resíduos, ou até mesmo de buscar alternativas para destinação final.

4. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados em escala de bancada, no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Os efluentes líquidos utilizados foram gerados em análises de determinação de metais em espectrofotômetro de absorção atômica (EAA), do LAQUA.

O estudo foi desenvolvido para efluentes contendo metais, utilizando quatro tratamentos: precipitação seletiva, precipitação com adição de coagulante, precipitação com adição de coagulante mais adsorção por carvão ativado e tratamento por carvão ativado. Com o objetivo de remover os seguintes metais: cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn) presentes no efluente.

Os padrões utilizados para as curvas de calibração foi a Tritisol, conforme os métodos analíticos apresentados na Tabela 4.1 (APHA, AWWA, WPCF, 2005).

Tabela 4.1 Métodos analíticos utilizados na determinação dos metais no EAA

| Parâmetros | Gás utilizado na composição da chama | Método |
|------------|--------------------------------------|------------|
| Cd total | ar / acetileno | 3111 B e C |
| Pb total | óxido nitroso / acetileno | 3111 B e C |
| Cu total | ar / acetileno | 3111 B e C |
| Cr total | óxido nitroso / acetileno | 3111 B e C |
| Ni total | ar / acetileno | 3111 B e C |
| Zn total | ar / acetileno | 3111 B e C |

Fonte: APHA, AWWA, WPCF, (2005).

Nos tratamentos para remoção dos metais, utilizou-se o sulfato de alumínio, da marca Reagen, como coagulante e o carvão ativado pó, com diâmetro menor que 200 mesh como adsorvente, da marca Hach.

Para o tratamento com precipitação seletiva, foi utilizado um volume de 150 mL de amostra e o pH foi ajustado com solução de hidróxido de sódio concentrado (NaOH, da marca Dinâmica Química Contemporânea Ltda.). O efeito de diluição foi considerado na correção dos volumes das amostras devido a adição da solução de NaOH.

A Tabela 4.2 apresenta o delineamento do experimento, dos tratamentos realizados neste estudo. O ensaio 1 foi o tratamento por precipitação seletiva, onde o efluente somente recebeu a adição de hidróxido de sódio, variando a faixa de pH de 2 a 11. Os ensaios 2, 3 e 4 os efluentes foram ajustados na faixa de pH de 6 a 11, com três concentrações de coagulante de 30 mg.L⁻¹, 50 mg.L⁻¹, 100 mg.L⁻¹. Os ensaios 5 e 6 foram realizados utilizando a melhor

dosagem obtida no experimento de precipitação, com massas diferentes de adsorvente. O ensaio 7 foi utilizado somente carvão ativado.

Tabela 4.2 – Tratamento em Função do pH, Coagulante e Adsorvente

| Ensaio | Faixa de pH | Coagulante | Adsorvente |
|----------|-------------|---|-------------------------|
| Ensaio 1 | 2 a 11 | - | - |
| Ensaio 2 | 6 a 11 | 30 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | - |
| Ensaio 3 | 6 a 11 | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | - |
| Ensaio 4 | 6 a 11 | 100 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | - |
| Ensaio 5 | 8 a 10 | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | 0,2 g de Carvão Ativado |
| Ensaio 6 | 8 a 10 | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | 2,0 g de Carvão Ativado |
| Ensaio 7 | 8 a 10 | - | 2,0 g de Carvão Ativado |

Os ensaios tiveram o seguinte procedimento: Ensaio 1 as amostras tiveram o pH ajustado e permaneceram 30 minutos em repouso, foram filtradas e preservadas para leitura no Absorção Atômica. Nos Ensaio 2, 3 e 4 as amostras tiveram o pH ajustado e foram misturadas ao coagulante, submetidas a 1 (um) minuto de agitação rápida, 30 (trinta) minutos de agitação lenta e um tempo mínimo de 30 (trinta) minutos para a decantação/sedimentação dos flocos. Após esse período, as amostras foram filtradas e preservadas para posterior leitura dos metais. Os Ensaio 5 e 6 foram executados da mesma forma que os Ensaio 2, 3 e 4, porém com tratamento adicional por adsorção com carvão ativado. O Ensaio 7 as amostras foram misturadas ao carvão ativado e filtradas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resíduo líquido gerado pela análise de metais pesados em Espectrômetria de Absorção Atômica apresenta-se como um líquido translúcido, isento de sólidos em suspensão, com um odor forte e com valor de pH próximo a 0,5, o que caracteriza um resíduo perigoso.

A Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) estabelece as condições de lançamento de efluentes onde o pH deve estar entre 5 a 9 e os padrões de lançamento de efluentes para parâmetros inorgânicos, com o valor máximo permitido, para os metais estudados conforme Tabela 5.1. Para o metal Cobre, o valor máximo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ na Tabela 5.1, refere-se ao Cobre dissolvido, porém, este estudo tratou o Cobre Total.

Tabela 5.1 – Lançamento de Efluentes – CONAMA 357 (2005)

| Padrões | |
|------------------------|----------------------------|
| Parâmetros Inorgânicos | Valor Máximo |
| Cádmio Total | $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ Cd |
| Chumbo total | $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ Pb |
| Cobre dissolvido | $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ Cu |
| Cromo total | $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ Cr |
| Níquel total | $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ Ni |
| Zinco total | $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ Zn |

A seguir serão analisados os resultados da remoção de cada metal estudado. O tratamento de precipitação seletiva foi executado em dez valores de pH, os tratamentos de precipitação com adição de coagulante os estudos foram realizados para seis valores de pH, os tratamentos de precipitação com adição de coagulante e remoção por carvão ativado, os estudos foram realizados para três valores de pH e na remoção por carvão ativado os estudos também foram realizados em três valores de pH.

CÁDMIO

A Tabela 5.2 apresenta os resultados de remoção do cádmio utilizando o tratamento de precipitação seletiva.

Tabela 5.2 – Precipitação Seletiva do Cádmi

| Ensaio 1 | | | |
|-----------------|------|--------------------------|----------|
| Amostra | pH | Cd (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,1781 | 0,00 |
| 2 | 2 | 0,1753 | 1,59 |
| 3 | 3 | 0,1762 | 1,05 |
| 4 | 4 | 0,1724 | 3,21 |
| 5 | 5 | 0,1733 | 2,72 |
| 6 | 6 | 0,1346 | 24,39 |
| 7 | 7 | 0,0497 | 72,09 |
| 8 | 8 | 0,0177 | 90,04 |
| 9 | 9 | 0,0086 | 95,18 |
| 10 | 10 | 0,0087 | 95,12 |
| 11 | 11 | 0,0071 | 96,02 |

A maior remoção do cádmio foi de 96,02% para pH 11, ficando com a concentração final de 0,0071 mg.L⁻¹.

A Tabela 5.3 apresenta os resultados obtidos para remoção do cádmio no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, em três concentrações diferentes de 30 mg.L⁻¹, 50 mg.L⁻¹, 100 mg.L⁻¹.

