

Letícia Flohr

**ENSAIOS TOXICOLÓGICOS COM *Daphnia magna* COMO
ALTERNATIVA PARA CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS INDUSTRIAIS**

**Florianópolis – SC
2007**

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Centro Tecnológico - CTC
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA

**ENSAIOS TOXICOLÓGICOS COM *Daphnia magna* COMO
ALTERNATIVA PARA CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS INDUSTRIAIS**

Letícia Flohr

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental, linha de pesquisa Toxicologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. William Gerson Matias

**Florianópolis – SC
2007**

“Ensaio Toxicológico com *Daphnia Magna* como Alternativa para Classificação de Resíduos Sólidos Industriais”

LETÍCIA FLOHR

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Aprovado por:

Prof. Armando Borges de Castilhos Jr., Dr.

Prof^a. Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto, Dr^a.

Prof. Claudemir Marcos Radetski, Dr.

Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.
(Coordenador)

Prof. William Gerson Matias, Dr.
(Orientador)

**FLORIANÓPOLIS, SC - BRASIL
MARÇO/2007**

“Primeiro foi necessário civilizar o homem em relação ao próprio homem.
Agora é necessário civilizar o homem em relação à natureza e aos
animais”.

Victor Hugo

Dedico este Trabalho:

**Aos meus pais, Ivo e Dagmar,
e à minha irmã Roberta,
pelo amor e incentivo em todos os momentos.**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. William Gerson Matias, pela orientação e desvelo.

À Prof. Dra. Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto, por seus ensinamentos durante a execução deste trabalho.

Aos colegas Marília, Leonardo, Débora, Marlon, Cristina, Gabriela e Stephan do Laboratório de Toxicologia Ambiental – ENS/ UFSC, pelo convívio e colaboração na execução dos ensaios;

À equipe do Laboratório Integrado do Meio Ambiente – LIMA, em especial à Arlete e Eliane pela disponibilidade e pelo apoio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela bolsa de pesquisa concedida.

À Engenheira Ane e equipe do Aterro Industrial e Sanitário de Blumenau, pelo apoio na coleta de amostras;

À Izabela, Anouk, Viola, Ulisses, Umberto, Marcos e Rui pelo companheirismo, alegria e carinho.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE TABELAS | iii |
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | viii |
| RESUMO | ix |
| ABSTRACT | x |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 3 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS | 4 |
| 3.1.1 DEFINIÇÃO | 4 |
| 3.1.2 CLASSIFICAÇÃO | 4 |
| 3.1.3 RESÍDUOS TÓXICOS | 6 |
| 3.1.4 TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS | 8 |
| 3.1.4.1 ATERRO INDUSTRIAL | 8 |
| 3.1.4.2 LANDFARMING/LANDSPREADING | 10 |
| 3.1.4.3 ESTABILIZAÇÃO E SOLIDIFICAÇÃO | 10 |
| 3.1.4.4 INCINERAÇÃO | 11 |
| 3.2 ECOTOXICOLOGIA E TOXICOLOGIA AMBIENTAL | 12 |
| 3.2.1 TESTES DE TOXICIDADE AGUDA | 14 |
| 3.2.2 MICROCRUSTÁCEO - DAPHNIA MAGNA | 16 |
| 3.3 NORMAS E LEGISLAÇÃO REFERENTE A RESÍDUOS INDUSTRIAIS E TOXICIDADE | 18 |
| 3.3.1 RESÍDUOS INDUSTRIAIS | 18 |
| 3.3.1.1 LEGISLAÇÃO FEDERAL | 18 |
| 3.3.1.2 RESOLUÇÕES CONAMA | 19 |
| 3.3.1.3 NORMAS TÉCNICAS ABNT | 19 |
| 3.3.1.4 LEGISLAÇÃO ESTADUAL | 20 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.2 LEGISLAÇÃO SOBRE TOXICIDADE | 20 |
| 3.4 PROBLEMÁTICA DA CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS | 22 |
| 4. METODOLOGIA | 27 |
| 4.1 ATERRO SANITÁRIO E INDUSTRIAL DE BLUMENAU – BLUMENAU/SC | 27 |
| 4.2 AMOSTRAGEM DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS | 29 |
| 4.2.1 DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS | 29 |
| 4.3 ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO | 31 |
| 4.3.1 PROCEDIMENTOS | 31 |
| 4.4 ENSAIOS DE TOXICIDADE AGUDA | 33 |
| 4.4.1 CULTIVO DE <i>DAPHNIA MAGNA</i> | 33 |
| 4.4.2 PROCEDIMENTOS | 34 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 36 |
| 5.1 DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DE ACORDO COM O TIPO DE RESÍDUO ANALISADO | 36 |
| 5.1.1 LIXIVIADOS DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA TÊXTIL | 36 |
| 5.1.2 LIXIVIADOS DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE | 40 |
| 5.1.3 LIXIVIADOS DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA QUÍMICA | 41 |
| 5.1.4 LIXIVIADOS DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA | 42 |
| 5.1.5 LIXIVIADOS DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA | 45 |
| 5.1.6 LIXIVIADOS DE BORRAS DE TINTA | 46 |
| 5.1.7 LIXIVIADOS DE OUTROS TIPOS DE RESÍDUOS | 47 |
| 5.2 MÉTODO PROPOSTO PARA CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL | 49 |
| 5.3 EFICIÊNCIA DO MÉTODO PROPOSTO | 53 |
| 6. CONCLUSÕES | 60 |
| 6.1 RECOMENDAÇÕES | 61 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 62 |
| ANEXO I | 70 |
| ANEXO II | 73 |
| ANEXO III | 93 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 - Limites Máximos de Toxicidade de Efluentes de Diferentes Categorias. (Fonte: Portaria 017/02 - FATMA). | 22 |
| TABELA 2 - Descrição das amostras de resíduos industriais coletados no AISB, conforme classificação da NBR 10004:2004. (Fonte: Laudo de classificação apresentado ao AISB). | 30 |
| TABELA 3 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados da Indústria Têxtil..... | 37 |
| TABELA 4 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados da Indústria de Papel e Celulose..... | 40 |
| TABELA 5 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados da Indústria Química. | 41 |
| TABELA 6 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados da Indústria Metal-Mecânica..... | 43 |
| TABELA 7 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados da Indústria Alimentícia. | 45 |
| TABELA 8 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados de Borrás de Tinta. | 46 |

| | |
|---|----|
| TABELA 9 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados de outros tipos de Resíduos..... | 48 |
| TABELA 10 - Estimativa do efeito tóxico com base nos valores de Fator de Diluição (FD). (Fonte: Saar, sem data). | 49 |
| TABELA 11 - Esquema para classificação da toxicidade, utilizando valores de Fator de Diluição (FD). (Fonte: Deventer & Zipperle, 2004). | 50 |
| TABELA 12 - Classificação de toxicidade de uma substância, utilizando valores de CE50 (mg/L). (Fonte: Interim Guidelines on the Hazardous Characteristics H12 - Ecotoxic, 2003). | 50 |
| TABELA 13 - Limites Máximos de Toxicidade de Efluentes de Diferentes Categorias. (Fonte: Portaria 017/02 - FATMA). | 51 |
| TABELA 14 – Método proposto para avaliar grau de toxicidade, de acordo com valores de CE50 (%). | 52 |
| TABELA 15 – Método proposto para classificação de resíduos sólidos industriais, de acordo com valores de CE50 (%). | 53 |
| TABELA 16 - Resíduos da Indústria Têxtil. Comparação entre a classificação NBR 10004 e o método de classificação proposto. | 54 |
| TABELA 17 - Resíduos da Indústria de Papel e Celulose. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta. | 54 |
| TABELA 18 - Resíduos da Indústria Química. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta. | 55 |
| TABELA 19 - Resíduos da Indústria Metal-Mecânica. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta. | 55 |

| | |
|---|----|
| TABELA 20 - Resíduos da Indústria Alimentícia. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta. | 56 |
| TABELA 21 - Resíduos de Borra de Tinta. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta. | 56 |
| TABELA 22 - Resíduos Diversos. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta. | 57 |
| TABELA 23 - Comparação entre os diferentes métodos de Classificação: NBR 10004, FATMA e Método Proposto. | 58 |
| TABELA 24 - Amostras que apresentaram classificação diferente, de acordo com o Método FATMA e o Método Proposto. | 59 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 - Organismo-teste <i>Daphnia magna</i> (Fonte: Laboratório de Toxicologia – LABTOX/ENS/UFSC). | 16 |
| FIGURA 2 – <i>Lay-out</i> do Aterro Industrial e Sanitário de Blumenau. (Fonte: Gorigoitía, 2003). | 27 |
| FIGURA 3 – Fluxograma de Lixiviação de Resíduos, baseado no Anexo B da NBR 10005 (2004)..... | 32 |
| FIGURA 4 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado. | 38 |
| FIGURA 5 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado da Indústria de Papel e Celulose. | 40 |
| FIGURA 6 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado da Indústria Química. | 42 |
| FIGURA 7 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado da Indústria Metal-Mecânica. | 43 |
| FIGURA 8 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado da Indústria Alimentícia. | 45 |

FIGURA 9 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado de Borrás de Tinta.47

FIGURA 10 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado de outros tipos de Resíduos.48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AISB - Aterro Industrial e Sanitário de Blumenau.

CE50 - Concentração da amostra que causa efeito agudo (imobilidade) a 50% dos organismos.

CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia Ambiental – São Paulo.

CL50 - Concentração da amostra que causa efeito agudo (letalidade) a 50% dos organismos.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

D. magna – Daphnia magna.

DIN - *Deutsches Institut für Normung.*

EPA - *Environmental Protection Agency.*

ETA - Estação de Tratamento de Água.

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes.

FATMA - Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina.

FD - Fator de diluição.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

ISO - *International Organization for Standardization.*

NBR - Norma Brasileira.

PTFE – Politetrafluoretileno.

SETAC - Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia.

RESUMO

ENSAIOS TOXICOLÓGICOS COM *Daphnia magna* COMO ALTERNATIVA PARA CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Resíduos sólidos industriais necessitam de tratamento e disposição final adequada. Para que isto seja feito corretamente, cada resíduo deve ser previamente classificado em Classe I ou Classe II. Este método de classificação é proposto pela NBR 10004/04, contudo, é complexo e demanda tempo. Com o objetivo de facilitar a classificação, este trabalho propõe a utilização de ensaios com o microcrustáceo *Daphnia magna* para este fim. Os ensaios possibilitam a identificação de substâncias tóxicas no lixiviado, o que denota a presença de uma das características descritas pela norma, a toxicidade, que é argumento suficiente para classificar o resíduo em Classe I. Realizaram-se ensaios ecotoxicológicos com trinta e duas amostras de resíduos sólidos industriais e, com base nos resultados das CE50(%) 48h observadas nestas amostras em comparação com a classificação oficial da NBR 10004/04, estabeleceram-se limites para classificação dos resíduos em Classe I ou Classe II. Verificou-se coincidência na classificação de 62,5% das amostras analisadas. Nos casos em que não foi observada coerência entre os métodos, o método proposto neste trabalho frequentemente classificou o resíduo como Classe I. Os dados obtidos revelaram que o método de classificação proposto é promissor pela sua rapidez e eficiência na preservação do meio ambiente.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Industriais, Classificação de Resíduos, Ensaios Toxicológicos, *Daphnia magna*

ABSTRACT

TOXICOLOGICAL ASSAYS WITH *Daphnia magna* AS ALTERNATIVE FOR CLASSIFICATION OF INDUSTRIAL SOLID WASTE

Industrial solid wastes need treatment and adjusted final disposal. So that this is made correctly, each residue must previously be classified in Class I or Class II. This method of classification is considered by NBR 10004/04, however, it is complex and time-consuming. With the objective to facilitate the classification, this work considers the use of assays with the microcrustacean *Daphnia magna* for this end. The assays make possible the toxic substance identification in the leached one, what it denotes the presence of one of the described characteristics for the norm, the toxicity, that is argument enough to classify the residue in Class I. Ecotoxicological tests were carried out with thirty and two samples of industrial solid wastes and, on the basis of the results of the observed CE50(%) 48h in these samples in comparison with the official classification of NBR 10004/04, had established limits for classification of the residues in Class I or Class II. A coincidence in the classification of 62,5% of the analyzed samples was observed. In the cases where coherence between the methods was not observed, the method proposed in this work frequent classified the residue as Class I. The gotten data had disclosed that the method of classification proposed is promising for its rapidity and efficiency in the preservation of the environment.

Key-words: Industrial Solid Waste, Waste Classification, Toxicological Assays, *Daphnia magna*

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos industriais resultam das diversas atividades humanas, apresentam características variadas, e sua produção geralmente atinge grandes quantidades.

Estes resíduos podem proporcionar riscos de poluição ambiental e de saúde pública, portanto necessitam de disposição final adequada. Deste modo, os resíduos industriais devem ser encaminhados aos aterros sanitários industriais. Estes tipos de aterro são preparados para o tratamento e disposição final dos resíduos industriais, de forma a gerar o mínimo impacto sobre o ambiente e a saúde humana.

No Brasil, para que um resíduo sólido industrial tenha um destino final correto ele deve passar por um processo de classificação anterior ao seu tratamento e disposição final.

A classificação dos resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (ABNT, 2004a).

Segundo Oliveira et al. (2003), de maneira geral, esta classificação se dá a partir das análises físico-químicas sobre o extrato lixiviado obtido a partir da amostra bruta do resíduo. As concentrações dos elementos detectados nos extratos lixiviados são então comparadas com os limites máximos estabelecidos nas listagens constantes da NBR 10004 (ABNT, 2004a).

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004a), um resíduo é classificado por apresentar características tais como: periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade. Resíduos que apresentem pelo menos uma destas características são classificados como resíduos Classe I. Aqueles que apresentam nenhuma destas características são classificados como resíduos Classe II.

Contudo, os parâmetros de inflamabilidade, corrosividade, patogenicidade, reatividade e toxicidade, em virtude da complexidade dos ensaios, são pouco utilizados para classificação dos resíduos industriais (Oliveira et al., 2003).

Em relação à toxicidade, por exemplo, um resíduo é caracterizado como tóxico quando substâncias reconhecidamente tóxicas estão presentes em seu lixiviado, ou, ainda, quando possuir em sua composição substâncias em concentrações comprovadamente letais ao homem ou o resíduo apresentar uma Dose Letal – DL50 para ratos menor que 50mg/Kg ou Concentração Letal – CL50 de inalação para ratos menor que 2 mg L-1 ou uma DL50 dérmica para coelhos menor que 200mg/Kg.

O impasse gerado pelo método de classificação da NBR 10004 aparece nas situações em que um resíduo chega ao aterro industrial sem classificação exata. Como estes métodos ainda são complexos e demandam muito tempo, podem ocorrer atrasos, ou até mesmo erros no tratamento e disposição final destes resíduos, causando problemas legais à administração do aterro e à empresa responsável pelo resíduo.

Tendo em vista facilitar e tornar mais rápida a classificação de resíduos industriais, este trabalho busca a possibilidade de utilização de ensaios com o microcrustáceo *Daphnia magna* para verificação da toxicidade do resíduo e sua posterior classificação em Classe I ou Classe II. Se o lixiviado de um resíduo demonstra potencial tóxico aos microcrustáceos, isto denota a presença de substâncias tóxicas no resíduo, revelando pelo menos uma das características descritas pela NBR 10004 como indicativas de um resíduo perigoso, no caso a toxicidade. Como a presença comprovada de toxicidade já obriga o resíduo a receber tratamento e disposição final como resíduo Classe I, é possível realizar a classificação de resíduos industriais apenas com testes de toxicidade aguda.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver um método rápido e eficiente a partir de ensaios toxicológicos com *Daphnia magna* para classificar resíduos sólidos industriais.

2.2 Objetivos específicos

1. Avaliar a toxicidade dos resíduos sólidos industriais sobre o organismo-teste *Daphnia magna*.
2. Verificar se existe alguma relação entre dados físico-químicos (pH e Oxigênio Dissolvido) e toxicológicos obtidos nas amostras de resíduos sólidos industriais.
3. Verificar o melhor tempo de exposição da *Daphnia magna* ao extrato lixiviado (6, 12, 24 ou 48 horas), para obtenção de resultados adequados para classificação de resíduos industriais.
4. Verificar a eficiência dos ensaios toxicológicos com o organismo-teste *Daphnia magna* para classificação de resíduos sólidos industriais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos Sólidos Industriais

O resíduo industrial origina-se nas indústrias têxtil, química, alimentícia, metal mecânica, papelreira, farmacêutica, etc. Este tipo de resíduo pode ser composto de lodos, borras de óleos e tintas, cinzas, rejeitos, resíduos de processamento, aparas, madeiras, estopas, metais, borrachas, vidros, papéis e outros materiais.

3.1.1 Definição

Resíduos sólidos industriais, de acordo com a Norma Técnica ABNT NBR 10004 (2004a), são os resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial. 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 d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Embora um amplo espectro de resíduos sólidos industriais enquadre-se na classe I - perigoso, nem todas as indústrias produzem materiais com características que os incluam nesta classificação (Bidone & Povinelli, 1999).

3.1.2 Classificação

A classificação dos resíduos sólidos industriais é realizada com três objetivos básicos (Lora, 2000):

- Caracterização: conhecer propriedades ou características dos resíduos que possam causar algum dano ao homem e ao meio ambiente.

- Disposição: permitir a tomada de decisões técnicas e econômicas em todas as fases do tratamento dos resíduos sólidos.
- Mobilização: concentrar esforço da sociedade no controle dos resíduos cuja liberação para o meio ambiente seja problemática, de tal modo a permitir a tomada de decisões técnicas e econômicas em todas as fases do trato do resíduo, visando sua disposição.

No Brasil, a classificação dos resíduos industriais é padronizada através da NBR 10004 (ABNT, 2004a), que tem por objetivo classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

A NBR 10004 (ABNT, 2004a) relaciona um conjunto de normas que contém disposições que, citadas no texto, constituem prescrições para a mesma. Estas normas são as seguintes:

Portaria n 204/1997 do Ministério dos Transportes;

ABNT NBR 10005:2004 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos;

ABNT NBR 10006:2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos;

ABNT NBR 10007:2004 – Amostragem de resíduos sólidos;

ABNT NBR 12808:1993 – Resíduos de serviços de saúde – Classificação;

ABNT NBR 14598:2000 - Produtos de petróleo – Determinação do ponto de fulgor pelo aparelho de vaso fechado *Pensky – Martens*;

USEPA – SW 846 – *Test methods for evaluating solid waste – Physical/chemical methods*.

A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem. (ABNT, 2004a).

As listagens de resíduos e de substâncias apresentadas na NBR 10004/04 são as seguintes:

- Anexo A – Resíduos perigosos de fontes não específicas.

- Anexo B – Resíduos perigosos de fontes específicas.
- Anexo C – Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos.
- Anexo D – Substâncias agudamente tóxicas.
- Anexo E – Substâncias tóxicas.
- Anexo F – Concentração - Limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação.
- Anexo G – Padrões para o ensaio de solubilização.
- Anexo H – Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos.

De acordo com os ensaios de lixiviação e solubilização, e observadas as listagens de resíduos e substâncias, a NBR 10004 (ABNT, 2004a) apresenta o seguinte modo de classificação dos resíduos:

- a) resíduos classe I – Perigosos;
- b) resíduos classe II – Não perigosos;
 - resíduos classe II A – Não inertes.
 - resíduos classe II B – Inertes.

Os resíduos de classe I – Perigosos, apresentam risco à saúde pública ou ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (D’Almeida, 2000).

Os resíduos da classe II A - Não-inertes, não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou classe II B, e podem ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade, ou solubilidade em água. Os resíduos da classe II B – Inertes, são quaisquer resíduos que não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, exetando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme o anexo G da NBR 10004 (ABNT, 2004a).

3.1.3 Resíduos Tóxicos

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004a), um resíduo é caracterizado com tóxico se uma amostra representativa dele, obtida segundo a NBR 10007, apresentar uma das seguintes propriedades:

a) quando o extrato obtido desta amostra, segundo a NBR 10005, contiver qualquer um dos contaminantes em concentrações superiores aos valores constantes no anexo F. Neste caso, o resíduo deve ser caracterizado como tóxico com base no ensaio de lixiviação, com código de identificação constante no anexo F;

b) possuir uma ou mais substâncias constantes no anexo C e apresentar toxicidade.

Para avaliação dessa toxicidade, devem ser considerados os seguintes fatores:

- natureza da toxicidade apresentada pelo resíduo;
- concentração do constituinte no resíduo;
- potencial que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, tem para migrar do resíduo para o ambiente, sob condições impróprias de manuseio;
- persistência do constituinte ou qualquer produto tóxico de sua degradação;
- potencial que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, tem para degradar-se em constituintes não perigosos, considerando a velocidade em que ocorre a degradação;
- extensão em que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, é capaz de bioacumulação nos ecossistemas;
- efeito nocivo pela presença de agente teratogênico, mutagênico, carcinogênico ou ecotóxico, associados à substância isoladamente ou decorrente do sinergismo entre as substâncias constituintes do resíduo;

c) ser constituída por restos de embalagens contaminadas com substâncias constantes nos anexos D ou E;

d) resultar de derramamentos ou de produtos fora de especificação ou do prazo de validade que contenham quaisquer substâncias constantes nos anexos D ou E;

e) ser comprovadamente letal ao homem;

f) possuir substância em concentração comprovadamente letal ao homem ou estudos do resíduo que demonstrem uma DL50 oral para ratos menos que 50 mg/kg ou CL 50 inalação para ratos menor que 2 mg/L ou uma DL50 dérmica para coelhos menor que 200 mg/kg.

Os códigos destes resíduos são os identificados pelas letras P, U e D, e encontram-se nos anexos D, E e F.

De acordo com o *site* Ambiente Brasil (2006), outros resíduos considerados tóxicos são as pilhas não-alcalinas, baterias, tintas e solventes, remédios vencidos, lâmpadas fluorescentes, inseticidas, embalagens de agrotóxicos e produtos químicos, as substâncias não biodegradáveis presentes nos plásticos, produtos de limpeza, em

pesticidas e produtos eletroeletrônicos, e na radioatividade desprendida pelo urânio e outros metais atômicos, como o céσιο, utilizados em usinas, armas nucleares e equipamentos médicos. O cádmio, níquel, mercúrio e chumbo são os principais contaminantes.

3.1.4 Tratamento e Disposição Final de resíduos industriais

Os resíduos das classes I e II devem ser tratados e destinados em instalações apropriadas para tal fim. Predomina em muitas áreas urbanas a disposição final inadequada de resíduos industriais, por exemplo, o lançamento dos resíduos industriais perigosos em lixões, nas margens das estradas ou em terrenos baldios, o que compromete a qualidade ambiental e de vida da população (Kraemer, 2005).

Segundo a ABETRE (Associação Brasileira de Empresas de Tratamento Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais) e o Departamento de Meio Ambiente da Câmara Brasil-Alemanha, cerca de 2,7 milhões de toneladas de resíduos industriais são gerados anualmente em todo o país. A maior parte destes resíduos provém de atividades industriais, principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Cerca de 20% deste volume é disposto corretamente em aterros sanitários classe I ou incinerado. Outra parte dos resíduos é estocada, geralmente nas próprias empresas geradoras, aguardando uma destinação final (que pode demorar anos). Muitas empresas ainda consideram altos os custos de destinação final de resíduos, disponíveis no mercado (Rose, 2006).

As principais técnicas de tratamento de resíduos sólidos industriais utilizadas na atualidade são os aterros industriais, os sistemas de landfarming/landspreading e a estabilização/solidificação (Bidone & Povinelli, 1999).

3.1.4.1 Aterro industrial

No Brasil, a forma de disposição dos resíduos em aterros é a alternativa de destinação e de tecnologia mais conhecida, sendo também, a mais economicamente viável. Sua construção deve obedecer a critérios de engenharia, de acordo com normas operacionais específicas, adequando o confinamento dos resíduos sólidos na menor área possível, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais decorrentes dessa disposição no solo (Lora, 2000).

De acordo com Lora (2000), os resíduos sólidos industriais poderão ser dispostos conforme seu tipo, natureza, quantidade e grau de periculosidade em:

- Aterros Industriais Classe I: projetados, instalados e operados especialmente para receber resíduos industriais classificados como perigosos (Classe I);
- Aterros Industriais Classe II: projetados, instalados e operados especialmente para receber resíduos industriais não inertes e inertes (Classe II).

Quanto à escolha do tipo de aterro parte-se da premissa de que os resíduos a serem dispostos já são conhecidos; isto é, sua quantificação e qualificação foram suficientemente estudadas para permitir a determinação de suas características de periculosidade e se a disposição em aterros é adequada (Brito e Soares, 2004).

Qualquer que seja a opção a ser adotada, o projeto do aterro é um importante passo para sua instalação e devem ser elaborados os seguintes planos (Lora, 2000):

- plano de segregação de resíduos para se evitar que resíduos incompatíveis sejam dispostos numa mesma área do aterro;
- plano de emergência, onde se procura avaliar os riscos de acidentes;
- plano de controle e operação que inclua o sistema de registro dos materiais que chegam ao aterro, o mapeamento dos resíduos dispostos e dos locais de disposição;
- plano de fechamento do aterro, visando futuras ocupações da área.

Os projetos de aterros devem considerar as seguintes normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (Lora, 2000):

- NBR - 8418: “Apresentação de Projetos de Aterros de Resíduos Industriais Perigosos”;
- NBR - 10157: “Aterros de Resíduos Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação”;
- PN1 - 603.06-006: “Aterros de Resíduos não Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação”.

Todos os projetos de aterro devem ser submetidos a um processo de licenciamento ambiental, através da elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente (EIA-RIMA), conforme estabelecido nas resoluções CONAMA nº 001/86 e CONAMA nº237/97, devendo este estudo e relatório

ser submetidos aos Órgãos Municipais e/ou Estaduais de Meio Ambiente (Brito; Soares, 2004).

Segundo a CETESB (1993), os aterros podem apresentar as seguintes formas:

- a) trincheiras - escava-se uma trincheira de tamanho conveniente, o lixo é depositado em uma das extremidades da trincheira formando células que são regularmente cobertas;
- b) rampa - usada em terrenos secos e planos onde se procura mudar a topografia através de terraplanagem, construindo-se uma rampa onde os resíduos são depositados, formando células;
- c) área - usada onde o terreno já apresenta bacias, ou seja, tenha características favoráveis à construção do aterro e não sendo necessário nenhum trabalho de preparação da área.

A escolha da forma de aterro deve ser baseada naquela que garanta maior proteção ambiental e maior aproveitamento da área útil (Lora, 2000).

3.1.4.2 *Landfarming/landspreading*

Este é método de tratamento de resíduos sólidos em que o substrato orgânico do resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo e a parte inorgânica do mesmo é fixada nesta mesma camada de solo por meio de princípios adsortivos e quelantes. É um processo que consiste na mistura do resíduo com a camada de solo existente na zona arável, a qual deve ser revolvida periodicamente. Sua aplicação em escala industrial implica na observância de critérios rígidos de engenharia, visando à proteção de recursos naturais. Pelo fato de ser um processo aberto, sem qualquer sistema de impermeabilização inferior ou superior, um landfarming mal gerenciado pode trazer problemas imediatos de contaminação de águas superficiais, subterrâneas, do ar e do solo, tornando este último impróprio para usos futuros. (Bidone & Povinelli, 1999).

3.1.4.3 Estabilização e solidificação

Consiste no processo de estabilização dos resíduos perigosos a fim de transformá-los em materiais menos poluentes, através da adição de aglomerantes e produtos químicos, envolvendo reações químicas e operações físicas. Com isso, busca-

se eliminar ou restringir a capacidade de solubilização desses contaminantes, reduzindo a toxicidade do resíduo e tornando-o menos deletério ao meio ambiente. Das técnicas disponíveis, a mais utilizada é a solidificação com cimento. Os resíduos solidificados com cimento, ou qualquer outro aglomerante, se descartados, devem ser dispostos em aterros industriais. (Lora, 2000).

Os métodos de solidificação/estabilização se dividem em sete tipos diferentes conforme a CETESB (1985), e são os seguintes:

- Técnicas baseadas em termoplásticos;
- Técnicas que utilizam polímeros orgânicos;
- Técnicas de auto-solidificação;
- Técnicas de vitrificação;
- Técnica de encapsulamento;
- Técnicas baseadas em materiais pozolânicos;
- Técnica baseada em cimento.

A técnica de encapsulamento consiste no envolvimento de resíduos por jaquetas ou camisas de materiais inertes. São técnicas que, uma vez garantida a inviabilidade do invólucro, oferecem segurança muito grande contra lixiviação dos poluentes encapsulados. Quando se trata de resíduos perigosos, é ainda usual o acondicionamento do material encapsulado em tambores, antes de sua disposição em aterros. O material mais empregado para o encapsulamento é o polietileno, sendo também empregados betume e asfalto (Lora, 2000).

Segundo Brito e Soares (2004), a tecnologia de estabilização por solidificação é considerada uma forma segura de tratamento de contaminantes incluindo resíduos de pilhas, óleos, sedimentos, lodos, metais pesados, PCBs e petróleo.

3.1.4.4 Incineração

Incineração pode ser entendida como a decomposição térmica via oxidação de matéria orgânica sob altas temperaturas. A incineração de resíduos sólidos industriais apenas elimina os compostos orgânicos destes resíduos, sem eliminar os compostos minerais, que no final do processo permanecem nas cinzas residuais (Roberts et al., 1998).

De acordo com Roberts et al. (1998), as emissões dos incineradores de resíduos industriais que mais preocupam a população em geral são os resíduos orgânicos não destruídos no processo de combustão, os metais pesados, os gases ácidos e as cinzas. Estas emissões devem ser devidamente controladas por equipamentos de controle de poluição do ar.

No Brasil, a destruição de resíduos pela via do tratamento térmico pode contar com os incineradores industriais e com o co-processamento em fornos de produção de clínquer (cimenteiras). A Resolução Conama 264/99 não permite que os resíduos domiciliares brutos e certos resíduos perigosos venham a ser processados em cimenteiras, tais como os provenientes dos serviços de saúde, os rejeitos radioativos, os explosivos, os organoclorados, os agrotóxicos e afins (Ambiente Brasil, 2006).

3.2 Ecotoxicologia e Toxicologia Ambiental

A Toxicologia Ambiental e a Ecotoxicologia são termos empregados para descrever o estudo científico de efeitos adversos causados sobre os organismos vivos pelas substâncias químicas liberadas no ambiente. Em geral, a expressão Toxicologia Ambiental é usada nos estudos em que se abordam os efeitos das substâncias químicas sobre os seres vivos individualmente e o termo Ecotoxicologia, para estudos dos efeitos desses compostos sobre populações e seus comportamentos nos ecossistemas (Chasin; Pedrozo, 2003).

O estudo da toxicologia ambiental parte do reconhecimento que (a) a sobrevivência humana depende do bem estar de outras espécies e na disponibilidade de ar puro, água e comida; e (b) substâncias químicas antropogênicas, bem como as que ocorrem naturalmente no ambiente podem causar efeitos deletérios nos organismos vivos e nos processos ecológicos. O estudo da toxicologia ambiental preocupa-se com a interação entre os agentes tóxicos ambientais e os seres vivos, e como esta interação influencia a saúde e o bem estar destes organismos (Yu, 2005).

Toxicologia Ambiental é uma ciência multidisciplinar que engloba muitas áreas de estudo, como biologia, química (orgânica, analítica e bioquímica), anatomia, genética, fisiologia, microbiologia, ecologia, estudos de solo, água, e atmosfera, epidemiologia, estatística e leis (Yu, 2005).

De acordo com a Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia – SETAC, a Ecotoxicologia é a ciência que tem como princípio básico o estudo dos efeitos dos agentes físicos, químicos e biológicos sobre os organismos vivos, particularmente sobre populações e comunidades em seus ecossistemas, incluindo as formas de transporte, distribuição, transformação, interações e destino final desses agentes nos diferentes compartimentos do ambiente (Setac Brasil, 2006).

A Ecotoxicologia posiciona-se nas Ciências do Ambiente como geradora de um tipo de conhecimento básico e essencial que subsidiará a formulação segura de dispositivos legais, normas, programas e diretrizes gerenciais para enfrentar questões de risco ecotoxicológico, potencial ou real, determinado pelo uso e pelo lançamento de agentes químicos no ambiente. Os agentes químicos podem penetrar no meio ambiente de forma inesperada, por descuido ou acidente, ou de forma permitida ou controlada, visando a algum efeito considerado positivo (econômico ou do ponto de vista da saúde pública, como a aplicação de praguicidas e fertilizantes) (Fericola et al., 2003).

A análise ecotoxicológica tem por finalidade saber se, e em qual grandeza, as substâncias químicas, isoladas ou em formas de misturas, são nocivas, e como e onde se manifestam seus efeitos. A ecotoxicologia revela, através de ensaios com matéria viva, efeitos agudos ou crônicos, produzidos por substâncias químicas (Knie & Lopes, 2004).

Em ecotoxicologia, ao focar especificamente os efeitos, reporta-se àqueles evidenciados por testes de toxicidade que visam prever o impacto de determinado xenobiótico ao meio ambiente (Chasin; Azevedo, 2003).

Segundo Norma DIN 38412 parte 1, (1994), os testes de toxicidade têm as seguintes aplicações (Saar, s.d.) :

- determinação da toxicidade de várias substâncias ou de misturas destas;
- comparação da sensibilidade específica de vários organismos aos mesmos poluentes;
- determinação dos efeitos estimulantes ou inibidores (tróficos) de diferentes substâncias e efluentes;
- avaliação da bioacumulação de substâncias;
- avaliação da biodegradação de substâncias e de efluentes;
- hierarquização de poluentes ou fontes de poluição prioritárias;
- inspeção do funcionamento e da detoxificação produzida por estações de tratamento de efluentes;

- avaliação dos efeitos de efluentes e de seus constituintes sobre as estações de tratamento de esgotos e dos corpos receptores;
- monitoramento da qualidade das águas;
- investigação de descargas de efluentes;
- especificação de padrões técnicos para tratamento de efluentes;
- cálculo de impostos para efluentes, de acordo com seu efeito tóxico;
- avaliação de eluatos de materiais sólidos.

3.2.1 Testes de toxicidade aguda

Toxicidade aguda é a manifestação de um efeito em um organismo aquático, em curto espaço de tempo (até 48 horas) após a administração de uma única dose de uma substância. Em geral, é o primeiro estudo realizado sobre uma substância quando não há nenhuma noção ou somente noções teóricas, muito restritas, sobre a substância a ser estudada (Matias, 2001).

O ensaio de toxicidade aguda permite:

- Estabelecer uma relação entre a dose administrada e a intensidade de efeitos adversos observados;
- Calcular uma dose ou uma concentração letal (DL50 ou CL50) que é a expressão matemática da dose ou a concentração da substância que provoca a morte a 50% da população exposta;
- Estabelecer uma comparação da toxicidade de uma substância com outras no qual a toxicidade é conhecida;
- Fornecer indicações sobre os efeitos possíveis de uma exposição ao homem;
- Orientar os ensaios seguintes.

Conforme Lu (1996), tais estudos também podem indicar o provável órgão afetado pela substância química e seu efeito tóxico específico, e podem ainda promover o estabelecimento das doses a serem usadas nos estudos mais prolongados.