Tabela 5.3 – Precipitação com Adição de Coagulante do Cádmi

| Ensaio 2 | | | | Ensaio 3 | | | | Ensaio 4 | | | |
|--|------|--------------------------|----------|--|------|--------------------------|----------|---|------|--------------------------|----------|
| 30 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 100 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | |
| Amostra | pH | Cd (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Cd (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Cd (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,1781 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,1781 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,1781 | 0,00 |
| 2 | 6 | 0,0946 | 46,87 | 2 | 6 | 0,1612 | 9,51 | 2 | 6 | 0,1732 | 2,75 |
| 3 | 7 | 0,0713 | 59,99 | 3 | 7 | 0,1056 | 40,70 | 3 | 7 | 0,1457 | 18,18 |
| 4 | 8 | 0,0679 | 61,87 | 4 | 8 | 0,0351 | 80,29 | 4 | 8 | 0,0962 | 45,98 |
| 5 | 9 | 0,0121 | 93,19 | 5 | 9 | 0,0096 | 94,60 | 5 | 9 | 0,0060 | 96,63 |
| 6 | 10 | 0,0119 | 93,31 | 6 | 10 | 0,0066 | 96,28 | 6 | 10 | 0,0000 | 100,00 |
| 7 | 11 | 0,0109 | 93,89 | 7 | 11 | 0,0054 | 96,98 | 7 | 11 | 0,0000 | 100,00 |

A maior remoção do cádmio foi no Ensaio 4 com 100% em pH 10 e 11. Houve pouca diferença entre o tratamento por precipitação seletiva e o tratamento por adição de coagulante na remoção do cádmio.

A Tabela 5.4 apresenta os resultados obtidos para remoção do cádmio no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, na concentração de 50 mg.L⁻¹ e na adsorção através das concentrações de 0,2 g e 2,0 g de carvão ativado.

Tabela 5.4 – Precipitação com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado do Cádmio

| Ensaio 5 | | | | Ensaio 6 | | | |
|---|------|-----------------------------|-------------|---|------|-----------------------------|-------------|
| 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 0,2 g de Carvão Ativado | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Cd (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Cd (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,1781 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,1781 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,0069 | 96,11 | 2 | 8 | 0,0078 | 95,62 |
| 3 | 9 | 0,0033 | 98,14 | 3 | 9 | 0,0075 | 95,80 |
| 4 | 10 | 0,0030 | 98,31 | 4 | 10 | 0,0063 | 96,44 |

Nos Ensaios 5 e 6, apresentados na Tabela 5.4, o tratamento com adição de coagulante com o tratamento de adsorção teve uma máxima remoção de 98,31% e 96,44%, respectivamente, para o cádmio.

A Tabela 5.5 apresenta os resultados de remoção do cádmio com o tratamento de adsorção sobre carvão ativado em três pH's.

Tabela 5.5 – Tratamento sobre Carvão Ativado do Cádmio

| Ensaio 7 | | | |
|-------------------------|------|-----------------------------|-------------|
| 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Cd (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,1781 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,0907 | 49,09 |
| 3 | 9 | 0,0112 | 93,71 |
| 4 | 10 | 0,0139 | 92,21 |

O melhor resultado obtido no tratamento de adsorção foi 93,71% em pH 9. A remoção de cádmio no tratamento com carvão ativado não superou as remoções apresentadas nos tratamentos de precipitação seletiva, precipitação com adição de coagulante e no tratamento combinado de coagulante mais carvão ativado.

A Figura 5.1, apresenta a taxa de remoção do cádmio em função do pH, para os sete ensaios estudados.

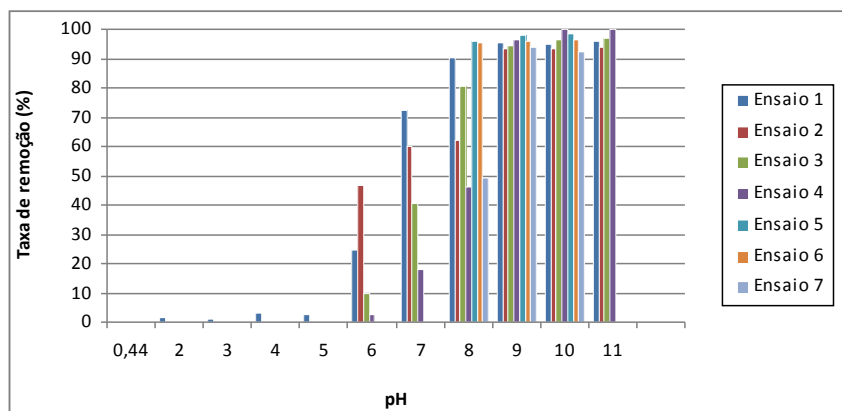


Figura 5.1 - Taxa de remoção do Cd em função do pH.

A Figura 5.1 apresenta a remoção de cádmio em todos os ensaios em função do pH. Observa-se que as melhores remoções são para pH 9, pH 10 e pH 11. Nessas condições, as concentrações de cádmio mantiveram-se em níveis inferiores ao valor máximo de descarte permitido, atendendo a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005) que é $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ Cd, mas antes do lançamento é necessário realizar a correção do pH.

CHUMBO

A Tabela 5.6 apresenta os resultados de remoção do chumbo utilizando o tratamento de precipitação seletiva.

Tabela 5.6 – Precipitação Seletiva do Chumbo

| Ensaio 1 | | | |
|-----------------|------|---------------------------|----------|
| Amostra | pH | Pb (mg.L^{-1}) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,3847 | 0,00 |
| 2 | 2 | 0,3809 | 0,98 |
| 3 | 3 | 0,3485 | 9,41 |
| 4 | 4 | 0,2901 | 24,58 |
| 5 | 5 | 0,1795 | 53,34 |
| 6 | 6 | 0,1474 | 61,67 |
| 7 | 7 | 0,1323 | 65,60 |
| 8 | 8 | 0,1206 | 68,64 |
| 9 | 9 | 0,1137 | 70,43 |
| 10 | 10 | 0,0976 | 74,63 |
| 11 | 11 | 0,1127 | 70,69 |

A maior remoção de chumbo foi de 74,63% em pH 10. Ficando com uma concentração final de $0,0976 \text{ mg.L}^{-1}$.

A Tabela 5.7 apresenta os resultados obtidos para remoção do chumbo no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, em três concentrações diferentes de 30 mg.L⁻¹, 50 mg.L⁻¹, 100 mg.L⁻¹.

Tabela 5.7 – Precipitação com Adição de Coagulante de Chumbo

| Ensaio 2 | | | | Ensaio 3 | | | | Ensaio 4 | | | |
|--|------|--------------------------|----------|--|------|--------------------------|----------|---|------|--------------------------|----------|
| 30 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 100 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | |
| Amostra | pH | Pb (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Pb (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Pb (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,3847 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,3847 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,3847 | 0,00 |
| 2 | 6 | 0,1305 | 66,08 | 2 | 6 | 0,1443 | 62,48 | 2 | 6 | 0,0569 | 85,19 |
| 3 | 7 | 0,1180 | 69,33 | 3 | 7 | 0,1261 | 67,22 | 3 | 7 | 0,0232 | 93,96 |
| 4 | 8 | 0,1237 | 67,85 | 4 | 8 | 0,1488 | 61,32 | 4 | 8 | 0,0071 | 98,14 |
| 5 | 9 | 0,1277 | 66,79 | 5 | 9 | 0,1316 | 65,78 | 5 | 9 | 0,0000 | 100,00 |
| 6 | 10 | 0,1351 | 64,88 | 6 | 10 | 0,1023 | 73,40 | 6 | 10 | 0,0000 | 100,00 |
| 7 | 11 | 0,1435 | 62,70 | 7 | 11 | 0,0877 | 77,19 | 7 | 11 | 0,0223 | 94,19 |

A maior remoção do chumbo foi no Ensaio 4 com 100% em pH 9 e 10. Houve pouca diferença entre o tratamento por precipitação seletiva e o tratamento por adição de coagulante na remoção do chumbo.

A Tabela 5.8 apresenta os resultados obtidos para remoção do chumbo no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, na concentração de 50 mg.L⁻¹ e na adsorção através das concentrações de 0,2 g e 2,0 g de carvão ativado.

Tabela 5.8 – Precipitação com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado de Chumbo

| Ensaio 5 | | | | Ensaio 6 | | | |
|---|------|--------------------------|----------|---|------|--------------------------|----------|
| 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 0,2 g de Carvão Ativado | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Pb (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Pb (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,3847 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,3847 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,1718 | 55,33 | 2 | 8 | 0,1254 | 67,40 |
| 3 | 9 | 0,1609 | 58,17 | 3 | 9 | 0,1203 | 68,72 |
| 4 | 10 | 0,1767 | 54,06 | 4 | 10 | 0,1257 | 67,33 |

Nos Ensaios 5 e 6, apresentados na Tabela 5.8, a associação de coagulante com o adsorvente removeu 58,17% e 68,72% de chumbo respectivamente. Porém, no Ensaio 6 em que a dosagem de carvão ativado foi maior, 2,0 g, os resultados foram melhores, chegando a 68,72% em pH 9. No tratamento de precipitação com adição de coagulante mais tratamento

com adsorvente para remoção do chumbo, as remoções não foram superiores as obtidas na precipitação seletiva e na precipitação com adição de coagulante.

A Tabela 5.9 apresenta os resultados de remoção do chumbo com o tratamento de adsorção sobre carvão ativado.

Tabela 5.9 – Tratamento sobre Carvão Ativado do Chumbo

| Ensaio 7 | | | |
|-------------------------|------|--------------------------|----------|
| 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Pb (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,3847 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,2132 | 44,58 |
| 3 | 9 | 0,2105 | 45,28 |
| 4 | 10 | 0,0030 | 98,31 |

No Ensaio 7 como mostra a Tabela 5.9, a melhor remoção de chumbo foi de 98,31% em pH 10. O pH influenciou no resultado deste ensaio, a remoção de chumbo obtida superou os resultados apresentados nos tratamentos de precipitação seletiva e no tratamento com coagulante mais carvão ativado.

A Figura 5.2, apresenta a taxa de remoção do chumbo em função do pH, para os sete ensaios estudados.

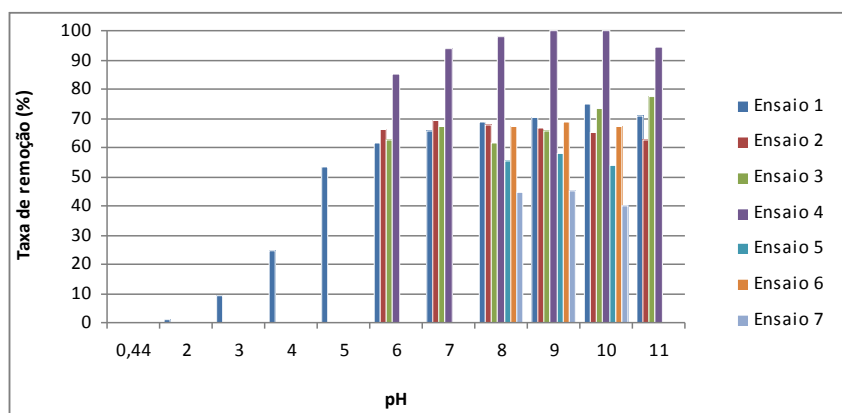


Figura 5.2 - Taxa de remoção do Pb em função do pH.

A Figura 5.2 apresenta que, a concentração chumbo na solução, nos ensaios 1, 2 e 4, diminui até um certo valor de pH e, em seguida, aumenta. O Ensaio 4 atingiu 100% de remoção nas faixas de pH 9 e 10. A dosagem de 100 mg.L⁻¹ de Sulfato de Alumínio foi significativa para a obtenção do resultado. Mesmo assim, as concentrações de chumbo

mantiveram-se em níveis inferiores aos limites de descarte permitidos, $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ Pb, atendendo a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005), porém, necessita de correção do pH para o lançamento.

Alves (2007) aplicou o carvão ativado como adsorvente na recuperação do chumbo em efluentes líquidos sintéticos, através de ensaios cinéticos em batelada, os resultados mostraram que a concentração do metal e o pH do efluente têm influência na capacidade de adsorção do metal pelo carvão ativado. As eficiências obtidas para a remoção do chumbo foram acima de 90%, indicando que esta técnica é adequada para o tratamento deste metal nas condições estudadas.

COBRE

A Tabela 5.10 apresenta os resultados de remoção do cobre utilizando o tratamento de precipitação seletiva.

Tabela 5.10 – Precipitação Seletiva do Cobre

| Ensaio 1 | | | |
|-----------------|------|------------------------------|-------------|
| Amostra | pH | Cu (mg.L^{-1}) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,4400 | 0,00 |
| 2 | 2 | 0,4384 | 0,36 |
| 3 | 3 | 0,4395 | 0,12 |
| 4 | 4 | 0,4171 | 5,21 |
| 5 | 5 | 0,3333 | 24,25 |
| 6 | 6 | 0,3141 | 28,60 |
| 7 | 7 | 0,3066 | 30,31 |
| 8 | 8 | 0,2870 | 34,77 |
| 9 | 9 | 0,2739 | 37,75 |
| 10 | 10 | 0,2640 | 40,00 |
| 11 | 11 | 0,1654 | 62,41 |

A maior remoção de cobre foi de 62,41% em pH 11. Ficando com uma concentração final de $0,1654 \text{ mg.L}^{-1}$.

A Tabela 5.11 apresenta os resultados obtidos para remoção do cobre no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, em três concentrações diferentes de 30 mg.L^{-1} , 50 mg.L^{-1} , 100 mg.L^{-1} .

Tabela 5.11 – Precipitação com Adição de Coagulante do Cobre

| Ensaio 2 | | | | Ensaio 3 | | | | Ensaio 4 | | | |
|--|------|--------------------------|----------|--|------|--------------------------|----------|---|------|--------------------------|----------|
| 30 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 100 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | |
| Amostra | pH | Cu (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Cu (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Cu (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,4400 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,4400 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,4400 | 0,00 |
| 2 | 6 | 0,3071 | 30,20 | 2 | 6 | 0,2728 | 38,00 | 2 | 6 | 0,2862 | 34,94 |
| 3 | 7 | 0,2923 | 33,57 | 3 | 7 | 0,2720 | 38,18 | 3 | 7 | 0,2893 | 34,24 |
| 4 | 8 | 0,2987 | 32,12 | 4 | 8 | 0,2763 | 37,21 | 4 | 8 | 0,2807 | 36,20 |
| 5 | 9 | 0,3060 | 30,45 | 5 | 9 | 0,2485 | 43,51 | 5 | 9 | 0,2769 | 37,06 |
| 6 | 10 | 0,2981 | 32,25 | 6 | 10 | 0,2237 | 49,15 | 6 | 10 | 0,2578 | 41,40 |
| 7 | 11 | 0,2346 | 46,68 | 7 | 11 | 0,2056 | 53,26 | 7 | 11 | 0,1850 | 57,96 |

A maior remoção do cobre foi no Ensaio 4 com 57,96% em pH 11. Houve pouca diferença entre o tratamento por precipitação seletiva e o tratamento por adição de coagulante na remoção do cádmio.