De acordo com Matias (2001), os reativos biológicos são expostos e observados durante períodos que vão de algumas horas até alguns dias, segundo as necessidades do ensaio, onde são anotados:

- sintomas eventuais de intoxicação;
- a mortalidade, se acontecer;

- as lesões dos principais órgãos no momento da autópsia;
- influência em mecanismos biológicos (síntese de macromoléculas, atividade enzimática, etc.)

Os resultados deverão conter, por cada grupo de dose ou concentração:

- o número de animais ao início do ensaio;
- o momento da morte;
- o número de animais que apresentam sinais clínicos (mobilidade, apetite, etc.);
- resultados de autópsia.

Estes resultados fornecem somente uma estimativa da toxicidade aguda global da substância e não pré-julgam de forma nenhuma os resultados de toxicidade sub-aguda e crônica. A DL50 ou CL50 é determinada com seu intervalo de confiança, e precisando o método de cálculo utilizado. O valor da CL50 é utilizado para:

- classificação de substâncias tóxicas;
- estabelecer o potencial de inibição e indução de sínteses biológicas, por substâncias tóxicas.

Conforme Lu (1996), em certos casos, especialmente aqueles com baixa toxicidade aguda, não é necessário determinar precisamente a CL50. Simples dados de letalidade podem ser representativos. Além disso, até mesmo a informação que uma dose suficientemente grande causa pouca ou nenhuma morte pode bastar para a determinação do resultado.

Na toxicologia o organismo-teste escolhido não é necessariamente aquele que apresenta mais semelhanças com o homem, mas aquele que permitirá melhor evidenciar o tipo de efeito toxicológico pesquisado (melhor sensibilidade). Na ecotoxicologia, os estudos do efeito agudo de produtos potencialmente tóxicos ao meio ambiente são utilizados organismos-teste como os peixes, microcrustáceos e algas, por serem sensíveis e representarem diferentes níveis tróficos (Matias, 2003).

Os microcrustáceos do gênero *Daphnia*, que apresentam um ciclo de vida de cerca de trinta dias, são os mais indicados para bioensaios rápidos, pois estes organismos são muito sensíveis a uma grande diversidade de poluentes. O tempo de exposição de 24 horas tem sido adotado em métodos padronizados, podendo se estender, no máximo, até 48 horas. Em geral, se o efluente apresenta toxicidade aguda, essa informação já pode ser suficiente para dar início às ações de controle (Basso et al., 1990).

Na Figura 1 pode-se visualizar a *Daphnia magna*, organismo-teste amplamente utilizado em estudos de toxicidade aquática.



FIGURA 1 - Organismo-teste *Daphnia magna*
Fonte: Laboratório de Toxicologia – LABTOX/ENS/UFSC

3.2.2 Microcrustáceo - *Daphnia magna*

Daphnia magna é um microcrustáceo de água doce facilmente encontrado no hemisfério norte, que pode sobreviver em águas com dureza maior que 150 mg/L (CaCO_3), e com oxigênio dissolvido menor que 4 mg/L (EPA, 2002). As daphnias sobrevivem em ambientes com pH da água entre 6.5 e 9.5, mas o pH ótimo fica entre 7.2 e 8.5. (Clare, 2006)

Segundo Ruppert e Barnes (1996), *D. magna* é classificado taxonomicamente no filo Arthropoda, subfilo Crustacea, classe Branchiopoda, ordem Diplostraca, subordem Cladocera.

As *D. magna* possuem uma carapaça transparente que encobre o seu tronco, e termina na parte posterior em um espinho apical. A parte extrema do tronco conhecida como abdômen posterior sustenta pinças especiais destinadas a limpeza da carapaça.

A cabeça possui dois pares de antenas, e um olho composto e móvel que serve para orientar o corpo na locomoção. As pulgas d'água nadam através de seu segundo par de antenas, muito potentes, que funcionam como um remo. O movimento é quase sempre vertical e espasmódico (Barnes, 1977).

Estes microcrustáceos atuam na cadeia alimentar aquática como consumidor primário entre os metazoários, alimentando-se por filtração de material orgânico particulado, principalmente de algas unicelulares. (Knie & Lopes, 2004). Como a alimentação das daphnias é composta basicamente de algas e bactérias, elas adaptam-se bem à *blooms* de algas, devido à grande concentração de proteínas e carboidratos neste ambiente. O tipo de alimento e sua abundância afetam a sensibilidade das daphnias aos poluentes e à sua taxa de reprodução (EPA, 2002).

As populações de *Daphnia magna* são geralmente esparsas no inverno e no começo da primavera, mas quando a temperatura da água alcança de 6°C a 12°C, elas aumentam consideravelmente e podem atingir populações com densidades em torno de 200 a 500 indivíduos/L.

As *D. magna* se reproduzem por partenogênese cíclica, assim, durante a maior parte do ano, as populações consistem quase inteiramente de fêmeas. A produção de machos é estimulada principalmente por causa de baixas temperaturas, ou alta densidade de indivíduos e subsequente acumulação de produtos de excreção, e/ou uma diminuição de disponibilidade de alimento. Estas condições podem induzir o aparecimento de ovos sexuais, ou efípios. A determinação do sexo é baseada em mudanças na estrutura da cromatina, quando a mãe recebe um sinal específico que a reprodução sexuada é necessária para adaptação em condições extremas. (EPA, 2002).

De acordo com Barnes (1977), os efípios flutuam ou submergem no fundo dos lagos e podem resistir à seca e ao congelamento. Através destes “ovos protegidos” as daphnias podem dispersar-se a certas distâncias por influência do vento ou de animais, e superar o inverno ou um período de estiagem. Assim que as condições de água e temperatura forem apropriadas os efípios eclodem em poucos dias (EPA, 2002).

O tempo médio de vida da *Daphnia magna* é de 40 dias a uma temperatura de 25°C, e de 56 dias a 20°C. Geralmente, de 6 a 10 ovos são gerados por cada indivíduo. As adultas têm normalmente de 6 a 22 gestações. A duração das gestações aumenta com a idade do organismo, mas também depende das condições ambientais. A gestação dura aproximadamente dois dias em condições ideais, mas em condições adversas ela pode durar mais de uma semana. (EPA, 2002).

Segundo Knie & Lopes (2004), a escolha da *Daphnia magna* como organismo-teste fundamenta-se principalmente nos seguintes critérios:

- os descendentes são geneticamente idênticos, o que assegura certa uniformidade de respostas nos ensaios;

- a cultura em laboratório sob condições controladas é fácil e sem grandes dispêndios;
- o ciclo de vida e de reprodução é suficientemente curto, o que permite usar as daphnias também em testes crônicos;
- a *Daphnia magna* é internacionalmente reconhecida como organismo-teste e vem sendo utilizada há décadas em laboratórios ecotoxicológicos.

3.3 Normas e Legislação referente a Resíduos Industriais e Toxicidade

3.3.1 Resíduos Industriais

A Constituição Federal Brasileira de 1988 no artigo 23, inciso VI estabelece que seja de competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios protegerem o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas.

O artigo 24, inciso VI, afirma que compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição. Ainda este mesmo artigo, inciso VIII, refere-se à responsabilidade por dano ao meio ambiente.

O artigo 225 diz que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. O parágrafo 3º afirma que as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão aos infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independente da obrigação de reparar os danos causados (BRASIL, 2001).

Outras Leis, Resoluções e Normas referentes a resíduos são citadas abaixo:

3.3.1.1 Legislação Federal

- Lei nº 6938/81 – Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e cria o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA que tem por competência estabelecer – mediante proposta do IBAMA –

normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva e potencialmente poluidoras, a ser concedido pelos Estados e supervisionado pelo IBAMA;

- Lei nº 7802/89 – Dispõe sobre o destino final dos resíduos e embalagens, a inspeção e fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins;
- Decreto nº 875/93 – Promulga o texto da Convenção de Basiléia sobre o controle de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e seu depósito.
- Portaria 53/97 do Ministério do Interior - Proíbe a disposição final de resíduos em lixões;
- Lei Federal nº 9605/98 regulamentada pelo Decreto nº 3179/99, denominada Lei de Crimes Ambientais - Dispõe sobre a especificação das sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

3.3.1.2 Resoluções CONAMA

- Resolução 01/86 – Dispõe sobre as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e diretrizes para uso e implementação de Avaliação de Impacto Ambiental;
- Resolução 05/93 – Define as normas mínimas para tratamento de resíduos sólidos oriundos de serviço de saúde, portos e aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários;
- Resolução 237/97 – Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional de Meio Ambiente;
- Resolução 257/99 – Estabelece que pilhas e baterias que contenham em sua composição: chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos tenham procedimento de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final adequados;
- Resolução 313/02 – Dispõe sobre o Inventário de Resíduos Sólidos Industriais.

3.3.1.3 Normas Técnicas ABNT

- NBR 10.004/2004a – Resíduos Sólidos – Classificação;
- NBR 10.005/2004b – Lixiviação de Resíduos;
- NBR 10.006/2004c – Solubilização de Resíduos;
- NBR 10.007/2004d – Amostragem de Resíduos;
- NBR 10.157/1987 – Aterros de resíduos perigosos – critérios para projeto, construção e operação – Procedimento;

- NBR 11.175/1990 – Incineração de resíduos sólidos perigosos – Padrões de desempenho – Procedimento;
- NBR 12235/NB 1.183/1992 – Armazenamento de resíduos sólidos perigosos;
- NBR 13.221/2005 – Transporte terrestre de resíduos;

3.3.1.4 Legislação Estadual

- Constituição Estadual do Meio Ambiente (1989).
- Lei nº 11.347/2000 - Dispõe sobre a coleta, recolhimento e destino final de pilhas, baterias e lâmpadas, e adota outras providências.
- Lei nº 5.793 e Decreto nº 14.250 - Legislação Ambiental Básica de Santa Catarina (atualizada em maio de 1995).
- Portaria Intersetorial nº 01/1992 - Listagem de atividades potencialmente poluidoras.

3.3.2 Legislação sobre toxicidade

No Brasil existem poucas leis referentes à toxicidade. Pode-se citar a Resolução CONAMA 357/05 e a Lei Federal de Recursos Hídricos 9.433/97 como as mais importantes referências legais para controle de toxicidade no País.

A Lei Federal de Recursos Hídricos 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, descreve em seu Art. 21: “Na fixação dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos devem ser observados, nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade do afluente” (BRASIL, 1997).

A Resolução CONAMA 357/05 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 (CONAMA, 2005).

Nesta Resolução os seguintes artigos descrevem sobre toxicidade:

- Art. 7º, parágrafo único: “Eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não nesta Resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida”.

- Art. 8º, em seu § 1º “Também deverão ser monitorados os parâmetros para os quais haja suspeita da sua presença ou não conformidade”. No § 3º “A qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos, quando apropriado, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas”. E no § 4º “As possíveis interações entre as substâncias e a presença de contaminantes não listados nesta Resolução, passíveis de causar danos aos seres vivos, deverão ser investigadas utilizando-se ensaios ecotoxicológicos, toxicológicos, ou outros métodos cientificamente reconhecidos”.

- Art. 34º em seus parágrafos 1º e 2º dispõe:

§ 1º O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

§ 2º Os critérios de toxicidade previstos no § 1º devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente.

No Estado de Santa Catarina a Portaria 017/02 estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para efluentes de diferentes origens (FATMA, 2002). O Art. 1º descreve que “As substâncias presentes nos efluentes não poderão causar ou possuir potencial causador de efeitos tóxicos, alterações no comportamento e fisiologia dos organismos aquáticos no corpo receptor”, que salienta a importância da análise da toxicidade.

O Art. 2º diz que “A toxicidade aguda do efluente será determinada em laboratório, mediante a elaboração de testes ecotoxicológicos padronizados, cujos resultados deverão ser expressos em Fator de Diluição (FD)”, sendo que, de acordo com o § 2º, o Fator de Diluição (FD) representa a primeira de uma série de diluições de uma amostra na qual não mais se observa efeitos tóxicos agudos aos organismos-teste.

O § 5º do Art. 2º estabelece que “Somente será permitido o lançamento do efluente, no corpo receptor, proveniente das atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental inseridas na Portaria Interna 01/92 e 01/00 - FATMA, cuja porcentagem (PER) seja menor ou igual à toxicidade causada pelo mesmo, expressa em percentual do Fator de Diluição (FD%) dividido por dois”.

A Portaria estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para os microcrustáceos - *Daphnia magna* (Straus, 1820) e para as bactérias bioluminescentes - *Vibrio fischeri*, dos efluentes de diferentes categorias, conforme a Tabela 1:

TABELA 1 - Limites Máximos de Toxicidade de Efluentes de Diferentes Categorias (Fonte: Portaria 017/02 - FATMA).

| Origem dos Efluentes | | Limites Máximos de Toxicidade Aguda para <i>Daphnia magna</i> | Limites Máximos de Toxicidade Aguda para <i>Vibrio fisheri</i> |
|--|--|---|--|
| Origem dos efluentes Categoria da atividade | Subcategoria da atividade | FDd | FDbl |
| Metal mecânica | Siderurgia | 4 | 6 |
| | Metalurgia | 4 | 6 |
| | Galvanoplastia | 16 | 8 |
| Alimentícia | Frigoríficos, Abatedouros, Laticínios, Cerealistas, Bebidas, Fecularias, Alimentos | 2 | 4 |
| Esgotos domésticos e/ou hospitalares | | 1 | 4 |
| Resíduos urbanos | Efluentes de Aterros Sanitários | 8 | 16 |
| Papel e Celulose | | 2 | 4 |
| Couros, peles e produtos similares | | 4 | 6 |
| Química | Agroquímica, Petroquímica, Produtos químicos não especificados ou não classificados | 2 | 4 |
| Têxtil | Beneficiamento de fibras naturais e sintéticas, confecção e tinturaria | 2 | 2 |
| Farmacêutica | | 2 | 4 |

FDd - Fator de Diluição para *Daphnia magna*.

FDbl - Fator de Diluição para *Vibrio fisheri*.

FD = 1 – amostra bruta não tóxica.

3.4 Problemática da classificação dos resíduos industriais

Com a aprovação da Lei de Crimes Ambientais, no início de 1998, a qual estabelece pesadas sanções para os responsáveis pela disposição inadequada de resíduos, os diversos ramos industriais e as empresas que prestam serviços na área de resíduos sólidos industriais foram obrigados tratar e dispor os resíduos sólidos industriais com mais critérios (Brito e Soares, 2004).

Seguindo os preceitos da NBR 10004/04, os resíduos são classificados em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas e com base na identificação de contaminantes presentes em sua massa. Contudo, essa identificação é

bastante complexa em inúmeros casos, em face das limitações existentes nos laboratórios nacionais. (Petuco, 2002)

Petuco (2002) ainda afirma que qualquer resíduo, que se supõe ser tóxico, e que não conste nas listagens da NBR 10004/04, deve ter sua classificação baseada em dados bibliográficos disponíveis, uma vez que os testes de toxicidade a organismos superiores (DL50 oral ratos, CL50 inalação ratos ou DL50 dérmica coelhos) não são usuais.

Alguns pesquisadores procuraram relacionar dados químicos e toxicológicos, assim como Lambalez et al. (1994), que estudaram a toxicidade de lixiviados de 15 tipos de resíduos sólidos industriais usando uma série de testes, incluindo o teste de imobilização da *Daphnia magna* 24h. Os pesquisadores avaliaram a toxicidade aguda, crônica, e a genotoxicidade destes lixiviados, e análises químicas foram feitas simultaneamente, mas eles não acharam nenhuma correlação entre os resultados de toxicidade e os químicos.

Sisinno (2003) estudou os riscos toxicológicos de resíduos industriais não-inertes, classe IIA, dispostos em aterros controlados, e observou que, de todos os parâmetros que apresentaram concentrações superiores às recomendadas para o extrato solubilizado, o fenol, o alumínio e o manganês, destacaram-se por suas características tóxicas. Algumas amostras apresentaram concentrações de alumínio quase 300 vezes maiores do que o limite estabelecido pelas Normas, enquanto no caso do manganês foi encontrada uma amostra com quase 50 vezes o limite. A maior concentração de fenol encontrada foi 100 vezes maior do que o valor máximo permitido.

Rodrigues (2005) estudou o nível tóxico de extratos solubilizados de resíduos de diversos ramos industriais, classificados como classe IIA e IIB, utilizando os organismos-teste *Daphnia magna* e *Vibrio fisheri*. A maioria dos extratos solubilizados analisados causaram efeitos tóxicos importantes nos organismos testados. Analisando ainda dados físico-químicos obtidos das análises de lixiviação e solubilização, a pesquisadora demonstrou que diversos efluentes líquidos que atendem aos padrões de lançamento exigidos por Lei, não estão isentos de causar efeitos tóxicos aos organismos analisados, e conseqüentemente ao corpo receptor.

Flohr et al. (2005) testaram 10 amostras de lixiviados de resíduos industriais em organismos-teste *Daphnia magna* e compararam os resultados com a classificação de resíduos atualmente empregada no Brasil, a NBR 10004. Através destes testes, propuseram um novo método de classificação de resíduos, observando apenas a toxicidade das amostras. Comparado com a classificação oficial de resíduos (NBR

10004), o método indicou uma coincidência em 50% das amostras, isto aponta que ele pode ser considerado eficiente quanto à classificação de resíduos industriais.

A aplicação dos testes de toxicidade na análise ambiental é bastante abrangente e sua importância aumenta na proporção que cresce a complexidade das transformações químicas no meio ambiente. A determinação de substâncias isoladas através de análises químicas já encontrou seu limite tecnológico de exequibilidade. Apesar de dispormos de um sistema muito complexo de parâmetros físicos e químicos para análise de águas e resíduos sólidos, nenhum destes parâmetros é capaz de determinar, se uma determinada amostra poderá ter efeitos tóxicos na biota aquática. (Saar, s.d.).

Deste modo, se o método atual de classificação de resíduos prioriza apenas os resultados das análises físico-químicas, o meio ambiente corre risco. Kristensen e Jensen (1997) propõem que no futuro deve-se fazer um plano de monitoramento baseado nos riscos ambientais e de saúde humana, utilizando para isto o conjunto de dados químicos, ecotoxicológicos e ecológicos dos resíduos.

Atualmente, no Brasil, os métodos regulamentados para avaliação de toxicidade são os ensaios de lixiviação, e os testes de toxicidade que utilizam cobaias de níveis tróficos superiores, como ratos e coelhos. Os ensaios de lixiviação apenas identificam as substâncias encontradas no lixiviado, e os testes com mamíferos, além de não representarem organismos de um ambiente aquático, necessitam de um tempo maior de exposição ao lixiviado, normalmente em torno de 15 dias, impossibilitando um resultado rápido sobre a toxicidade da amostra analisada.

Olhando o problema sob outro ângulo - a questão dos direitos dos animais - Vergara (2001) faz a seguinte pergunta: “podemos utilizar os animais para pesquisa?” Os grupos de proteção dos direitos dos animais vêm na pesquisa com cobaias, conhecida como vivisseção – que significa “cortar vivo”-, dois enormes calcanhares-de-aquiles: o primeiro é que os testes seriam inúteis. Depois, mesmo que eles fossem úteis ou, mais que isso, vitais, ainda assim não teríamos o direito de fazê-los.

Na Europa Ocidental, a Comunidade Européia, através do *Convênio Europeu Sobre Proteção de Animais Vertebrados Utilizados Para Fins de Experimentação*, firmado em 18 de março de 1986, dita normas referentes à problemática da vivisseção de maneira conjunta, sem desconsiderar a legislação interna de cada país e sem perder de vista o caráter da necessidade da experiência, caso não seja possível a adoção de alternativas (Greif; Tréz, 2000).

A questão que se impõe é uma só: será que essas alternativas existem? Um setor que já começou a se mexer é o de cosméticos. Sob pressão das ONGs, a União Européia aprovou o banimento dos testes de cosméticos em animais, e as empresas européias podem se adequar até 2009 (Anauate, 2006).

Segundo Ferrari (2004), na Europa e Estados Unidos, muitas faculdades não mais utilizam animais, oferecendo substitutos em todos os setores, o que prova que as alternativas são viáveis.

De acordo com Jukes et al. (2003) as alternativas são uma ajuda à educação humanitária e à abordagem de ensino que pode substituir a utilização de animais. Tipicamente utilizada em combinação com os objetivos de ensino existentes e para fornecimento de outros resultados educacionais que não podem ser encontrados através de experimentos animais, elas compreendem: filmes e vídeos modelos; manequins e simuladores; simulação multimídia em computador; utilização ética de cadáveres e tecidos animais; clínica médica com pacientes animais e voluntários; auto-experimentação do estudante; práticas laboratoriais *In vitro*, e estudos de campo.

Ferrari (2004) afirma que esta é uma tendência mundial, da qual o Brasil é adepto, o que se observa pelo fato de determinadas universidades brasileiras estarem se empenhando no uso e aperfeiçoamento das técnicas alternativas.

Mas, segundo Scheila Moura, da Sociedade Fala Bicho, a resistência em utilizar técnicas alternativas esconde um dogma. “Muitos cientistas reconhecem que existem substitutos para os animais, mas ainda assim usam as cobaias por medo de que seu estudo seja questionado por não usar o método tradicional. Essa mentalidade precisa mudar.” (Vergara, 2001).

Ferrari (2004), diz ainda que o Brasil tem acompanhado os países de Primeiro Mundo no que se refere à problemática jurídico-normativa da experimentação animal, entretanto, a legislação sobre a questão ainda é incipiente. Limita-se a normas para a prática didático-científica da vivissecção de animais, fixadas por meio da Lei nº 6.638 de 1979, e à tipificação da realização de “experiência dolorosa ou cruel em animal vivo” como crime ambiental, ainda que para fins didáticos ou científicos, quando existirem *recursos alternativos*, de acordo com a Lei nº 9.605 de 1998 (Lei dos Crimes Ambientais).

Para garantir a proteção do meio ambiente, o primeiro a ser atingido caso ocorra o processo de lixiviação de resíduos perigosos, deve-se ter certeza que os lixiviados tóxicos sejam assim identificados. A maneira mais rápida de identificação de compostos tóxicos em meio aquático são os testes ecotoxicológicos, onde se utilizam organismos

representantes deste meio, e suas reações são observadas num período de até 48 horas. Se um lixiviado tóxico alcançar um corpo d'água, certamente atingirá primeiro espécies como algas, microorganismos e outros animais invertebrados de níveis tróficos inferiores. Por isso estas são as espécies mais utilizadas em testes ecotoxicológicos. Se um composto é tóxico para estes organismos ele já pode ser considerado perigoso para o meio ambiente, pois o restante da cadeia trófica irá sofrer conseqüências. Assim, evita-se a utilização de animais vertebrados ou mamíferos nos testes toxicológicos, e ainda tem-se uma forma rápida de identificação de um resíduo perigoso para o meio ambiente. Deste modo é possível providenciar a sua correta disposição, evitando o processo de lixiviação.

4. METODOLOGIA

4.1 Aterro Sanitário e Industrial de Blumenau – Blumenau/SC

O Aterro Sanitário e Industrial de Blumenau localiza-se em Blumenau/SC, sendo operado e administrado pela empresa Momento Engenharia Ambiental Ltda.

Encontra-se em operação desde 1999, e recebe resíduos de todo o Estado de Santa Catarina, principalmente das regiões do Médio e Alto Vale do Itajaí. A Figura 2 apresenta o empreendimento.



FIGURA 2 – Aterro Industrial e Sanitário de Blumenau.

Fonte: Gorigoitía, 2003.

De acordo com Gorigoitía (2003), o Aterro Industrial e Sanitário de Blumenau está devidamente licenciado para recebimento, tratamento e disposição final de resíduos Classe I e Classe II.

Os resíduos de Classe I e de Classe II são tratados separadamente, sendo que alguns resíduos desta última classe são dispostos diretamente na célula de aterramento. Os resíduos pastosos, de classe II, recebem tratamento por solidificação. Os resíduos pastosos de Classe I também recebem tratamento por solidificação, porém em bateladas e em Célula de Tratamento provido de Sistema de Exaustão e Lavação de Gases. Os resíduos Classe I que não podem ser processados desta forma podem ser prensados ou encapsulados, dependendo de suas características. Ambos os locais de tratamento de resíduos Classe I e Classe II possuem poços de coleta de percolado para posterior tratamento.

Pelo fato do Aterro Classe I possuir cobertura nas células, a geração de percolado é mínima e o mesmo é tratado por solidificação. Os percolados gerados no Aterro Classe II, são transportados através da rede de coleta de percolados, passam por um sistema de gradeamento, desarenação e medição de vazão, e em seguida são armazenados no tanque de equalização.

Após sua equalização, o efluente bruto é transferido para o tanque de pré-aeração de onde é bombeado para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). O efluente bruto que chega a ETE recebe três tratamentos distintos:

- Primeiramente tratamento físico químico (Primário), que consiste na adição de produtos como corretor de pH, coagulante e floculante para formação de floco e remoção de algumas impurezas que ficam retidas no decantador primário.
- O sobrenadante da etapa anterior segue para o tratamento biológico por lodos ativados (Secundário). Nesta etapa microorganismos como bactérias filamentosas, protozoários, metazoários e outros, desempenham a função de degradação dos compostos do efluente, principalmente da matéria orgânica, sempre alimentados com nutrientes e oxigênio necessário. Os aeradores do tratamento biológico podem ser usados de formas alternadas, conforme as cargas dos percolados, dando alta eficiência e margem de manobra para que o tratamento seja efetivo. Após o tratamento biológico o efluente vai para o decantador secundário onde o lodo se deposita no fundo sendo uma parte recirculada e outra descartada.
- O sobrenadante recebe novamente tratamento físico químico (Terciário), como polimento final, passa pelo decantador terciário onde o lodo fica retido, e o efluente tratado segue para o rio.

Os lodos descartados (flocos com impurezas e/ou massa biológica retidos nos decantadores) da ETE são desaguados em leito de secagem e posteriormente encaminhados para tratamento na Usina de Solidificação de Lodos.

4.2 Amostragem de Resíduos

Neste trabalho, a amostragem de campo foi realizada conforme os procedimentos da NBR 10007 (ABNT, 2004d), e a amostragem de laboratório baseou-se no Fluxograma de Lixiviação - Anexo B - da NBR 10005 (ABNT, 2004b).

As 32 amostras utilizadas foram coletadas no Aterro Industrial e Sanitário de Blumenau - AISB, logo que os resíduos entraram no estabelecimento. As amostras se apresentavam nos estados sólido, líquido ou pastoso, e foram acondicionadas em frascos de polietileno, devidamente tampados e identificados. Em seguida, as amostras foram preservadas em caixas térmicas de isopor com gelo comum e transportadas para o Laboratório de Toxicologia Ambiental.

As amostras que seriam utilizadas em até dois dias após a coleta permaneceram refrigeradas à temperatura de 4°C e ao abrigo da luz. As amostras que não seriam utilizadas no período de dois dias após a coleta foram congeladas à temperatura de -18°C, para posterior realização dos ensaios toxicológicos.

4.2.1 Descrição das amostras de resíduos industriais

A descrição das amostras está na Tabela 2, conforme o laudo de classificação apresentado ao AISB.

TABELA 2 – Descrição das amostras de resíduos industriais coletados no AISB, conforme classificação da NBR 10004:2004.

| Amostra n ^o . | Resíduo Industrial - Descrição | Classificação - NBR 10004 |
|--------------------------|---|---------------------------|
| 1 | Areia de fundição proveniente da indústria metalúrgica. | II A |
| 2 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 3 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 4 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 5 | Borra de tinta proveniente da pintura de equipamentos elétricos | I |
| 6 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 7 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria de papel e celulose. | II A |
| 8 | Resíduo proveniente do processo de lavagem de telas. | I |
| 9 | Borra de óleo proveniente de equipamentos de filtração. | I |
| 10 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 11 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 12 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria alimentícia. | II A |
| 13 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria alimentícia. | II A |
| 14 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria alimentícia. | II A |
| 15 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente de uma estação de tratamento de água. | II A |
| 16 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente do processo de galvanoplastia. | II A |
| 17 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria de equipamentos elétricos. | II A |
| 18 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria química. | II A |
| 19 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 20 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria de papel e celulose. | II A |
| 21 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 22 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 23 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 24 | Lodo de leito de secagem proveniente do processo de lavagem de bombonas e tambores. | I |
| 25 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente do processo de galvanoplastia. | I |
| 26 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 27 | Borra de tinta proveniente da pintura de automóveis. | I |
| 28 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria de equipamentos de filtração. | I |
| 29 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 30 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria têxtil. | II A |
| 31 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria de papel e celulose. | II A |
| 32 | Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente da indústria química. | II A |

Fonte: Laudo de classificação apresentado ao AISB.

4.3 Ensaios de Lixiviação

A lixiviação, de acordo com a NBR 10005 (ABNT, 1987), é o processo para determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator.

A Norma Técnica NBR 10005 (ABNT, 2004b): “Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos”, têm por objetivo fixar os requisitos exigíveis para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados pela NBR 10004 como classe I – perigosos – e classe II – não perigosos.

Para aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação.

NBR 10007:2004 – Amostragem de resíduos – Procedimento.

AWWA – APHA – WPCI – Standard methods for the examination of water and wastewater.

USEPA – SW 846 – Test methods for evaluating solid waste – Physical/chemical methods.

4.3.1 Procedimentos

A NBR 10005 (ABNT, 2004b) possui diversos procedimentos, que mudam conforme o teor de sólidos da amostra, e se ela é volátil ou não. Para a análise das amostras coletadas considerou-se que todos os resíduos continham um teor de sólidos igual a 100%, e que não eram voláteis. Deste modo, utilizou-se o primeiro procedimento da Norma – “5.2 Lixiviação para resíduos contendo teor de sólidos igual a 100%”, e em seguida - “5.2.1 Lixiviação de não voláteis”.

O processo de lixiviação neste trabalho se deu de uma forma mais simples do que a proposta pela NBR 10005, para que não houvesse alterações no composto original das amostras coletadas na entrada do Aterro Industrial e Sanitário de Blumenau. Assim, não foram utilizadas soluções de extração (que contêm ácidos), e nem filtros ou peneiras para reduzir o tamanho dos grãos contidos nas amostras.

Baseando-se no Anexo B na Norma NBR 10005, e simplificando-se alguns passos daquele fluxograma, obteve-se o seguinte fluxograma de lixiviação:

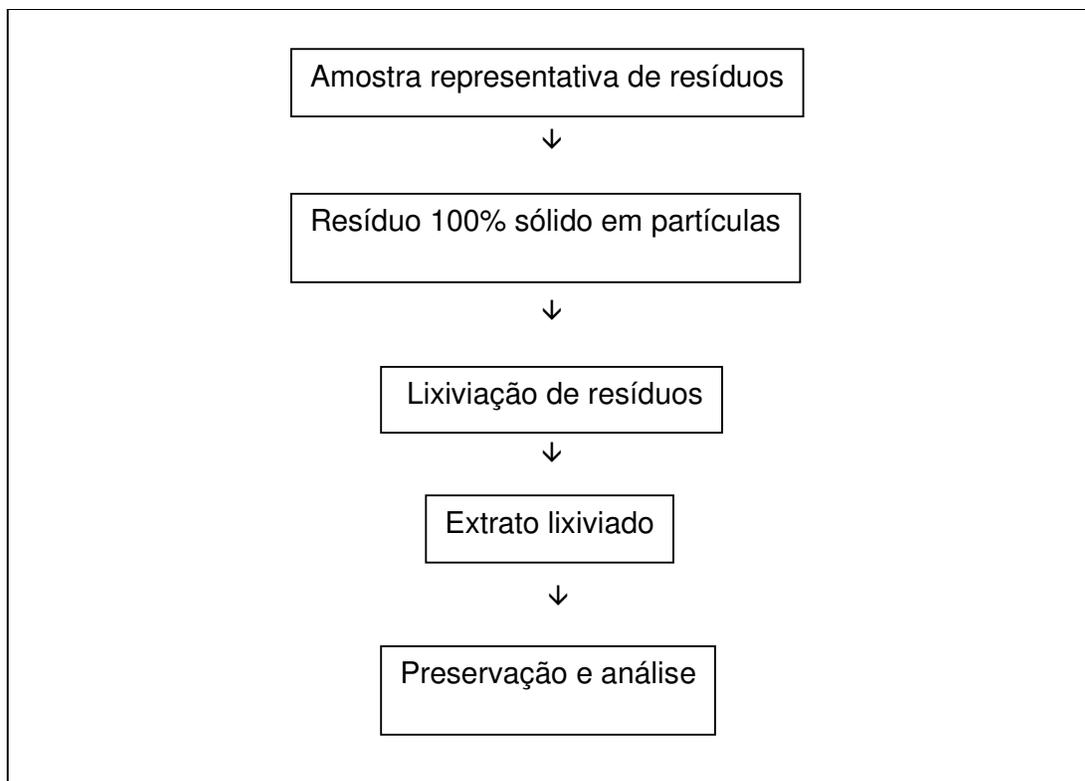


FIGURA 3 - Fluxograma de Lixiviação de Resíduos, baseado no Anexo B da NBR 10005 (ABNT, 2004b).

Os equipamentos utilizados para o processo de lixiviação foram:

- a) agitador mecânico;
- b) medidor eletrométrico de pH com subdivisões de 0,1 unidade da escala de leitura (pHmetro marca ORION – modelo 210);
- c) balança com precisão de $\pm 0,01$ g.
- d) frascos de lixiviação de vidro borossilicato.

O procedimento de preparação da amostra se deu da seguinte maneira: 100 g de amostra bruta foram pesados com uma balança analítica de precisão, e adicionados a 2,0 litros de água deionizada no frasco de lixiviação. O frasco foi devidamente tampado e utilizou-se fita de PTFE para evitar vazamentos. O frasco foi mantido sob agitação durante 18 horas, com uma rotação de 30 rpm, no agitador rotatório.

Neste trabalho, a correção do pH durante o processo não foi realizada (como é sugerido pela NBR 10005), pois a adição de ácidos ou bases modificaria a amostra

original, e assim não refletiria com muita eficiência as conseqüências que poderiam ser observadas nos organismos em ambiente natural.

Após a agitação, as amostras tiveram seu pH e Oxigênio Dissolvido medidos, e imediatamente o sobrenadante da amostra foi utilizado nos ensaios de toxicidade aguda, sem que houvesse filtração. Os dados obtidos serviram apenas para controle da qualidade da água, indicando se o teste de toxicidade aguda poderia ser feito sob estas condições, e se ele poderia ser considerado eficiente. A metodologia seguida para a realização destes testes encontra-se descrita em Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA et al, 1995).

Como neste trabalho o ensaio de lixiviação foi realizado de uma forma mais simples, apenas para se ter uma quantidade líquida da amostra bruta do resíduo sólido industrial, não foi possível obter a classificação do resíduo, pois os testes para determinação dos componentes do lixiviado não foram empregados.

As amostras do lixiviado foram preservadas sob refrigeração a 4°C nos frascos de lixiviação, por um período de até 7 dias, caso fosse necessária a sua utilização em mais de um ensaio toxicológico.

4.4 Ensaio de Toxicidade Aguda

No Estado de Santa Catarina os ensaios de toxicidade aguda são regulamentados pela Fundação do Meio Ambiente – FATMA, pela Portaria nº 017/02, que estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para Efluentes de Diferentes Origens.

4.4.1 Cultivo de *Daphnia magna*

Para a realização dos ensaios de toxicidade aguda foram utilizados os organismos-teste *Daphnia magna* Straus, 1820, que são cultivados no Laboratório de Toxicologia Ambiental (LABTOX) – ENS/ UFSC.