A Tabela 5.12 apresenta os resultados obtidos para remoção do cádmio no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, na concentração de 50 mg.L⁻¹ e na adsorção através das concentrações de 0,2 g e 2,0 g de carvão ativado, respectivamente.

Tabela 5.12 – Precipitação com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado do Cobre

| Ensaio 5 | | | | Ensaio 6 | | | |
|---|------|--------------------------|----------|---|------|--------------------------|----------|
| 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 0,2 g de Carvão Ativado | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Cu (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Cu (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,4400 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,4400 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,0041 | 99,06 | 2 | 8 | 0,0000 | 100,00 |
| 3 | 9 | 0,0072 | 98,35 | 3 | 9 | 0,0000 | 100,00 |
| 4 | 10 | 0,0031 | 99,29 | 4 | 10 | 0,0000 | 100,00 |

Nos Ensaios 5 e 6, apresentados na Tabela 5.12, a associação de coagulante com o adsorvente removeu 99,29% e 100% do cobre, respectivamente. A remoção do cobre no tratamento de precipitação com adição de coagulante mais tratamento sobre carvão ativado os resultados foram muito melhores que os tratamentos de precipitação seletiva e precipitação com adição de coagulante.

A Tabela 5.13 apresenta os resultados de remoção do cobre com o tratamento de adsorção sobre carvão ativado.

Tabela 5.13 – Tratamento sobre Carvão Ativado do Cobre

| Ensaio 7 | | | |
|-------------------------|------|--------------------------|----------|
| 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Cu (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,4400 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,0000 | 100,00 |
| 3 | 9 | 0,0000 | 100,00 |
| 4 | 10 | 0,0000 | 100,00 |

No Ensaio 7 em que foi utilizado o carvão ativado para remoção do cobre, como mostra a Tabela 5.9, os resultados foram de 100%. O resultado obtido neste ensaio superou os resultados apresentados no tratamento de precipitação seletiva e no tratamento com adição de coagulante.

A Figura 5.3, apresenta a taxa de remoção do cobre em função do pH, para os sete ensaios estudados.

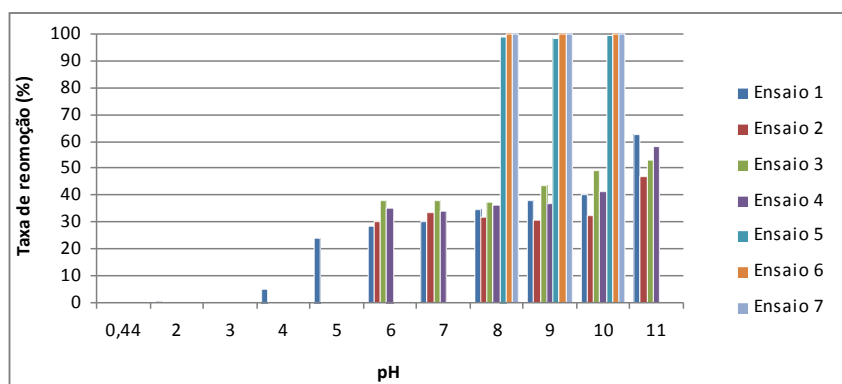


Figura 5.3 - Taxa de remoção do Cu em função do pH.

Analisando a Figura 5.3 observa-se que, a concentração do Cobre na solução, diminui progressivamente, a medida que o pH aumenta. Para valores de pH acima de 8, nos Ensaios 1, 2, 3 e 4 conseguiu-se uma eficiência razoável na remoção deste metal e um ótimo rendimento nos Ensaios 5, 6 e 7. De fato, as melhores remoções foram obtidas nos Ensaios 5 e 6, com a aplicação do coagulante (sulfato de alumínio) mais tratamento com o adsorvente (carvão ativado) e no Ensaio 7 com a aplicação única de carvão ativado.

Alves (2007) aplicou o carvão ativado como adsorvente na recuperação do cobre em efluentes líquidos sintéticos, através de ensaios cinéticos em batelada. Os resultados mostraram que a concentração do metal e o pH do efluente têm influência na capacidade de

adsorção do metal pelo carvão ativado. As eficiências obtidas para a remoção do cobre foram valores acima de 90%, indicando que esta técnica é adequada para o tratamento deste metal nas condições estudadas.

CROMO

A Tabela 5.14 apresenta os resultados de remoção do cromo utilizando o tratamento de precipitação seletiva.

Tabela 5.14 – Precipitação Seletiva do Cromo

| Ensaio 1 | | | |
|-----------------|------|--------------------------|----------|
| Amostra | pH | Cr (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 6,7413 | 0,00 |
| 2 | 2 | 6,6498 | 1,35 |
| 3 | 3 | 6,5063 | 3,48 |
| 4 | 4 | 5,8982 | 12,50 |
| 5 | 5 | 1,7347 | 74,26 |
| 6 | 6 | 0,0000 | 100,00 |
| 7 | 7 | 0,0000 | 100,00 |
| 8 | 8 | 0,0000 | 100,00 |
| 9 | 9 | 0,0000 | 100,00 |
| 10 | 10 | 0,0000 | 100,00 |
| 11 | 11 | 0,0000 | 100,00 |

Na precipitação seletiva ocorreu 100% de remoção do cromo em pH de 6 a 11. Em pH abaixo de 6 as concentrações ficaram altas.

A Tabela 5.15 apresenta os resultados obtidos para remoção do cromo no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, em três concentrações diferentes de 30 mg.L⁻¹, 50 mg.L⁻¹, 100 mg.L⁻¹.

Tabela 5.15 – Precipitação com Adição de Coagulante do Cromo

| Ensaio 2 | | | | Ensaio 3 | | | | Ensaio 4 | | | |
|--|------|--------------------------|----------|--|------|--------------------------|----------|---|------|--------------------------|----------|
| 30 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 100 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | |
| Amostra | pH | Cr (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Cr (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Cr (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 6,7413 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 6,7413 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 6,7413 | 0,00 |
| 2 | 6 | 0,0000 | 100,00 | 2 | 6 | 0,4580 | 93,20 | 2 | 6 | 1,0145 | 84,95 |
| 3 | 7 | 0,0000 | 100,00 | 3 | 7 | 0,1213 | 98,20 | 3 | 7 | 0,1365 | 97,97 |
| 4 | 8 | 0,0000 | 100,00 | 4 | 8 | 0,0684 | 98,98 | 4 | 8 | 0,0469 | 99,30 |
| 5 | 9 | 0,0000 | 100,00 | 5 | 9 | 0,0440 | 99,34 | 5 | 9 | 0,0006 | 99,99 |
| 6 | 10 | 0,0000 | 100,00 | 6 | 10 | 0,0203 | 99,69 | 6 | 10 | 0,0000 | 100,00 |
| 7 | 11 | 0,0000 | 100,00 | 7 | 11 | 0,0179 | 99,73 | 7 | 11 | 0,0000 | 100,00 |

A maior remoção de cromo foi 100% em várias faixas de pH, como é apresentado na Tabela 5.15. Em pH 6 a melhor remoção de cromo foi 93,20%, ficando com uma concentração final de 0,4580 mg. L⁻¹.

A Tabela 5.16 apresenta os resultados obtidos para remoção do cromo no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, na concentração de 50 mg.L⁻¹ e na adsorção através das concentrações de 0,2 g e 2,0 g de carvão ativado, respectivamente.