O cultivo do organismo-teste foi realizado segundo as normas ISO 6341 (1996) e DIN 38412 (1989). Foram utilizados recipientes com capacidade para 1500mL de meio de cultura M4, meio utilizado para crescimento dos organismos. Os organismos foram alimentados, diariamente, com cultura algácea de *Scenedesmus subspicatus*, produzida no LABTOX – ENS/ UFSC, conforme ISO 8692 (1986).

Cada lote comportou de 25 a 30 indivíduos, exclusivamente fêmeas, pois elas são geneticamente idênticas. As culturas foram mantidas em ambiente com temperatura controlada a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e em fotoperíodo de 16 horas, condições obtidas através do uso de um germinador. Os lotes receberam manutenção duas vezes por semana, quando foi observada a possível ocorrência de efípios, e realizada a troca do meio de cultura, eliminação das carapaças e retirada dos filhotes.

A cada mês, a sensibilidade do organismo teste foi avaliada através de um ensaio com a substância de referência dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), e os resultados foram considerados satisfatórios, aprovando os lotes para a utilização nos ensaios toxicológicos.

4.4.2 Procedimentos

Para avaliar a toxicidade aguda das amostras de resíduos sólidos provenientes do aterro industrial foi necessário primeiramente realizar o processo de lixiviação. Depois deste processo as amostras foram diluídas em diferentes concentrações, as quais foram utilizadas em todos os ensaios. Estas concentrações estão padronizadas conforme a Portaria nº 017/02 da FATMA. Para as atividades não inseridas na tabela I desta Portaria o limite máximo de toxicidade aguda para *Daphnia magna* é $\text{CE}_{50} 48\text{h} = 12,5\%$ ou $\text{FD} = 8$. Assim, neste trabalho, foram utilizadas as concentrações 12,5; 16,6; 25; 33,3; 50 e 100% .

A CE_{50} representa a concentração nominal da amostra, no início do ensaio, que causa efeito agudo (imobilidade) a 50% dos organismos durante o tempo de exposição (Knie; Lopes, 2004). Os cálculos para se obter a porcentagem de mortalidade por concentração (CE_{50}) foram realizados a partir dos dados de imobilidade dos organismos testados em cada concentração. Para isto foram utilizados os métodos estatísticos Probit Method (Weber, 1993) para dados paramétricos e Trimmed Sperman-Karber Method (Hamilton et al., 1977) para dados não paramétricos.

Foram determinados ainda os valores do FD (Fator de Diluição) – a menor diluição da amostra na qual não se observa efeito deletério sobre o organismo teste, sendo efeito deletério imobilidade igual a 10%.

A CE_{50} foi monitorada em períodos de 6, 12, 24 e 48 horas. O monitoramento da CE_{50} em 6 e 12 horas foi incluído nesta pesquisa a fim de verificar se os resultados já poderiam ser obtidos em um tempo menor de exposição. Estes períodos não estão regulamentados por normas.

Para cada amostra foi realizado apenas um teste. Houve casos em que não foi possível calcular a CE50 devido à imobilidade de todos os organismos, assim, o teste foi repetido com concentrações mais baixas da amostra, até que se encontrasse o valor onde os efeitos deletérios não fossem observados.

Cada recipiente com amostra produzida recebeu 25 ml da diluição e neles foram inseridos 10 daphnias jovens (entre 2 e 26 horas de vida). Como os testes foram realizados em duplicata, para cada concentração foi observada a imobilidade de 20 indivíduos. O período de exposição foi de 48 horas, sem alimentação e luminosidade e temperatura de $20 \pm 2^{\circ}$ C, conforme sugerido pela norma da CETESB (1986) para *Daphnia similis* e outras normas pertinentes (ISO 6341, 1996; DIN 38412, 1989). Em todos os ensaios foram observados os seguintes parâmetros:

- a) número de organismos imóveis em cada concentração;
- b) concentração mínima onde os efeitos tóxicos são observados (expresso em Fator de Diluição);
- c) concentração máxima onde os efeitos tóxicos são observados (expresso em Fator de Diluição);
- d) concentração letal (expresso em Fator de Diluição);
- e) CE50 (expresso em porcentagem).

Os valores destes parâmetros encontrados para cada amostra estão disponibilizados nos Anexos I e II.

Para que se tivesse um controle dos ensaios, um recipiente com meio teste (meio ISO) com 25 ml foi mantido com 10 daphnias jovens. Este controle também foi realizado em duplicata. O meio ISO é composto por: cloreto de cálcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), a uma concentração de 73,52 g/L; sulfato de magnésio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), a uma concentração de 123,3 g/L; cloreto de potássio (KCl), a uma concentração de 5,8 g/L; e bicarbonato de sódio (NaHCO_3), efetuando filtração estéril da solução, a uma concentração de 64,8 g/L. O ensaio foi considerado válido quando a porcentagem de organismos imóveis no controle não excedeu 10%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nas tabelas a seguir referem-se à concentração efetiva CE50, pH e oxigênio dissolvido após os ensaios de lixiviação nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas.

A faixa de pH recomendada para testes de toxicidade fica entre 5,0 e 9,0, e o O₂ dissolvido, nas diluições-teste, ao final do ensaio, deve ser maior ou igual a 2mg/L. Neste trabalho o O₂ dissolvido foi medido apenas antes do ensaio de toxicidade, na amostra lixiviada bruta, e o pH não foi corrigido para se enquadrar na faixa recomendada para testes.

5.1 Descrição dos resultados de acordo com o tipo de resíduo analisado

5.1.1 Lixiviados de Resíduos da Indústria Têxtil

As amostras 2, 3, 4, 6, 10, 11, 19, 21, 22, 23, 26, 19 e 30 são lixiviados de lodos de estação de tratamento de indústrias têxteis. Na Tabela 3 podem ser observados os valores de pH e O₂ dissolvido, além da CE50 (%) para os períodos de 6, 12, 24 e 48 horas.

TABELA 3 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados da Indústria Têxtil.

| LODOS DE INDÚSTRIA TEXTIL | CE 50 (%) | | | | pH | O ₂ dissolv. (mg/L) |
|---------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|
| | 6H | 12H | 24H | 48H | | |
| 2 | - | - | - | - | 6.71 | 0.6 |
| 3 | - | - | - | - | 7.68 | 0.4 |
| 4 EMPRESA B | 12.50 | 5.63 | 4.41 | 4.01 | 12.06 | 6.7 |
| 6 | - | - | - | - | 6.93 | 2.4 |
| 10 | - | - | - | - | 7.52 | 6.3 |
| 11 | x | x | x | x | 5.07 | 5.6 |
| 19 | 22.89 | 13.30 | 0.4 | x | 10.81 | 5.6 |
| 21 | - | - | - | 89.9 | 6.55 | 2.90 |
| 22 EMPRESA A | - | - | 35.85 | 19.36 | 4.87 | 4.0 |
| 23 | - | - | 73.48 | 70.71 | 6.44 | 0.7 |
| 26 | - | - | - | - | 9.03 | 5.7 |
| 29 EMPRESA B | 6.25 | 4.41 | 4.26 | 4.11 | 12.27 | 5.1 |
| 30 EMPRESA A | - | 9.68 | 9.51 | 8.75 | 4.28 | 4.0 |

Nas amostras 2, 3, 6, 10 e 26 não foi possível calcular a CE50, pois estas não apresentaram quantidade suficiente de organismos imóveis. O pH mais baixo entre estas amostras foi de 6,55 e o mais alto foi 9,03. Mesmo com valor de oxigênio dissolvido muito baixo (0,6mg/L) a amostra 2 teve apenas 3 organismos imóveis na concentração 100% após um período de 48 horas. A amostra 3 não apresentou nenhum organismo imóvel na concentração 100%, e a amostra 26 apresentou 3 organismos imóveis na concentração 50% em 48 horas e apenas 1 na concentração 100%. As amostras 6 e 10 apresentaram o pH e o O₂ dissolvido nas faixas recomendadas. A amostra 6 teve apenas 2 organismos imóveis na concentração 100% e a amostra 10 não apresentou nenhum organismo imóvel em nenhuma concentração ao final de 48 horas de ensaio. Estes resultados demonstram que as amostras podem ser consideradas de baixa toxicidade, já que não foi possível calcular a CE50 em nenhuma delas (Figura 4).

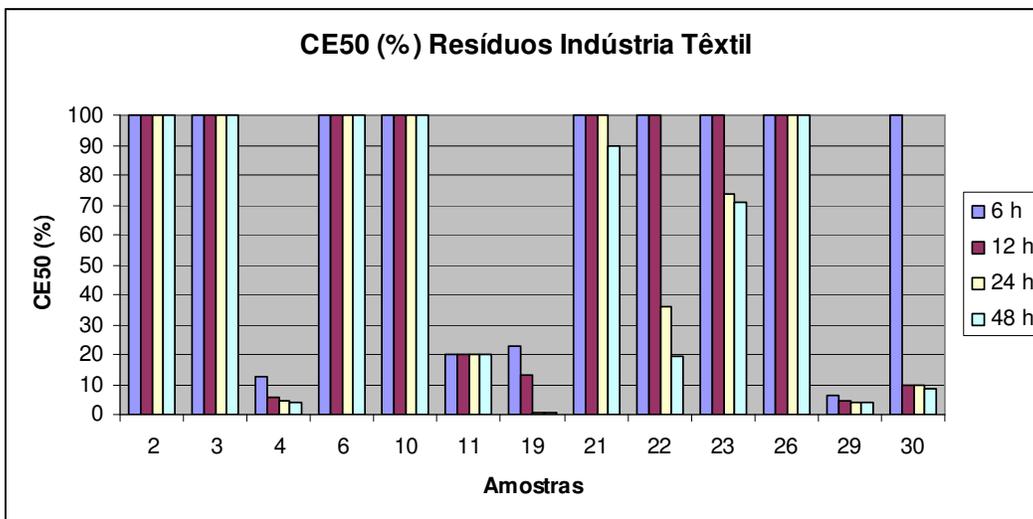


FIGURA 4 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado.

As amostras 4 e 29 são amostras de uma mesma empresa, porém suas coletas foram realizadas em períodos diferenciados. Estas amostras apresentaram valores de pH parecidos, mas muito acima do valor recomendado para testes de toxicidade. A faixa de O_2 dissolvido estava entre os valores recomendados. Já nas primeiras seis horas de teste foi possível visualizar que a amostra 4 era muito tóxica, pois a concentração 12,5% foi letal para os organismos. Ao final de 48 horas a concentração letal foi de 6,25%, e isto resultou em valores de CE50 muito baixos (4,01%). A amostra 29 apresentou as mesmas concentrações letais para os organismos testados, e isto resultou em valores de CE50 parecidos com os valores encontrados na amostra 4, indicando que esta amostra também apresentava alta toxicidade (CE50 = 4,11%). Na Figura 3 é possível observar a proximidade de resultados da CE50 (%) destas duas amostras.

As amostras 22 e 30 também têm origem em uma mesma empresa, e foram coletadas em dias diferentes. Pode-se observar na Tabela 3 que estas amostras apresentaram pH semelhantes, mas com valores um pouco abaixo do valor recomendado para testes de toxicidade (pH 4,87 e 4,28). O valor de O_2 dissolvido das duas amostras foi igual, e estava dentro dos valores recomendados. A amostra 22 começou a apresentar efeitos tóxicos após 24 horas de teste e após 48 horas a concentração 50% foi letal para os organismos. A amostra 30 começou a apresentar efeitos tóxicos na concentração 12,5%, já nas primeiras 6 horas de teste, indicando que a amostra poderia ser considerada bastante tóxica. Em 24 horas a concentração 16,6%

foi letal para os organismos e ao final de 48 horas a concentração letal foi de 12,5%. O elevado número de organismos imóveis resultou em valores de CE50 bastante baixos para as duas amostras (CE50 48h da amostra 22 = 19,36% e CE50 48h da amostra 30 = 8,75%).

A amostra 11 apresentou valores de pH e O₂ dissolvido de acordo com os valores recomendados para testes. Esta amostra foi diluída até a concentração 0,39% e mesmo assim, não foi possível calcular a sua CE50 e nem a concentração que não apresenta efeitos tóxicos. Nas seis primeiras horas de teste foi possível observar que a amostra apresentaria alta toxicidade, pois 18 organismos ficaram imóveis na concentração 0,39%. Em 24 horas, a amostra apresentou concentração letal na diluição 0,78%, e em 48 horas todos os organismos, em todas as concentrações testadas, ficaram imóveis.

A amostra 19 apresentou pH 10,81, valor acima do recomendado, mas o valor de O₂ dissolvido estava de acordo. Nas primeiras seis horas de teste a concentração letal foi em 33,3%, o que já indicava uma amostra com potencial tóxico alto. Esta amostra foi diluída até concentração 0,195%, e ao final de 48 horas de teste todos os organismos permaneceram imóveis, assim, não foi possível calcular a CE50 neste período. Os valores de CE50 calculados em 6, 12 e 24 horas indicaram uma amostra muito tóxica (Figura 4), com valores de CE50 entre 22,89% e 0,4%.

A amostra 21 apresentou valores de pH e O₂ dissolvido dentro do recomendado para testes de toxicidade. Não apresentou concentração letal, e foram observados efeitos tóxicos apenas depois de 24 horas de teste, somente na concentração 100%. A CE50 48h foi de 89,09%, o que indica uma amostra com baixa toxicidade.

A amostra 23 apresentou valor de pH dentro do recomendado, mas o valor de O₂ dissolvido foi de 0,7 mg/L, um valor considerado baixo para testes. Apenas depois de 24 horas de teste 18 organismos permaneceram imóveis na concentração 100%. 48 horas após o início do teste a concentração letal foi em 100%, mas abaixo desta nenhum organismo foi afetado. Isto poderia ser um reflexo do valor de O₂ dissolvido desta amostra. Com valores de CE50 na faixa de 70% a amostra foi considerada como de baixa toxicidade (Figura 4).

5.1.2 Lixiviados de Resíduos da Indústria de Papel e Celulose

As amostras 7, 20 e 31 são amostras de lixiviados de lodos de estação de tratamento de indústria de papel e celulose. Todas as amostras apresentaram valores de pH e O₂ dissolvido de acordo com os valores recomendados para testes de toxicidade (Tabela 4).

TABELA 4 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados da Indústria de Papel e Celulose.

| LODOS DE INDÚSTRIA PAPEL/CELULOSE | CE 50 (%) | | | | pH | O ₂ dissolv. (mg/L) |
|--------------------------------------|-----------|-----|-----|-----|------|--------------------------------------|
| | 6H | 12H | 24H | 48H | | |
| 7 | - | - | - | - | 7.45 | 3.0 |
| 20 | - | - | - | - | 6.96 | 2.5 |
| 31 | - | - | - | - | 7.67 | 4.3 |

A amostra 7 apresentou apenas 4 organismos imóveis na concentração 100% ao final de 24 horas de teste, tendo um total de 8 organismos imóveis ao final de 48 horas de teste. Esta amostra apresentou ainda 8 organismos imóveis na concentração 50% após 48 horas. Não foi possível calcular a CE50 desta amostra, pois poucos organismos permaneceram imóveis, assim, a amostra foi considerada como de baixa toxicidade (Figura 5).

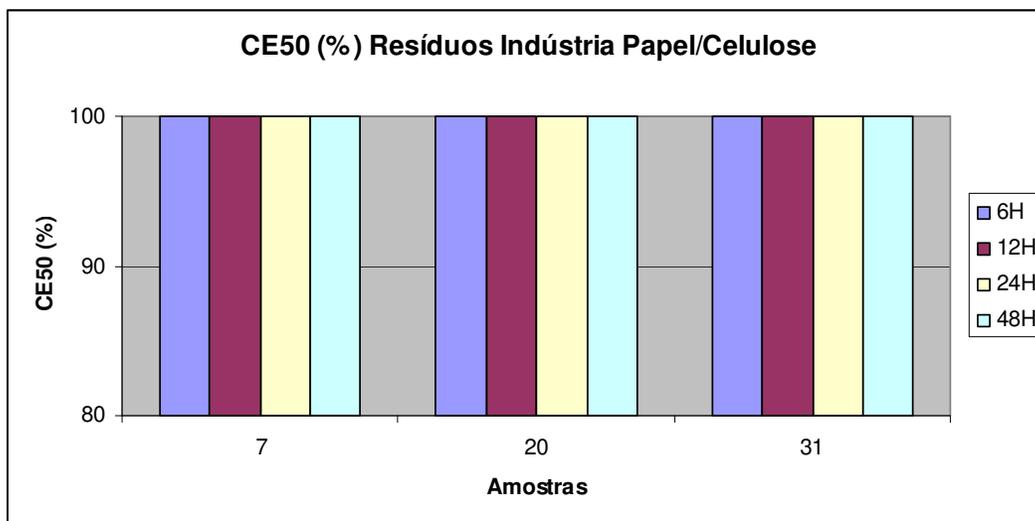


FIGURA 5 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado da Indústria de Papel e Celulose.

A amostra 20 não apresentou nenhum organismo imóvel ao final de 48 horas de teste. Visualizando-se a Figura 5 nota-se que não foi possível calcular a CE50 da amostra, e ela foi considerada como de baixa toxicidade.

A amostra 31 apresentou apenas 1 organismo imóvel nas concentrações 100, 50, e 25% ao final de 48 horas de teste, mas 2 organismos foram encontrados imóveis na concentração 33, 3%. Mesmo assim estes resultados não são significativos para o cálculo da CE50 desta amostra, e por isso ela foi considerada de baixa toxicidade.

5.1.3 Lixiviados de Resíduos da Indústria Química

As amostras 18 e 32 são lixiviados de lodos de estação de tratamento de indústria química. Na Tabela 5 pode-se observar que as duas amostras apresentaram pH mais elevado do que o valor recomendado para testes de toxicidade (11,38 e 9,32), e a amostra 32 apresentou O₂ dissolvido abaixo do valor recomendado (0,5 mg/L).