Tabela 5.16 – Precipitação com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado do Cromo

| Ensaio 5 | | | | Ensaio 6 | | | |
|---|------|--------------------------|----------|---|------|--------------------------|----------|
| 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 0,2 g de Carvão Ativado | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Cr (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Cr (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 6,7413 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 6,7413 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,0000 | 100,00 | 2 | 8 | 0,0000 | 100,00 |
| 3 | 9 | 0,0000 | 100,00 | 3 | 9 | 0,0000 | 100,00 |
| 4 | 10 | 0,0000 | 100,00 | 4 | 10 | 0,0000 | 100,00 |

Nos Ensaios 5 e 6, apresentados na Tabela 5.16, a associação de coagulante com o adsorvente removeu 100% do cromo. Não houve diferença nos resultados de remoção obtidos nos tratamentos de precipitação seletiva, precipitação com adição de coagulante e no tratamento de precipitação com adição de coagulante mais tratamento com carvão ativado.

A Tabela 5.17 apresenta os resultados de remoção do cromo com o tratamento de adsorção sobre carvão ativado.

Tabela 5.17 – Tratamento sobre Carvão Ativado do Cromo

| Ensaio 7 | | | |
|-------------------------|------|--------------------------|----------|
| 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Cr (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 6,7413 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,0000 | 100,00 |
| 3 | 9 | 0,0000 | 100,00 |
| 4 | 10 | 0,0000 | 100,00 |

No Ensaio 7 em que foi utilizado o carvão ativado para remoção do chumbo, como mostra a Tabela 5.17, os resultados foram de 100%. Os resultados obtidos no Ensaio 7, se iguala aos resultados apresentados nos tratamentos de precipitação seletiva, precipitação com

adição de coagulante e no tratamento de precipitação com adição de coagulante mais tratamento com carvão ativado.

A Figura 5.4, apresenta a taxa de remoção do cromo em função do pH, para os sete ensaios estudados.

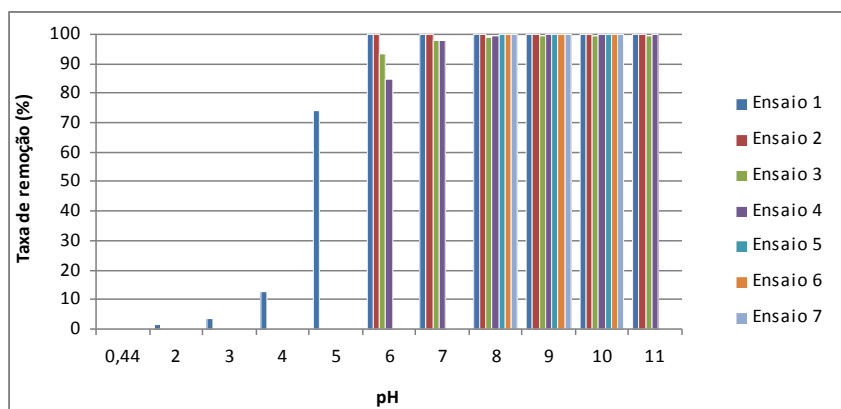


Figura 5.4 - Taxa de remoção do Cr em função do pH.

Analisando a Figura 5.4 a remoção do cromo foi eficiente em todos os tratamentos com faixa de pH entre 6 e 11 consideradas ótimas atingindo 100%. A associação do coagulante e do adsorvente foram eficazes em todas as faixas de pH estudadas e a aplicação única de carvão ativado no Ensaio 7 teve 100% de remoção, mostrando a eficiência do adsorvente. Para valores de pH inferiores de 5, as concentrações de cromo, mantiveram-se acima do valor máximo permitido para descarte, $0,5 \text{ mg.L}^{-1} \text{ Cr}$. Porém, em pH superiores a 5, as concentrações de cromo atenderam a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005).

No trabalho de Giovannini (2007), os resultados evidenciaram que o melhor intervalo de pH para precipitação química situa-se entre 10 e 11 às condições da precipitação química do cromo.

NÍQUEL

A Tabela 5.18 apresenta os resultados de remoção do níquel utilizando o tratamento de precipitação seletiva.

Tabela 5.18 – Precipitação Seletiva do Níquel

| Ensaio 1 | | | |
|-----------------|------|--------------------------|----------|
| Amostra | pH | Ni (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,5210 | 0,00 |
| 2 | 2 | 0,5003 | 3,97 |
| 3 | 3 | 0,4736 | 9,09 |
| 4 | 4 | 0,4601 | 11,68 |
| 5 | 5 | 0,3784 | 27,37 |
| 6 | 6 | 0,3052 | 41,42 |
| 7 | 7 | 0,2044 | 60,76 |
| 8 | 8 | 0,0338 | 93,50 |
| 9 | 9 | 0,0000 | 100,00 |
| 10 | 10 | 0,0000 | 100,00 |
| 11 | 11 | 0,0000 | 100,00 |

As maiores remoções de níquel foram de 100% em pH 9, pH 10 e pH 11. Em pH menores que 8, as concentrações que ficaram foram altas.

A Tabela 5.19 apresenta os resultados obtidos para remoção do níquel no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, em três concentrações diferentes de 30 mg.L⁻¹, 50 mg.L⁻¹, 100 mg.L⁻¹.

Tabela 5.19 – Precipitação com Adição de Coagulante do Níquel

| Ensaio 2 | | | | Ensaio 3 | | | | Ensaio 4 | | | |
|--|------|--------------------------|----------|--|------|--------------------------|----------|---|------|--------------------------|----------|
| 30 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 100 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | |
| Amostra | pH | Ni (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Ni (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Ni (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,5210 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,5210 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,5210 | 0,00 |
| 2 | 6 | 0,2571 | 50,65 | 2 | 6 | 0,2662 | 48,90 | 2 | 6 | 0,2129 | 59,14 |
| 3 | 7 | 0,2005 | 61,50 | 3 | 7 | 0,2251 | 56,80 | 3 | 7 | 0,1998 | 61,65 |
| 4 | 8 | 0,1738 | 66,63 | 4 | 8 | 0,0331 | 93,65 | 4 | 8 | 0,1354 | 74,01 |
| 5 | 9 | 0,0000 | 100,00 | 5 | 9 | 0,0000 | 100,00 | 5 | 9 | 0,1271 | 75,60 |
| 6 | 10 | 0,0000 | 100,00 | 6 | 10 | 0,0000 | 100,00 | 6 | 10 | 0,0979 | 81,20 |
| 7 | 11 | 0,0000 | 100,00 | 7 | 11 | 0,0000 | 100,00 | 7 | 11 | 0,0682 | 86,90 |

A maior remoção de níquel foi 100% nas faixas de pH entre 9 a 11, como é apresentado na Tabela 5.19. No Ensaio 4 a melhor remoção do níquel foi em pH 11 com 86,90%, ficando com uma concentração final de 0,0682 mg. L⁻¹.

A Tabela 5.20 apresenta os resultados obtidos para remoção do níquel no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, na concentração de 50 mg.L⁻¹ e na adsorção através das concentrações de 0,2 g e 2,0 g de carvão ativado respectivamente.