TABELA 5 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados da Indústria Química.

| LODOS DE INDÚSTRIA QUÍMICA | CE 50 (%) | | | | pH | O ₂ dissolv. (mg/L) |
|----------------------------|-----------|------|-------|-------|-------|--------------------------------|
| | 6H | 12H | 24H | 48H | | |
| 18 | 50.0 | 5.31 | 2.53 | 1.61 | 11.38 | 7.1 |
| 32 | - | - | 72.01 | 70.71 | 9.32 | 0.5 |

A amostra 18, ao final de 6 horas de teste, apresentava 20 organismos imóveis na concentração 100% e 10 na concentração 50%. Estes resultados já indicavam uma amostra com potencial tóxico bastante alto, pois foram observados ainda 9 organismos imóveis em 33, 3% e 5 organismos imóveis em 25% e 16,6%. O pH pode ter sido um fator importante para os efeitos de imobilidade observados na concentração 100%, mas isto não justifica os 20 organismos imóveis na concentração 25% ao final de 12 horas de teste. Assim, o pH não foi considerado um fator determinante de imobilidade. Ao final de 24 horas a concentração letal foi 6,25%, e se manteve assim após 48 horas de teste. Apenas na concentração 0,195% não foram observados efeitos tóxicos nos organismos testados. Esta amostra apresentou valores de CE50 muito baixos (5,31; 2,53 e 1,61% em 12, 24 e 48 horas de teste), indicando um lixiviado bastante tóxico (Figura 6).

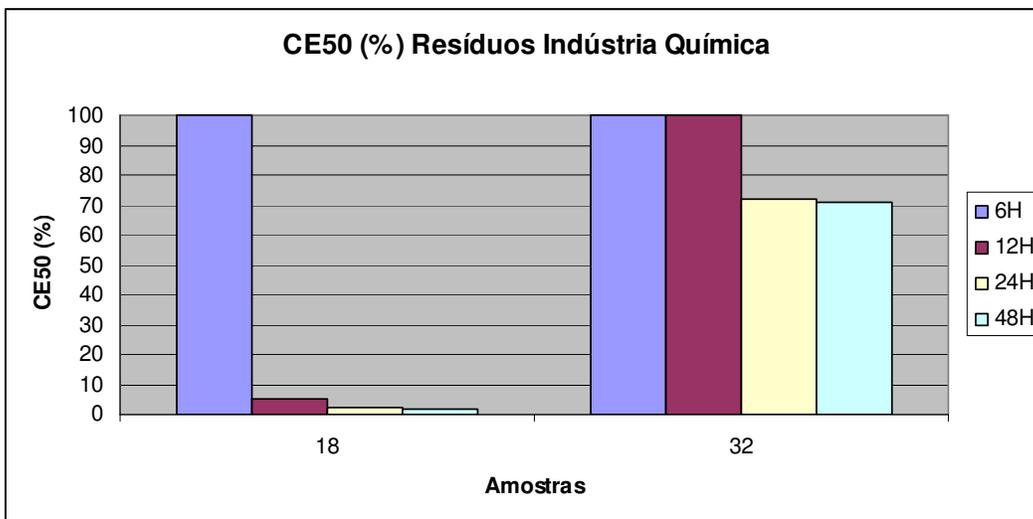


FIGURA 6 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado da Indústria Química.

É interessante observar que os valores de pH e O₂ dissolvido dentro dos valores recomendados nem sempre influenciam no resultado final do teste de toxicidade, já que a amostra 32, com valores de pH e O₂ dissolvido fora da faixa recomendada (pH 9,32 e O₂ dissolvido 0,5 mg/L), não apresentou efeitos tóxicos muito significativos durante o teste. Os efeitos foram observados apenas na amostra bruta, ou seja, concentração 100% do lixiviado, resultando em 19 organismos imóveis ao final de 24 horas de teste. Em 48 horas esta concentração foi letal, mas em nenhuma outra foi observado efeito tóxico. Assim, na Figura 6 visualiza-se que não foi possível calcular a CE50 em 6 e 12 horas, pois poucos organismos permaneceram imóveis. A CE50 em 24 e 48 horas permaneceu praticamente no mesmo valor, na faixa de 70%, indicando uma amostra de baixa toxicidade.

5.1.4 Lixiviados de Resíduos da Indústria Metal-Mecânica

As amostras 1, 9, 16, 17, 25 e 28 são lixiviados de resíduos da indústria metal-mecânica. Na Tabela 6 observam-se os valores de CE50 (%), pH e de O₂ dissolvido destas amostras.

TABELA 6 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados da Indústria Metal-Mecânica.

| LODOS DE INDÚSTRIA METAL/MECÂNICA | CE 50 (%) | | | | pH | O ₂ dissolv. (mg/L) |
|---|-----------|-------|-------|-------|------|--------------------------------|
| | 6H | 12H | 24H | 48H | | |
| 1 - AREIA DE FUNDIÇÃO (RESÍDUO DE METALURGIA) | 52.65 | 35.90 | 24.67 | 18.74 | 8.2 | 4.8 |
| 9 - BORRA DE ÓLEO | 0.18 | 0.16 | 0.13 | 0.06 | 6.0 | - |
| 16 - LODO DE ETE GALVÂNICO | - | 88.91 | 72.36 | 66.0 | 6.27 | 4.10 |
| 17 - LODO DE ETE EQUIP. ELÉTRICOS | - | 70.71 | 56.75 | 35.26 | 6.94 | 1.3 |
| 25 - LODO DE ETE GALVÂNICO | - | - | - | 82.77 | 7.52 | 4.6 |
| 28 - LODO DE ETE EQUIP. FILTRAÇÃO | x | x | x | x | 5.0 | - |

A amostra 1, areia de fundição, é um resíduo de metalurgia e apresentou pH e O₂ dissolvido dentro dos valores recomendados para testes de toxicidade (Tabela 6). Após 6 horas, 19 organismos estavam imóveis na concentração 100%, indicando uma amostra com potencial tóxico alto (Figura 7). Em 12 horas de teste a concentração 33,3% já apresentava 8 organismos imóveis. Em 24 horas a concentração 50% foi letal, e em 48 horas isto ocorreu na concentração 25%. Os valores de CE50 calculados demonstraram que a amostra é muito tóxica, pois os valores encontrados ficaram na faixa entre 35,90% (após 12h de teste) e 18,74% (após 48h de teste).

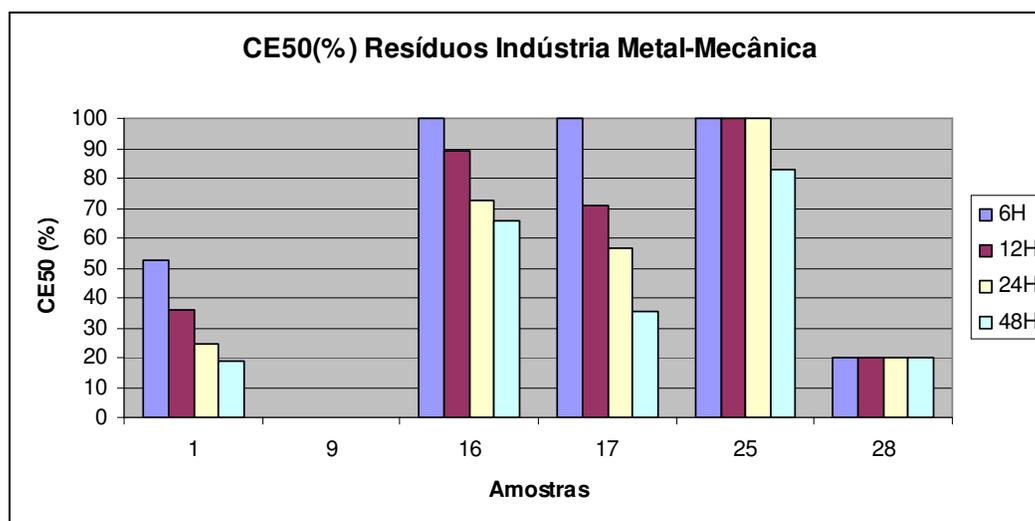


FIGURA 7 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado da Indústria Metal-Mecânica.

A amostra 9, borra de óleo, de classe I - perigosa, tinha o valor de pH dentro do recomendado, mas não foi possível observar o seu valor de O₂ dissolvido. Esta amostra

necessitou de muitas diluições para que fosse encontrada a diluição que não mais causasse efeito tóxico agudo nos organismos testados. A diluição encontrada foi a de FD 6144, ou seja, 0,0075 mL de amostra na diluição. Pelos valores de CE50 calculados (Figura 7) foi possível comprovar que a amostra 9 é altamente tóxica (CE50 48h = 0,06%).

As amostras 16 e 25 são lixiviados de lodos de estação de tratamento de galvanoplastia, e apresentaram pH e O₂ dissolvido dentro dos valores recomendados para testes. Na Figura 7 observa-se que a amostra 16 não apresentou nenhum efeito tóxico após 6 horas de teste. Após 12 horas, 12 organismos ficaram imóveis na concentração 100% e em 24 horas 17 organismos apresentaram os mesmos efeitos. Este número se manteve até 48 horas após o teste, e na concentração 50% apenas 5 organismos ficaram imóveis. Os valores de CE50 calculados indicaram uma amostra de baixa toxicidade até 24 horas após o início do teste. Contudo, após 48 horas de teste, a amostra foi considerada moderadamente tóxica, pois o valor encontrado foi CE50 = 66,0%.

A amostra 25 foi previamente classificada como classe I, resíduo perigoso. Surpreendentemente, esta amostra não apresentou efeitos tóxicos significativos até 24 horas depois de iniciado o teste. Apenas depois de 48 horas foi possível observar 12 organismos imóveis na concentração 100%, e mais alguns organismos imóveis nas outras diluições da amostra. O valor de CE50 48h = 82,77% indicou que a amostra tem baixa toxicidade (Figura 7).

Na Tabela 6 observa-se que o lixiviado da amostra 17 apresentou valor de pH dentro do recomendado para testes de toxicidade, e valor de O₂ dissolvido um pouco abaixo do recomendado (1,3 mg/L). Seis horas após o início do teste, apenas 4 organismos ficaram imóveis na concentração 100% da amostra, e nenhum efeito foi observado abaixo desta concentração. Após 12 horas já foi possível calcular a CE50, pois os organismos apresentaram efeitos tóxicos também na concentração 50%. Em 24 horas a concentração 100% foi letal, mas não ocorreu efeito tóxico abaixo da concentração 50%. Ao final de 48 horas a CE50 = 35,26% indicou uma amostra moderadamente tóxica.

A amostra 28, previamente classificada como classe I, apresentou pH dentro do valor recomendado para testes, mas não foi possível observar o seu O₂ dissolvido. Ela foi diluída até o valor de 0,00375 mL de amostra, e ainda nesta concentração todos os organismos testados ficaram imóveis nas primeiras 6 horas de teste. Portanto, o valor de

CE50 desta amostra não foi calculado, e ela foi considerada altamente tóxica. Não foi possível realizar outras diluições desta amostra a fim de encontrar a diluição que não mais causasse efeito tóxico nos organismos.

5.1.5 Lixiviados de Resíduos da Indústria Alimentícia

As amostras 12, 13 e 14 são lixiviados de lodos de estação de tratamento da indústria alimentícia. Na Tabela 7 nota-se que apenas a amostra 14 apresentou pH adequado para realização de testes de toxicidade, e as amostras 12 e 13 apresentaram apenas valores de O₂ dissolvido de acordo com os valores recomendados para testes.

TABELA 7 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados da Indústria Alimentícia.

| LODOS DE INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA | CE 50 | | | | pH | O ₂ dissolv. (mg/L) |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|--------------------------------|
| | 6H | 12H | 24H | 48H | | |
| 12- LODO DE ETE BEBIDAS | - | - | - | - | 5.75 | 5.9 |
| 13 - LODO DE ETE ALIMENTOS | 19.04 | 16.29 | 16.01 | 14.43 | 3.7 | 3.1 |
| 14 - LODO DE ETE ALIMENTOS | - | - | - | - | 6.1 | 1.2 |

A Figura 7 representa os valores de CE50(%) levantados das amostras de indústria alimentícia. Percebe-se claramente que as amostras 12 e 14 não apresentaram toxicidade, e que a amostra 13 é bastante tóxica.

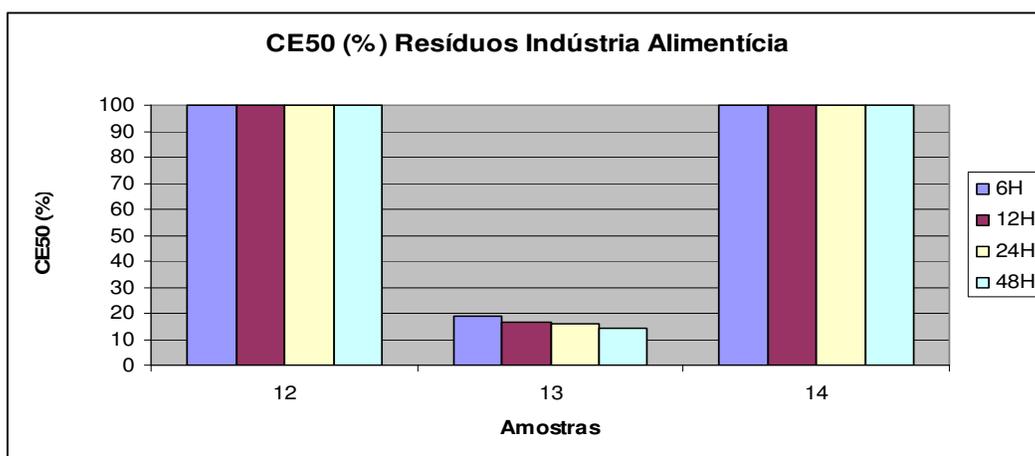


FIGURA 8 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado da Indústria Alimentícia.

A amostra 12 é proveniente de uma indústria de bebidas, e apresentou pH e O₂ dissolvido dentro dos valores recomendados para testes de toxicidade (Tabela 7). Esta amostra não apresentou efeito tóxico significativo, apenas um organismo permaneceu imóvel na concentração 100% em 12 horas após início do teste. Assim, não foi possível calcular a CE50, e ela foi considerada como sendo de baixa toxicidade.

A amostra 13 apresentou pH mais baixo do que o recomendado para testes (pH 3,7), mas o O₂ dissolvido estava dentro do valor aceitável. Nas primeiras 6 horas após o início do teste já foi possível notar que esta amostra era bastante tóxica (Figura 8), pois a concentração 25% foi letal para os organismos. Em 48 horas de teste a concentração letal foi em 16,6%, e pelos valores de CE50 calculados (na faixa entre 19,04% e 14,43%) a amostra pode ser considerada de alta toxicidade.

A amostra 14 apresentou pH dentro do valor recomendado para os testes de toxicidade, mas o valor de O₂ dissolvido estava abaixo do recomendado (1,2 mg/L). Ainda assim, nenhum organismo apresentou efeitos tóxicos no decorrer do ensaio, portanto a amostra foi considerada como sendo de baixa toxicidade (Figura 8).

5.1.6 Lixiviados de Borrás de Tinta

As amostras 5 e 27 são lixiviados de borras de tinta, e estavam classificadas conforme laudo como resíduos de classe I – perigoso. A amostra 5 é uma borra proveniente da pintura de equipamentos elétricos, já a amostra 27 é proveniente da pintura de automóveis. Conforme os resultados expressos na Tabela 8, estas amostras apresentaram pH de acordo com o recomendado para os testes de toxicidade, mas não foi possível observar o O₂ dissolvido em nenhuma delas.

TABELA 8 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados de Borrás de Tinta.

| BORRAS DE TINTA | CE 50 (%) | | | | pH | O ₂ dissolv. (mg/L) |
|-----------------|-----------|------|------|------|-----|--------------------------------|
| | 6H | 12H | 24H | 48H | | |
| 5 | 0.67 | 0.67 | 0.28 | 0.13 | 5.0 | - |
| 27 | 1.10 | 1.10 | 1.08 | 1.08 | 6.0 | - |

A amostra 5, após 6 horas do início do teste já apresentava letalidade dos organismos na concentração 1,56% . Em 48 horas, a concentração letal foi em 0,195%,

e abaixo da concentração 0,0975% não foram mais observados efeitos tóxicos. As CE50 calculadas (valores entre 0,67% e 0,13%) indicaram uma amostra extremamente tóxica (Figura 9).

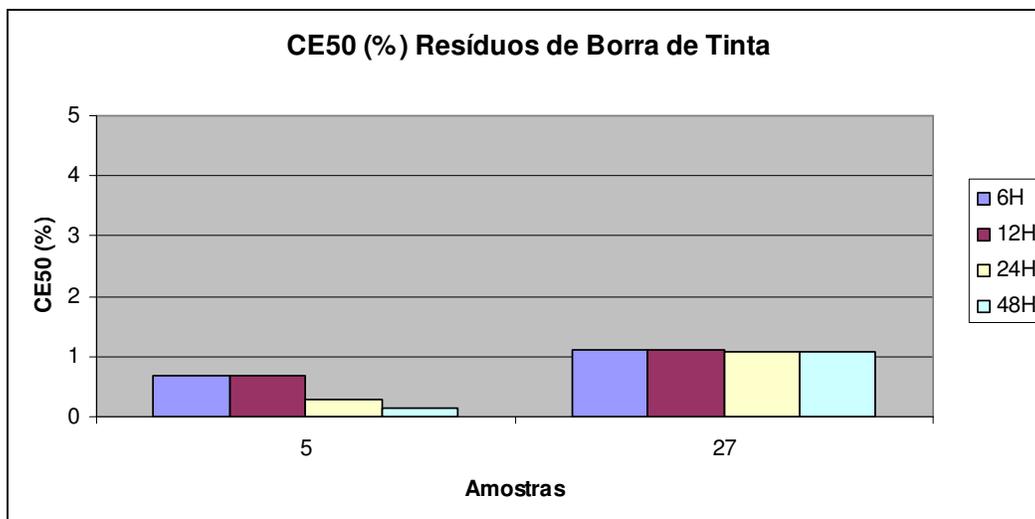


FIGURA 9 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado de Borrás de Tinta.

A amostra 27 também apresentou concentração letal 1,56% nas primeiras 6 horas de teste, e assim se manteve até o final de 48 horas de teste. Na concentração 0,78%, a primeira abaixo da concentração letal analisada, não foram observados efeitos tóxicos ao longo do teste. Mesmo assim, as CE50 calculadas, com valores em torno de 1%, indicam que a amostra é muito tóxica (Figura 9).

5.1.7 Lixiviados de outros tipos de Resíduos

As amostras 8, 15 e 24 não se enquadravam em nenhum grupo de resíduos industriais, assim, foram separadas em um outro grupo. Na Tabela 9 observam-se os valores encontrados de CE50(%), pH e O₂ dissolvido destas amostras.

TABELA 9 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados de outros tipos de Resíduos.

| OUTROS | CE 50 (%) | | | | pH | O ₂ dissolv. (mg/L) |
|--|-----------|-----|-----|-----|------|--------------------------------|
| | 6H | 12H | 24H | 48H | | |
| 8 - RESÍDUO LAVAÇÃO DE TELAS | - | - | - | - | 6.0 | - |
| 15 - LODO DE ETE DE ETA | - | - | - | - | 6.01 | 1.0 |
| 24 - LODO DE LEITO DE SECAGEM LAVAÇÃO BOBONAS E TAMBORES | x | x | x | x | 10.0 | - |

A amostra 8, lixiviado de resíduo de lavação de telas, foi previamente classificada como classe I. O pH estava de acordo com o recomendado para testes de toxicidade, mas não foi possível observar o O₂ dissolvido (Tabela 9). Após 48 horas de teste nenhum organismo apresentou efeito tóxico, portanto a amostra foi considerada de baixa toxicidade (Figura 10).

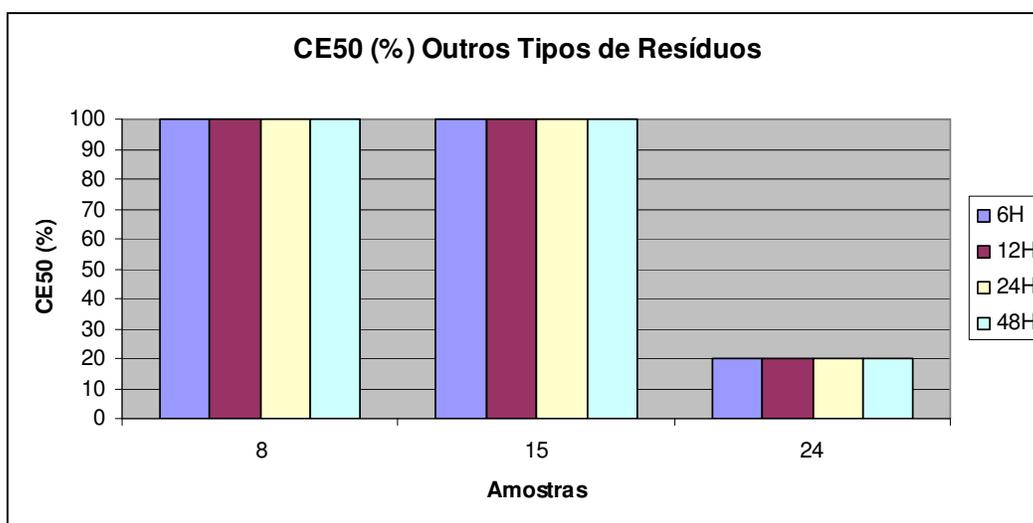


FIGURA 10 – Resultados da CE50 (%) observada nos períodos de 6, 12, 24 e 48 horas de exposição ao lixiviado de outros tipos de Resíduos.

A amostra 15, lixiviado de lodo de estação de tratamento de uma estação de tratamento de água, apresentou pH adequado para realização de testes de toxicidade. Apesar do O₂ dissolvido estar abaixo do padrão recomendado (1,0 mg/L), efeitos tóxicos só foram observados em 3 organismos na concentração 100%, e somente após 48 horas do início do teste. Não sendo possível calcular a CE50 desta amostra, pois poucos organismos permaneceram imóveis, ela foi considerada de baixa toxicidade (Figura 10).

A amostra 24, lixiviado do lodo de leito de secagem da lavação de bombonas e tambores, apresentou pH acima do valor recomendado para os testes (pH 10,0), e não foi possível observar o seu O₂ dissolvido (Tabela 9). Esta amostra foi diluída até chegar a 0,1 microlitro de lixiviado, e ainda assim efeitos tóxicos foram observados já nas 6 primeiras horas de teste (Figura 10). Ao final de 48 horas todos os organismos testados permaneceram imóveis, não sendo possível calcular os valores de CE50, então, a amostra foi classificada como altamente tóxica.

5.2 Método proposto para classificação de resíduo industrial

Segundo Saar (sem data), pesquisadores da Alemanha, no ano de 1994, apuraram valores de toxicidade de cinco ensaios ecotoxicológicos, utilizando 62 efluentes de diferentes ramos industriais. Os pesquisadores observaram a elevada sensibilidade dos testes com *D. magna* e bactérias luminescentes quando comparados aos demais testes, inclusive com o teste com peixes. Baseados nestes dados, os autores sugeriram uma classificação da toxicidade dos efluentes conforme a Tabela 10:

TABELA 10 - Estimativa do efeito tóxico com base nos valores de Fator de Diluição (FD).

| Valor FD | Classe de Toxicidade |
|----------|-------------------------------|
| ≤ 2 | não tóxico |
| 3 – 10 | levemente a mediamente tóxico |
| 11 – 35 | muito tóxico |
| > 35 | extremamente tóxico |

Fonte: Saar, sem data.

Os pesquisadores Deventer & Zipperle (2004) analisaram 24 amostras de resíduos, que foram diluídas de acordo com a norma DIN 38414 S4. Os pesquisadores realizaram testes de toxicidade aguda com 5 tipos de organismos-teste e, além disso, testes para observar efeitos genotóxicos nestes organismos. Com os resultados, propuseram os seguintes valores, reunidos na Tabela 11:

TABELA 11 - Esquema para classificação da toxicidade, utilizando valores de Fator de Diluição (FD).

| Classe de Toxicidade | Avaliação | Teste com algas, daphnias, bactérias luminescentes, plantas e teste de contato com bactérias. | Teste - <i>umu</i> |
|----------------------|-----------------------------------|---|--------------------|
| | | Valor do Fator de Diluição (FD) | Efeito |
| 1 | Não tóxico à moderadamente tóxico | 1 – 10 | Não – genotóxico |
| 2 | Tóxico | > 10 - 100 | - |
| 3 | Muito tóxico | > 100 | genotóxico |

Fonte: Deventer & Zipperle, 2004.

No ano de 2003, a Comunidade Européia publicou um manual para a realização da classificação da toxicidade de efluentes (Interim Guidelines on the Hazardous Characteristics H12 - Ecotoxic, 2003). Este manual ainda pode sofrer alterações, e por enquanto contribui para a formação de uma norma definitiva. Segundo o manual, a classificação de substâncias conforme sua toxicidade aguda se apresenta de acordo com a Tabela 12:

TABELA 12 - Classificação de toxicidade de uma substância, utilizando valores de CE50 (mg/L).

| Categoria do perigo da substância | Toxicidade Aquática (mg/L) |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Classe 1 | $CE50 < 1$ |
| Classe 2 | $1 < CE50 < 10$ |
| Classe 3 | $10 < CE50 < 100$ |

Fonte: Interim Guidelines on the Hazardous Characteristics H12 - Ecotoxic, 2003.

De acordo com o artigo técnico “*Towards a New Zealand definition of hazardous waste*”, do ano de 1999, na Nova Zelândia também se utilizam os valores de CE50 para determinação da toxicidade aguda de substâncias. Se os valores de CE50 calculados forem menores que 100mg/L, a substância é considerada ecotóxica.

No Brasil, no Estado de Santa Catarina, existe a Portaria 17/02, da Fundação do Meio Ambiente – FATMA, que estabelece os limites máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens. Estes limites foram estabelecidos para os microcrustáceos - *Daphnia magna* (Straus, 1820) e para bactérias bioluminescentes - *Vibrio fischeri*, em Fator de Diluição (FD), conforme a Tabela 13:

TABELA 13 - Limites Máximos de Toxicidade de Efluentes de Diferentes Categorias (Portaria 017/02 - FATMA).

| Origem dos Efluentes | | Limites Máximos de Toxicidade Aguda para <i>Daphnia magna</i> | Limites Máximos de Toxicidade Aguda para <i>Vibrio fischeri</i> |
|--|--|---|---|
| Origem dos efluentes Categoria da atividade | Subcategoria da atividade | | |
| | | FDd | FDbl |
| Metal mecânica | Siderurgia | 4 | 6 |
| | Metalurgia | 4 | 6 |
| | Galvanoplastia | 16 | 8 |
| Alimentícia | Frigoríficos, Abatedouros, Laticínios, Cerealistas, Bebidas, Fecularias, Alimentos | 2 | 4 |
| Esgotos domésticos e/ou hospitalares | | 1 | 4 |
| Resíduos urbanos | Efluentes de Aterros Sanitários | 8 | 16 |
| Papel e Celulose | | 2 | 4 |
| Couros, peles e produtos similares | | 4 | 6 |
| Química | Agroquímica, Petroquímica, Produtos químicos não especificados ou não classificados | 2 | 4 |
| Têxtil | Beneficiamento de fibras naturais e sintéticas, confecção e tinturaria | 2 | 2 |
| Farmacêutica | | 2 | 4 |

FDd - Fator de Diluição para *Daphnia magna*.

FDbl - Fator de Diluição para *Vibrio fischeri*.

FD = 1 – amostra bruta não tóxica.

Flohr et al. (2005), criaram um método alternativo para classificação de resíduos sólidos industriais, utilizando ensaios toxicológicos com o microcrustáceo *Daphnia magna*. Para classificar o resíduo em classe I ou classe II o valor de referência é de CE50 48h igual a 50%. Acima deste valor a amostra é considerada de Classe I, e abaixo, Classe II.

Neste trabalho, também se optou por utilizar como referência de grau de toxicidade os valores de CE50 em porcentagem. Conforme os resultados da CE50 (%) observada após 48 horas de exposição ao lixiviado, e baseando-se nos resultados encontrados por Flohr et al. (2005), foi possível realizar um ajuste dos valores de CE50 (%) limitantes do grau de toxicidade das amostras, e conseqüentemente, dos valores de CE50 (%) mais adequados para classificação de resíduos industriais. Assim, conforme a Tabela 14 surgiu um aprimoramento do método para avaliar o grau de toxicidade das amostras, e em seguida classificá-lo em Classe I ou Classe II.

TABELA 14 – Método proposto para avaliar grau de toxicidade, de acordo com valores de CE50 (%).

| Graus de toxicidade | Valor da CE50 (%) |
|-----------------------------|-------------------|
| Toxicidade alta | $CE50 \leq 20$ |
| Tóxico | $21 < CE50 < 59$ |
| Toxicidade moderada à baixa | $CE50 \geq 60$ |

Nos casos em que não foi possível calcular a CE50, pois um número muito grande de organismos (ou todos eles) ficou imóvel, o resíduo foi considerado de alta toxicidade. Nos casos em que não foi possível calcular a CE50, pois um número muito pequeno de organismos (ou nenhum deles) ficou imóvel, o resíduo foi considerado de baixa toxicidade.

Para propor um método de classificação de resíduos em Classe I e Classe II, foi observado o mesmo princípio utilizado por Flohr et al. (2005): os autores tomaram como base a NBR 10004/04, que classifica um resíduo em Classe I quando este possui uma DL50 oral para ratos menor que 50 mg/kg ou CL50 inalação para ratos menor que 2 mg/L ou uma DL50 dérmica para coelhos menor que 200mg/kg. Os autores propuseram que se os resíduos apresentassem valores de CE50 48h menores que 50%, eles seriam considerados de Classe I. Valores menores que 50% classificariam o resíduo como de Classe II.

A NBR 10004 (ABNT, 2004a) dispõe que se uma substância apresenta toxicidade (conforme suas definições) ela é considerada perigosa, portanto, de Classe I. Observando-se os dados obtidos das amostras analisadas neste trabalho, o sistema de classificação da NBR 10004/04, e o sistema de classificação proposto por Flohr et al.

(2005), sugere-se que se o resíduo apresentar CE50 48h menor que 60% (faixa de toxicidade moderada à baixa) o resíduo será de Classe I. Se a CE50 48h estiver acima deste valor, o resíduo será classificado como resíduo de Classe II (Tabela 15).

TABELA 15 – Método proposto para classificação de resíduos sólidos industriais, de acordo com valores de CE50 (%).

| Classe do Resíduo | Valor da CE50 48h |
|-------------------|-------------------|
| I | $\leq 60 \%$ |
| II | $> 61 \%$ |

5.3 Eficiência do método proposto

Durante a realização da coleta das amostras, observou-se o laudo de classificação do resíduo conforme a NBR 10004/04, para que assim fosse possível comparar os resultados obtidos com o método de classificação proposto.

Das amostras de resíduos da indústria têxtil analisadas, apenas as amostras 4, 11, 19, 22, 29 e 30 apresentaram alta toxicidade e foram classificadas como resíduos de Classe I. Pela NBR 10004/04 estas amostras foram classificadas como de Classe II A (Tabela 16).

TABELA 16 – Resíduos da Indústria Têxtil. Comparação entre a classificação NBR 10004 e o método de classificação proposto.

| LODOS DE INDÚSTRIA TEXTIL | CLASSE - NBR 10004 | RESULTADO CE50 48H (%) | GRAU DE TOXICIDADE PROPOSTO | CLASSE - MÉTODO PROPOSTO |
|---------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 2 | II A | - | Baixa toxicidade | II |
| 3 | II A | - | Baixa toxicidade | II |
| 4 EMPRESA B | II A | 4.01 | Alta toxicidade | I |
| 6 | II A | - | Baixa toxicidade | II |
| 10 | II A | - | Baixa toxicidade | II |
| 11 | II A | x | Alta toxicidade | I |
| 19 | II A | x | Alta toxicidade | I |
| 21 | II A | 89.9 | Toxicidade moderada à baixa | II |
| 22 EMPRESA A | II A | 19.36 | Alta toxicidade | I |
| 23 | II A | 70.71 | Toxicidade moderada à baixa | II |
| 26 | II A | - | Baixa toxicidade | II |
| 29 EMPRESA B | II A | 4.11 | Alta toxicidade | I |
| 30 EMPRESA A | II A | 8.75 | Alta toxicidade | I |

Todas as amostras de resíduos da indústria de papel e celulose analisadas apresentaram baixa toxicidade e foram classificadas como Classe II, ou seja, da mesma maneira que foram classificadas pelo método da NBR 10004/04 (Tabela 17) .

TABELA 17 – Resíduos da Indústria de Papel e Celulose. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta.

| LODOS DE INDÚSTRIA PAPEL/CELULOSE | CLASSE - NBR 10004 | RESULTADO CE50 48H (%) | GRAU DE TOXICIDADE PROPOSTO | CLASSE - MÉTODO PROPOSTO |
|-----------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 7 | II A | - | Baixa toxicidade | II |
| 20 | II A | - | Baixa toxicidade | II |
| 31 | II A | - | Baixa toxicidade | II |

Dos resíduos da indústria química analisados, a amostra 18 apresentou alta toxicidade e foi classificada como resíduo Classe I, diferentemente da sua classificação

pela NBR 10004/04, Classe II A (Tabela 18). A amostra 32 apresentou baixa toxicidade e foi classificada como Classe II, de acordo com a classificação da NBR 10004/04.

TABELA 18 – Resíduos da Indústria Química. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta.

| LODOS DE INDÚSTRIA QUÍMICA | CLASSE - NBR 10004 | RESULTADO CE50 48H (%) | GRAU DE TOXICIDADE PROPOSTO | CLASSE - MÉTODO PROPOSTO |
|----------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 18 | II A | 1.61 | Alta toxicidade | I |
| 32 | II A | 70.71 | Toxicidade moderada à baixa | II |

Entre os resíduos da indústria metal-mecânica analisados, as amostras 9, 16 28 foram classificadas da mesma maneira que pela NBR 10004/04, permanecendo as amostras 9 e 28 na Classe I, e a amostra 16 na Classe II. As amostras 1 e 17 apresentaram alta toxicidade e foram classificadas em Classe I. De acordo com a NBR 10004/04 estas amostras foram classificadas como Classe II A. A amostra 25, classificada em Classe I pela NBR 10004, apresentou toxicidade relativamente baixa, sendo por isso classificada como Classe II (Tabela 19).

TABELA 19 – Resíduos da Indústria Metal-Mecânica. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta.

| LODOS DE INDÚSTRIA METAL/MECÂNICA | CLASSE - NBR 10004 | RESULTADO CE50 48H (%) | GRAU DE TOXICIDADE PROPOSTO | CLASSE - MÉTODO PROPOSTO |
|---|--------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1 - AREIA DE FUNDIÇÃO (RESÍDUO DE METALURGIA) | II A | 18.74 | Alta toxicidade | I |
| 9 - BORRA DE ÓLEO | I | 0.06 | Alta toxicidade | I |
| 16 - LODO DE ETE GALVANICO | II A | 66.0 | Toxicidade moderada à baixa | II |
| 17 - LODO DE ETE EQUIP. ELÉTRICOS | II A | 35.26 | Tóxico | I |
| 25 - LODO DE ETE GALVANICO | I | 82.77 | Toxicidade moderada à baixa | II |
| 28 - LODO DE ETE EQUIP. FILTRAÇÃO | I | x | Alta toxicidade | I |

As amostras 12, 13 e 14 são lixiviados de resíduos da indústria alimentícia. As amostras 12 e 14 apresentaram baixa toxicidade, e, portanto foram classificadas em Classe II, da mesma maneira como foram classificadas pela NBR 10004/04. A amostra

13 apresentou alta toxicidade e foi classificada como Classe I, diferentemente de sua classificação em Classe II A, conforme a NBR 10004/04 (Tabela 20).