Tabela 5.20 – Precipitação com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado do Níquel

| Ensaio 5 | | | | Ensaio 6 | | | |
|---|------|-----------------------------|-------------|---|------|-----------------------------|-------------|
| 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 0,2 g de Carvão Ativado | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Ni (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Ni (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,5210 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,5210 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,0865 | 83,39 | 2 | 8 | 0,0000 | 100,00 |
| 3 | 9 | 0,0513 | 90,15 | 3 | 9 | 0,0000 | 100,00 |
| 4 | 10 | 0,0248 | 95,23 | 4 | 10 | 0,0000 | 100,00 |

Nos Ensaios 5 e 6, apresentados na Tabela 5.20, a associação de coagulante com o adsorvente removeu entre 83 e 100% do níquel. No Ensaio 5 em que a dosagem de carvão ativado foi menor, 0,2 g, os resultados também foram menores, alcançando o máximo de 95,23% em pH 10, ficando uma concentração final de 0,0248 mg.L⁻¹.

A Tabela 5.21 apresenta os resultados de remoção do níquel com o tratamento de adsorção sobre carvão ativado.

Tabela 5.21 – Remoção por Carvão Ativado do Níquel

| Ensaio 7 | | | |
|-------------------------|------|-----------------------------|-------------|
| 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Ni (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,5210 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,0338 | 93,50 |
| 3 | 9 | 0,0000 | 100,00 |
| 4 | 10 | 0,0000 | 100,00 |

No Ensaio 7 em que foi utilizado o carvão ativado para remoção do níquel, como mostra a Tabela 5.21, os maiores resultados foram de 100%. Os resultados obtidos no Ensaio 7, se iguala aos resultados obtidos nos tratamentos de precipitação seletiva, precipitação com adição de coagulante e no tratamento de precipitação com adição de coagulante mais tratamento com carvão ativado.

A Figura 5.5, apresenta a taxa de remoção do níquel em função do pH, para os sete ensaios estudados.

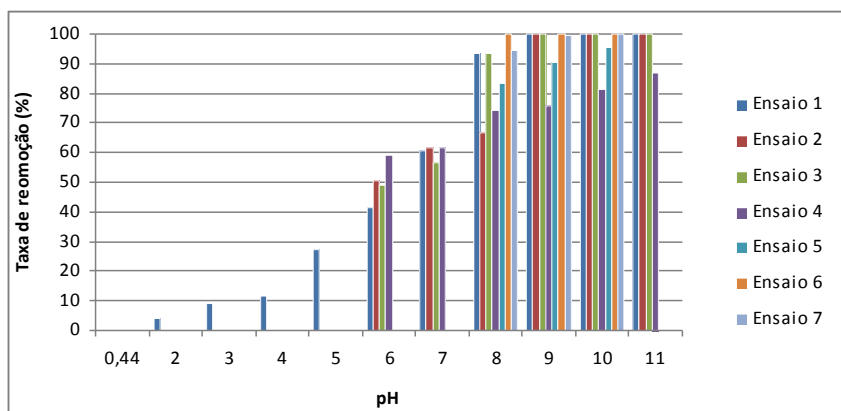


Figura 5.5 - Taxa de remoção do Ni em função do pH.

Analisando a Figura 5.5, a concentração do níquel na solução diminuiu progressivamente, a medida que o pH aumenta. Para valores de pH acima de 8, os Ensaios 1, 2, 3, 6 e 7 apresentaram uma melhor resposta em nível de remoção. Os Ensaios 4 e 5 a remoção variou entre 75 a 95%. Nessas condições, as concentrações de níquel mantiveram-se em níveis inferiores ao valor máximo permitido para descarte de $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ Ni, atendendo a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005).

ZINCO

A Tabela 5.22 apresenta os resultados de remoção do zinco utilizando o tratamento de precipitação seletiva.

Tabela 5.22 – Precipitação Seletiva do Zinco

| Ensaio 1 | | | |
|-----------------|------|------------------------------|-------------|
| Amostra | pH | Zn (mg.L^{-1}) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,5080 | 0,00 |
| 2 | 2 | 0,4378 | 13,82 |
| 3 | 3 | 0,4351 | 14,35 |
| 4 | 4 | 0,4327 | 14,82 |
| 5 | 5 | 0,4247 | 16,39 |
| 6 | 6 | 0,2712 | 46,61 |
| 7 | 7 | 0,1326 | 73,90 |
| 8 | 8 | 0,1143 | 77,50 |
| 9 | 9 | 0,0993 | 80,44 |
| 10 | 10 | 0,0950 | 81,29 |
| 11 | 11 | 0,0921 | 81,87 |

A maior remoção de zinco foi de 81,87% em pH 11. Ficando com uma concentração final de 0,0921 mg.L⁻¹.

A Tabela 5.23 apresenta os resultados obtidos para remoção do zinco no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, em três concentrações diferentes de 30 mg.L⁻¹, 50 mg.L⁻¹, 100 mg.L⁻¹.

Tabela 5.23 – Precipitação com Adição de Coagulante do Zinco

| Ensaio 2 | | | | Ensaio 3 | | | | Ensaio 4 | | | |
|--|------|--------------------------|----------|--|------|--------------------------|----------|---|------|--------------------------|----------|
| 30 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | | 100 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ | | | |
| Amostra | pH | Zn (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Zn (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Zn (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,5080 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,5080 | 0,0000 | Amostra inicial | 0,44 | 0,5080 | 0,00 |
| 2 | 6 | 0,1854 | 63,50 | 2 | 6 | 0,3500 | 31,09 | 2 | 6 | 0,5040 | 0,78 |
| 3 | 7 | 0,1703 | 66,46 | 3 | 7 | 0,1761 | 65,33 | 3 | 7 | 0,2616 | 48,51 |
| 4 | 8 | 0,1497 | 70,53 | 4 | 8 | 0,1239 | 75,60 | 4 | 8 | 0,1792 | 64,72 |
| 5 | 9 | 0,1093 | 78,49 | 5 | 9 | 0,1165 | 77,07 | 5 | 9 | 0,1090 | 78,54 |
| 6 | 10 | 0,0873 | 82,82 | 6 | 10 | 0,0932 | 81,65 | 6 | 10 | 0,1071 | 78,90 |
| 7 | 11 | 0,0849 | 83,29 | 7 | 11 | 0,0899 | 82,30 | 7 | 11 | 0,0991 | 80,49 |

A maior remoção de zinco foi 83,29% em pH 11, ficando com uma concentração final de 0,0849 mg.L⁻¹. Houve pouca diferença entre o tratamento por precipitação seletiva e o tratamento por adição de coagulante para remoção do zinco.

A Tabela 5.24 apresenta os resultados obtidos para remoção do zinco no tratamento por adição de sulfato de alumínio como coagulante, na concentração de 50 mg.L⁻¹ e na adsorção através das concentrações de 0,2 g e 2,0 g de carvão ativado, respectivamente.

Tabela 5.24 – Precipitação com Adição de Coagulante e Tratamento sobre Carvão Ativado do Zinco

| Ensaio 5 | | | | Ensaio 6 | | | |
|---|------|--------------------------|----------|---|------|--------------------------|----------|
| 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 0,2 g de Carvão Ativado | | | | 50 mg.L ⁻¹ de Al ₂ (SO ₄) ₃ 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Zn (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) | Amostra | pH | Zn (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,5080 | 0,00 | Amostra inicial | 0,44 | 0,5080 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,2024 | 60,15 | 2 | 8 | 0,1505 | 70,36 |
| 3 | 9 | 0,1984 | 60,94 | 3 | 9 | 0,1545 | 69,59 |
| 4 | 10 | 0,1876 | 63,08 | 4 | 10 | 0,1415 | 72,15 |

Nos Ensaios 5 e 6, apresentados na Tabela 5.24, a associação de coagulante com o adsorvente removeu 63,08% e 72,15% respectivamente da concentração de zinco. A melhor

remoção foi de 72,15% em pH 10, ficando uma concentração final de 0,1415 mg.L⁻¹. O tratamento de precipitação seletiva com adição de coagulante mais tratamento com adsorvente apresentou resultados inferiores aos dos tratamentos de precipitação seletiva e precipitação com adição de coagulante na remoção do zinco.

A Tabela 5.25 apresenta os resultados de remoção do zinco com o tratamento de adsorção sobre carvão ativado.

Tabela 5.25 – Tratamento sobre Carvão Ativado do Zinco

| Ensaio 7 | | | |
|-------------------------|------|--------------------------|----------|
| 2,0 g de Carvão Ativado | | | |
| Amostra | pH | Zn (mg.L ⁻¹) | Rem. (%) |
| Amostra inicial | 0,44 | 0,5080 | 0,00 |
| 2 | 8 | 0,1752 | 65,51 |
| 3 | 9 | 0,1535 | 69,79 |
| 4 | 10 | 0,1555 | 69,39 |

No Ensaio 7 em que foi utilizado o carvão ativado para remoção do zinco, como mostra a Tabela 5.25, o maior resultado foi de 69,79% em pH 9. Ficando com concentração final de 0,1535 mg.L⁻¹. Os resultados obtidos no Ensaio 7, não foram superiores aos resultados obtidos nos tratamentos de precipitação seletiva, precipitação com adição de coagulante e no tratamento de precipitação com adição de coagulante mais tratamento com carvão ativado.

A Figura 5.6, apresenta a taxa de remoção do zinco em função do pH, para os sete ensaios estudados.

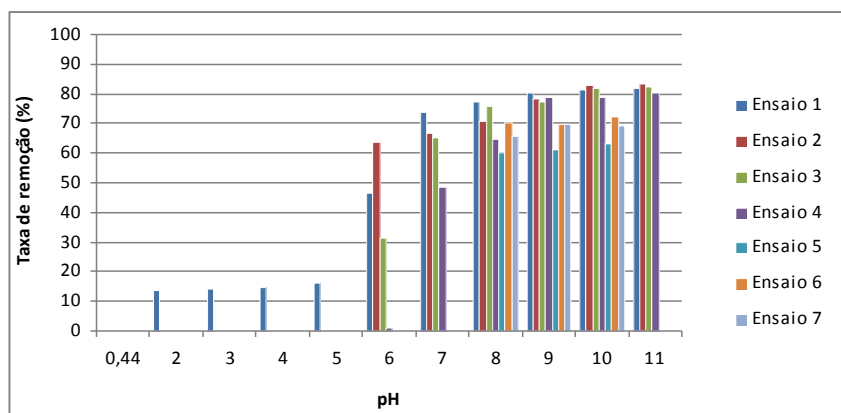


Figura 5.6 - Taxa de remoção do Zn em função do pH.

Na Figura 5.6 pode ser visto que os melhores resultados na remoção de zinco ocorreram em pH 10 com 82,82% e pH 11 com 83,30%. Estas remoções foram obtidas no tratamento de precipitação com adição de coagulante, Ensaios 2 e 3. A aplicação combinada (coagulante e adsorvente) ou remoção por carvão ativado, não demonstraram grandes resultados no percentual de remoção do zinco. Ainda assim, as concentrações de Zn, mantiveram-se em níveis inferiores ao valor máximo permitido, 5,0 mg.L⁻¹ Zn, atendendo a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005), no entanto para o lançamento o pH deverá ser ajustado.

Os tratamentos de precipitação seletiva, precipitação com adição de coagulante, precipitação com adição de coagulante mais tratamento com adsorvente e tratamento sobre carvão ativado, tiveram 100% de remoção em faixas de pH acima de 8. Neste caso, para lançamento do efluente, os pH deverão ser corrigidos, atendendo a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005) que estabelece pH's entre 5 e 9.

5.1 GERENCIAMENTO E DESCARTE DOS RESÍDUOS

Esta pesquisa desenvolveu uma técnica de baixo custo para tratar resíduo líquido perigoso. Os resultados obtidos nos tratamentos mostraram a redução significativa da concentração dos metais Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Níquel e Zinco.

Conforme diretrizes para gerenciamento de resíduos, apresentado por Jardim (1998), o reuso e o reciclo podem e devem ser exercitados e fomentados dentro das unidades geradoras. O LAQUA vem exercendo a responsabilidade objetiva segundo a política de meio ambiente, tratando, reutilizando e dispondo seus resíduos de forma adequada. Para análises de óleos e graxas, o solvente hexano utilizado é purificado através de destilação, os resíduos da análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO) é segregado, com características semelhantes ao do espectrofotômetro de absorção atômica. Estudos realizados por Macente (2011) tratou efluente de resíduo da DQO, através de métodos por precipitação para remoção de cromo e prata.

Finalmente, tendo a unidade geradora estocada a quantidade mínima de resíduo fruto de suas atividades, a pergunta esperada é: Como tratar este resíduo? Qual a destinação final do mesmo? O tratamento de resíduos *in situ* deve ser estrategicamente planejado para que apenas o mínimo seja enviado para fora da unidade geradora, ou seja, com destinação final realizado por empresas especializadas.

Com a implantação do Programa de Gestão e Gerenciamento de Resíduos Químicos, a consciência ética formada se auto-alimenta tornando inconcebível a irresponsável prática de

lançar resíduos químicos na pia da bancada. Essa atitude diária, essa prática cotidiana, leva os alunos e técnicos a desenvolver uma ética adequada e correta no que concerne à manipulação, tratamento e descarte de produtos químicos levando, conseqüentemente, à preservação ambiental e influenciando sua atitude na vida profissional futura.

Os laboratórios de análises químicas, que utilizam produtos orgânicos e inorgânicos, e que se preocupam com os descartes dos seus resíduos, já os segregam em grupos específicos como, para orgânicos, clorados, fosforados, solventes, e para compostos inorgânicos ácidos, básicos e metais, o que facilita no tratamento ou no descarte.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo de tratabilidade de efluentes líquidos gerados em análises de metais em espectrômetro de absorção atômica, originados nos laboratórios da UFMS, atingiu 100% na remoção de cromo e níquel e 62,41% de cobre sendo a menor remoção, através do tratamento de precipitação seletiva. Com o tratamento de precipitação com adição de coagulante a melhor remoção foi de 100% de cádmio, chumbo, cromo e níquel e a menor remoção foi de 57,96% de cobre. No tratamento de precipitação com adição de coagulante mais tratamento de adsorção por carvão ativado a melhor remoção foi de 100% de cobre, cromo e níquel e a menor remoção foi de 68,72% de chumbo e no tratamento de adsorção por carvão ativado foi removido 100% de cobre, cromo e níquel e a menor remoção foi de 69,79% de zinco.

Embora o processo físico-químico por precipitação com uso de sais de alumínio esteja relativamente bem consolidada, do ponto de vista científico na Engenharia Sanitária e Ambiental para tratamento de água potável e no processo para tratamento de águas residuárias, ainda necessita investigações experimentais, para determinar as melhores condições de pH e de coagulantes para remoção dos metais.

Recomenda-se o descarte dos resíduos resultantes dos tratamentos, em aterro de resíduos perigosos (ARIPE).

Recomenda-se a realização de novos estudos, utilizando outros coagulantes, ou mesmo polieletrólitos para auxiliar na reação de precipitação dos metais.

Recomenda-se também, a realização de mais estudos utilizando outros tipos de adsorventes. Alguns estudos com cascas de tamarindo, de jatobá e outros materiais apresentaram bons resultados como adsorventes. São ações que reduzem os gastos com aquisição de reagentes, nos laboratórios, além de minimizar o descarte na rede de esgoto de resíduos potencialmente poluidores.

Recomenda-se também, a gestão e o gerenciamento dos resíduos perigosos, gerados nos laboratórios da universidade, promovendo a ética adequada concernente à manipulação, tratamento e descarte de produtos químicos, levando conscientização da preservação ambiental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOWAY, B. J. & AYRES, D. C. **Chemical principles of environmental pollution**. London: Blackie Academic & Professional, Second edition, 1997.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 25th edition, Washington D.C., 2005.

ALVES, A.C.M. **Avaliação do tratamento de efluentes líquidos contendo Cobre e Chumbo por adsorção em carvão ativado**. Dissertação do Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, jun. de 2007.

AMARAL, S. T.; MACHADO, P. F. L.; PERALBA, M. do C. R.; CAMARA, M. R. ; SANTOS, T. dos; BERLEZE, A. L.; FALCÃO, H. L.; MARTINELLI, M.; GONÇALVES, R. S.; OLIVEIRA, E. R. de; BRASIL, J. L.; ARAÚJO, M. A. de; BORGES, A.C.A. **Relato de uma experiência: recuperação e cadastramento de resíduos dos laboratórios de graduação do instituto de química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. Química Nova, Porto Alegre, v. 24, n.3, p. 419-423, out. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004** - Resíduos Sólidos - Classificação, segunda edição - 31 de maio de 2004.

AZIZ, H.A.; ALIAS, S.; ADLAN, M.N.; FARIDAH, A.H.; ASAARI, M. S. Z. **Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes / Bioresource**. Technology 98 (2007) 218–220.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Artmd/Bookman, 2002.

BRAILE, P. M. & CAVALCANTI, J. E. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: Cetesb, 1993.

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Manual de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Portaria Federal nº 2.914. **Dispõe Sobre os Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade**. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL. RDC nº 306. **Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde**. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília, 2004.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 005. **Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários**. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 1993.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 358. **Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.** Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005.** Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 2011.

CAVALCANTI, J.E. W.A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais.** São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., p. 349-352, 377-381, 2009.

COSSICH, E. S. **Apostila Curso de Especialização em Gestão Ambiental.** Novembro, 2006.

CUNHA, C. J. **O programa de gerenciamento dos resíduos laboratoriais do depto de química da UFPR.** Química Nova, Curitiba, v. 24, n.3, p. 424-427, out. 2001.

DI BERNARDO, L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta.** Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, RiMa, 498 p., 2003.

Federal Water Pollution Control Administration. **“Report of the National Advisory Committee to the Secretary of the Interior”.** Washington, Water Quality Criteria, 1968.

GIL, E. S.; GARROTE, C. F. D.; CONCEIÇÃO, E. C. da; SANTIAGO, M. F.; SOUZA, A. R. **Aspectos técnicos e legais do gerenciamento de resíduos químicos farmacêuticos.** Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas. Vol. 43. N.1. São Paulo. Jan/Mar. 2007.

GIOVANNINI, J. G.; TAVARES, G. A.; BENDASSOLLI, J. A.; SECCO, V. **Avaliação das Técnicas de Precipitação Química e Encapsulamento no Tratamento e Destinação Conjunta de Resíduos Líquidos Contendo Cromo e Vidrarias de Laboratório.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais – nº 8. São Paulo/SP, dezembro 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLOGICAS. **Lixo Municipal:** Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo, Publicação IPT 2622, 2000.

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

KUNO, R. **Valores de Referência para Chumbo, Cádmiio e Mercúrio em População Adulta da Região Metropolitana de São Paulo.** Tese de Doutorado, Faculdade de Medicina USP. São Paulo/SP, 2009.

LANDRIGAN, R.B.; HALLOWELL, J.B. **Removal of chromium from plating rinse water using activated carbon.** Washington: EPA, 1975, 43 p. (Report EPA 670/2-75 - 055).

LOPES, W.S.; LEITE, V.D.; BARROS, J.W.W.; GERMANO, A.F.S. **Utilização de lodo na remoção de Níquel de soluções aquosas**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2005.

MACENTE, D. F. C. **Remoção de Cromo e Prata do Resíduo de Análise de Demanda Química de Oxigênio**. Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande/MS, 2011.

MATO GROSSO DO SUL. **Conselho Estadual de Controle Ambiental, CECA**. Deliberação CECA/MS nº 003, de 20 de junho de 1997. Disponível em: <http://www.paranaiba.cbh.gov.br/Legislacao/ms/19970620_Deliberacao_CECA_031997.pdf> Acesso em: 16/08/2011.

NOLASCO, F. R.; TAVARES, G. A.; BENDASSOLLI, J. A. **Implantação de programas de gerenciamento de resíduos químicos laboratoriais em universidades: análise crítica e recomendações**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.11, n.2, p.118-124, abr/jun. 2006.

NUMES, J.A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais** – 2ª ed. – Aracaju – ed. J. Andrade – 1996.

PAIM, C. P. PALMA, E. C.; EIFLER-LIMA, V. L. **Gerenciar resíduos químicos: uma necessidade**. Caderno de Farmácia – Revista da Faculdade de Farmácia da UFRGS Porto Alegre, RS, v.18, n.1, p.23-31, 2002.

OLIVEIRA, D. M. de. **Avaliação de Metais em Águas e Sedimentos aplicando o Índice IQA_{CETESB} e Índice do Estado Trófico no Lago do Amor**. Dissertação apresentada ao Programa de Tecnologia Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande/MS, 2005.

RICHTER, C.A. e AZEVEDO NETTO, J.M.. **Tratamento de Água**. Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1991.

ROCCA, A.C.C. (Coordenador). **Resíduos sólidos industriais**. CETESB, São Paulo 2ª edição, 1993.

ROCHA, E. J. T.; MOTA, S.; SOUSA, S. T. de; AQUINO, M. D. de. **Caracterização das águas de lavagem de uma recicladora de plásticos e viabilidade do seu reuso**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 2005.

SAQUETO, K.C.; MACHADO, A.M.R.; SALVADOR, N.N.B. **Aplicação de zeólita natural escolecita na remoção de Cd²⁺, Cr³⁺ e Pb²⁺ de soluções aquosas em diferentes valores de pH**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n.5, p. 27-33, dezembro de 2006.

SCHNEIDER, Vania Elisabete (org.). **Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Saúde**. Caxias de Sul (RS), Editoria da Universidade de Caxias do Sul - Educs, 2ª. ed. rev. e ampl., 2004.

SILVA, J. da. Metodologia de Monitoração de Efluentes de Laboratórios: Aplicação no Instituto de Química da UNICAMP. Dissertação de Mestrado. Campinas, SP, 2005.

SPINELLI, V.A.; LARANJEIRA, M.C.M.; FÁVERE, V.T.; KIMURA, I.Y. Cinética e Equilíbrio de Adsorção dos Oxiânions Cr (VI), Mo (VI) e Se (VI) pelo Sal de Amônio Quaternário de Quitosana. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 15, n.3, p. 218-223, 2005.

USEPA – Water Quality Criteria, Washington D.C., 1972