TABELA 20 – Resíduos da Indústria Alimentícia. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta.

| LODOS DE INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA | CLASSE - NBR 10004 | RESULTADO CE50 48H (%) | GRAU DE TOXICIDADE PROPOSTO | CLASSE - MÉTODO PROPOSTO |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 12- LODO DE ETE BEBIDAS | II A | - | Baixa toxicidade | II |
| 13 - LODO DE ETE ALIMENTOS | II A | 14.43 | Alta toxicidade | I |
| 14 - LODO DE ETE ALIMENTOS | II A | - | Baixa toxicidade | II |

As amostras de borra de tinta apresentaram alta toxicidade, e foram classificadas em Classe I, confirmando a classificação sugerida pelo método da NBR 10004/04 (Tabela 21).

TABELA 21 – Resíduos de Borra de Tinta. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta.

| BORRAS DE TINTA | CLASSE - NBR 10004 | RESULTADO CE50 48H (%) | GRAU DE TOXICIDADE PROPOSTO | CLASSE - MÉTODO PROPOSTO |
|-----------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 5 | I | 0.13 | Alta toxicidade | I |
| 27 | I | 1.08 | Alta toxicidade | I |

As amostras 8, 15 e 24 são lixiviados de resíduos industriais que não se enquadravam em nenhum outro grupo de resíduos. Na Tabela 22 é possível observar a comparação entre a classificação oficial (NBR 10004/04) e a classificação proposta para estes resíduos. A amostra 8, classificada como Classe I pela NBR 10004/04, apresentou baixa toxicidade, e por isso foi classificada em Classe II. As amostras 15 e 24 mantiveram a classificação conforme a NBR 10004/04, em Classe II para a amostra 15, e Classe I para a amostra 24.

TABELA 22 – Resíduos Diversos. Comparação entre a classificação oficial e a classificação proposta.

| OUTROS | CLASSE - NBR 10004 | RESULTADO CE50 48H (%) | GRAU DE TOXICIDADE PROPOSTO | CLASSE - MÉTODO PROPOSTO |
|--|--------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 8 - RESÍDUO LAVAÇÃO DE TELAS | I | - | Baixa toxicidade | II |
| 15 - LODO DE ETE DE ETA | II A | - | Baixa toxicidade | II |
| 24 - LODO DE LEITO DE SECAGEM LAVAÇÃO BOBONAS/TAMBORES | I | X | Alta toxicidade | I |

Comparando-se a classificação oficial dos resíduos, conforme a NBR 10004/04, com o método de classificação proposto, pode-se observar que há coincidência em 62,5% das amostras (20 de 32). Comparando-se ainda com os resultados obtidos por Flohr et al. (2005), 50% de coincidência, pode-se notar que o método pode ser considerado eficiente quanto à classificação de resíduos, mostrando de forma clara o potencial tóxico que estes resíduos podem apresentar.

Pode-se observar também que, das 32 amostras, 26 delas (ou 81,25%), poderiam ser classificadas de acordo com a CE50 (%) logo após seis horas do início do teste. Somente 6 amostras apresentaram valores de CE50 (%) muito mais baixos do que os observados após as seis primeiras horas. Dentre elas, a de número 30 poderia ser classificada após 12 horas de teste; as amostras 1 e 22, após 24 horas de teste; e as amostras 16 e 17 poderiam ser avaliadas apenas no período recomendado de 48 horas. Mesmo assim, o período de exposição de 48 horas é o mais utilizado para testes de toxicidade aguda, por isso é mais adequado utilizar os dados obtidos neste período de tempo.

Se a classificação dos resíduos fosse realizada conforme os limites estabelecidos pela Portaria 17/02 da FATMA (ou seja, se o resíduo apresentar toxicidade acima do limite estabelecido pela tabela, este seria enquadrado como Classe I) teríamos 13 amostras com classificação diferente da NBR 10004/04, assim, haveria 59,4% de coincidência na classificação das amostras analisadas.

Comparando-se o método proposto com o método de classificação da FATMA, nota-se uma diferença mínima, pois apenas três tipos de resíduos não foram classificados de maneira semelhante pelos dois métodos. Na Tabela 23 pode-se visualizar a classificação dos resíduos industriais de acordo com os três métodos analisados:

TABELA 23 – Comparação entre os diferentes métodos de Classificação: NBR 10004, FATMA e Método Proposto.

| Amostra n°. | Classificação NBR 10004 | Classificação FATMA | Classificação Método Proposto |
|-------------|-------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 1 | II A | I | I |
| 2 | II A | II | II |
| 3 | II A | II | II |
| 4 | II A | I | I |
| 5 | I | I | I |
| 6 | II A | I | II |
| 7 | II A | I | II |
| 8 | I | II | II |
| 9 | I | I | I |
| 10 | II A | II | II |
| 11 | II A | I | I |
| 12 | II A | II | II |
| 13 | II A | I | I |
| 14 | II A | II | II |
| 15 | II A | II | II |
| 16 | II A | II | II |
| 17 | II A | II | I |
| 18 | II A | I | I |
| 19 | II A | I | I |
| 20 | II A | II | II |
| 21 | II A | II | II |
| 22 | II A | I | I |
| 23 | II A | II | II |
| 24 | I | I | I |
| 25 | I | II | II |
| 26 | II A | II | II |
| 27 | I | I | I |
| 28 | I | I | I |
| 29 | II A | I | I |
| 30 | II A | I | I |
| 31 | II A | II | II |
| 32 | II A | II | II |

Comparando-se as três amostras que apresentaram diferenças de classificação entre os métodos analisados, é possível notar que pelo método proposto existe maior aproximação com o que é estabelecido pela NBR 10004/04. A Tabela 24 mostra claramente estas diferenças e coincidências:

TABELA 24 – Amostras que apresentaram classificação diferente, de acordo com o Método FATMA e o Método Proposto.

| Amostra n°. | Classificação NBR 10004 | Classificação FATMA | Classificação Método Proposto |
|-------------|-------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 6 | II A | I | II |
| 7 | II A | I | II |
| 17 | II A | II | I |

As amostras 6 e 7 apresentam a mesma classificação pelo método da NBR 10004 e pelo método proposto (Classe II), pelo método FATMA estas amostras seriam classificadas em Classe I. A amostra 17 apresenta a mesma classificação pelo método da NBR 10004/04 e pelo método FATMA (Classe II), pelo método proposto esta amostra seria classificada em Classe I (Tabela 24).

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com os testes de toxicidade utilizando o organismo-teste *Daphnia magna* mostraram que é possível desenvolver um método rápido para a classificação de resíduos industriais. Pelo método proposto obtêm-se a classificação de um resíduo em apenas três dias.

Os resultados revelaram ainda que diversos resíduos industriais de Classe II A, classificados através do método NBR 10004/04, apresentaram toxicidade elevada para os organismos-teste *Daphnia magna*. Isto nos leva ao pensamento de que talvez o que ocorra no sistema de classificação da NBR 10004/04 seja uma avaliação subestimada da toxicidade, sem levar em conta o efeito nocivo das cargas tóxicas nos corpos receptores de efluentes de um aterro industrial. Com o método proposto, a utilização de organismos-teste mais desenvolvidos, como ratos e camundongos, seria desnecessária, pois as *D. magna* são mais adequadas para testes em ambientes aquáticos, e, além disso, são capazes de demonstrar com eficiência o nível de toxicidade encontrado.

Verificando-se os dados físico-químicos coletados (pH e Oxigênio Dissolvido) e os resultados de testes de toxicidade não fica clara uma relação entre estes parâmetros. Uma vez que os dados físico-químicos foram observados apenas após o ensaio de lixiviação, diversos fatores (como quantidades de diluições da amostra) podem influenciar no resultado final do teste de toxicidade. Assim não foi possível estabelecer uma relação significativa entre os resultados obtidos.

Dentre as 32 amostras, 81,25% delas poderiam ser classificadas em Classe I ou Classe II logo após seis horas do início do teste. Somente 6 amostras apresentaram valores de CE50(%) muito mais baixos do que os observados após as seis primeiras horas, portanto não estariam sendo classificadas de acordo com a sua toxicidade real. Deste modo, é mais indicado aguardar 48 horas para a obtenção do resultado final de toxicidade, e assim classificar o resíduo industrial adequadamente.

Comparando-se o método de classificação oficial de resíduos (NBR 10004/04) com o método de classificação proposto, pode-se observar que há coincidência em 62,5% das amostras, o que indica uma proximidade entre os dois métodos de classificação, portanto, pode ser considerado eficiente.

De acordo com os resultados obtidos fica demonstrada a necessidade de se rever os métodos convencionais, adaptando a legislação e introduzindo o organismo-teste *Daphnia magna* para estabelecer limites toxicológicos mais severos na classificação de resíduos industriais.

6.1 Recomendações

- Realizar testes de toxicidade com outros organismos-teste, como bactérias luminescentes;
- Realizar testes de toxicidade com outros tipos de resíduos industriais;
- Criar métodos padrão para tipos semelhantes de resíduo, por exemplo: lodo têxtil, lodo de galvanoplastia; resíduos da indústria metal-mecânica, alimentícia, química, etc.;
- Incluir o teor de umidade da amostra como variável a ser levada em consideração nos ensaios.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBIENTE BRASIL. **Resíduos - Resíduos Tóxicos**. Disponível em: www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.php3&conteudo=./residuos/residuos.html#classificacao. Acesso em: 15/07/2006.

AMBIENTE BRASIL. **Coleta e disposição final de resíduos - Incineração**. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./residuos/index.php3&conteudo=./residuos/lixo.html>. Acesso em: 15/07/2006.

ANAUATE, G. **Ciência sem cobaias? Será possível fazer pesquisas de novos remédios sem sacrificar animais?** Revista Época, edição 427, 24/07/2006. Disponível em: <http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,,EDG74893-5856-427,00.html>. Acesso em: 18/09/2006.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**. 19a ed. Washington DC, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.004 Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.005 Lixiviação de Resíduos**. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.005 Resíduos sólidos – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10007: Amostragem de Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro: 2004d.

BARNES, R. **Zoologia de los Invertebrados**, 3ª edição, Interamericana, São Paulo, 1977.

BASSOI, L. J.; NIETO, R.; TREMAROLI, D. **Implementação de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos.** São Paulo: CETESB, 1990.

BIDONE, F.R.A; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos.** EESC/ USP: São Carlos, 1999.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil: Texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988.** Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2001.

BRASIL. **Lei Federal n. 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos.** *Diário Oficial.* Brasília, 1997.

BRITO, A. L. F; SOARES, S. R. **Necessidades de normas e critérios para avaliar e dispor resíduos estabilizados por solidificação.** In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS, Porto Alegre, 2004. Disponível em: [www.biblioteca.sebrae.com.br/bte/bte.nsf/BB40C32754CCC45803256FF6004EC3B4/\\$File/NT000A71D2.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bte/bte.nsf/BB40C32754CCC45803256FF6004EC3B4/$File/NT000A71D2.pdf). Acesso em: 11/09/2006.

CHASIN, A. A. da M.; AZEVEDO, F. A. Intoxicação e avaliação da toxicidade. In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. da M. (Org.) **As bases toxicológicas da ecotoxicologia.** São Carlos: RIMa, 2003.

CHASIN, A. A. da M.; PEDROZO, M. de F. M. O estudo da toxicologia. In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. da M. (Org.) **As bases toxicológicas da ecotoxicologia**. São Carlos: RIMa, 2003.

CLARE, J. **Daphnia: An Aquarist's Guide**. Disponível em: www.caudata.org/daphnia/ . Acesso em 09/08/2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Resíduos Sólidos Industriais**. Série ATLAS da CETESB, volume 1. São Paulo: ASCETESB, 1985.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Norma CETESB L5.018: Teste de toxicidade aguda com *Daphnia similis*, Claus 1876** (Cladocera, Crustácea). São Paulo, 1986.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Resíduos Sólidos Industriais**. Atlas, São Paulo, 1993.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357**. Diário Oficial da União de 17 de Março de 2005. Seção1, pág.58-63. 2005.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.). **Lixo Municipal: manual de Gerenciamento Integrado**. 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

DEUTSCHES INSTITUTE FÜR NORMUNG – DIN. **DIN 38412: testverfahren mit Wasserorganismen (gruppeL) Bestimmung der nicht akut giftigen Wirkung von Abwasser gegenüber Daphnien über Verdünnungsstufen**. Berlin, 1989.

DEVENTER, K.; ZIPPERLE, J. **Ecotoxicological characterization of waste – Method development for determining the „ecotoxicological (H14)“ risk criterion**. Karlsruhe, 2004. Disponível em: http://www.xfaweb.badenwuerttemberg.de/fofaweb/print/wb_deventer_3.pdf . Acesso em: 26/07/2006.

EPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms.** EPA-821-R-02-012. Office of Water. Washington DC, 2002.

FATMA. PORTARIA N^o 017/02: **Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens.** Santa Catarina, 2002. Disponível em: http://www.fatma.sc.gov.br/download/legislacao/tema3/PORTARIA_17_2002.doc. Acesso em: 18/07/2006.

FERNÍCOLA, N. A. G. G. de; BOHRER-MOREL, M. B. C.; BAINY, A. C. D. **Ecotoxicologia.** In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. da M. (Org.) *As bases toxicológicas da ecotoxicologia.* São Carlos: RIMa, 2003.

FERRARI, B.G. **Experimentação Animal: Aspectos Históricos, Éticos, Legais e o Direito à Objeção de Consciência.** Monografia. Faculdade de Direito da Instituição Toledo de Ensino. Bauru, 2004. Disponível em: http://www.tribunaanimal.com/docs/Monografia_de_Barbara_Ferrari.doc. Acesso em: 18/09/2006.

FLOHR, L.; MACHADO, V.G.; MATIAS, W.G.; CARVALHO-PINTO, C.R.S.; BRENTANO, D.M.: **“Classificação de resíduos sólidos industriais com base em testes ecotoxicológicos utilizando *Daphnia magna*: uma alternativa”**, Revista Biotemas, Florianópolis, v.18, n.2, p.7-18, 2005. Disponível em: www.biotemas.ufsc.br/pdf/volume182/p7a18.pdf. Acesso em: 10/07/2006.

GORIGOITÍA, A. P. **Perfil do Aterro Industrial e Sanitário de Blumenau - Conservação da Água.** Blumenau, 2003.

GREIF, S.; TRÉZ, T. **A verdadeira face da experimentação animal.** Rio de Janeiro: Sociedade Educacional “Fala Bicho”, 2000.

HAMILTON, M. A.; RUSSO, R. C.; THURSTON, R. V. **Trimmed Spearman-Kärber method for estimating median lethal concentration in toxicity bioassays.** Environmental Science Technology, 11 (7): 714-719. 1979.

HAZARDOUS WASTE PROJECT TEAM. **Towards a New Zealand definition of hazardous waste.** Technical working paper. Wellington, 1999. Disponível em: <http://www.mfe.govt.nz/publications/waste/national-definition-tech-paper-oct99.pdf>. Acesso em: 25/08/2006.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – ISO. **ISO 8692: water quality – Fresh water algal growth inhibition test with *Scenedesmus subspicatus* and *Selenastrum capricornutum*.** USA, 1989.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – ISO. **ISO 6341: water quality – Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea).** USA, 1996.

JUKES, N.; CHIUIA, M. **From Guinea Pig to Computer Mouse: Alternative methods for a progressive, humane education.** 2a ed., InterNICHE, 2003. ISBN 1-904422-00-4. Disponível em: www.internichebrasil.org.br. Acesso em: 19/09/06.

KNIE, J. L. W.; LOPES, E. W. B. **Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações.** Florianópolis: FATMA / GTZ, 2004.

KRAEMER, M. E. P. **A questão ambiental e os resíduos industriais.** 2005. Disponível em: <http://br.monografias.com/trabalhos/residuos-industriais/residuos-industriais.shtml#refer>. Acesso em: 25/07/2006.

KRISTENSEN, P.; JENSEN J. K. **Integrated approach for chemical, biological and ecotoxicological monitoring – A tool for environmental management.** Dinamarca, 1997. Disponível em: <http://www.mtm-conference.nl/mtm2/doc/Kristensen%201997.pdf>. Acesso em: 25/08/2006.

LAMBOLEZ, L., VASSEUR, P., FERARD, J.F., GISBERT, T. **The environmental risks of industrial waste disposal: an experimental approach including acute and chronic toxicity studies.** Ecotoxicology and Environmental Safety 28, 317–328, 1994. Disponível em: www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6WDM-45P0XMJ1&_cdi=6770&_user=687353&_orig=browse&_coverDate=08%2F31%2F1994&_sk=999719996&_view=c&_wchp=dGLbVtzzSkzk&_md5=6e62f7b9af738fc4260ee06c57495663&_ie=/sdarticle.pdf. Acesso em 25/08/2006.

LORA, E.S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte.** Brasília, DF: ANEEL, 2000.

LU, F.C. **Basic Toxicology: Fundamentals, Target Organs, and Risk Assessment.** Taylor & Francis. USA, 1996.

MATIAS, W.G. **Introdução à toxicologia ambiental.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Notas de aula.

MATIAS, W.G. **Toxicologia ambiental.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Apostila.

OLIVEIRA, D. M.; CASTILHOS JR., A. B.; NICOLETTI, A. **Classificação de Resíduos Industriais (NBR 10.004): uma ferramenta para o gerenciamento de resíduos da indústria petrolífera.** Anais do 22º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental: Saneamento Ambiental, Ética e Responsabilidade Social. Joinville, Brasil, CD Rom, 2003.

PETUCO, A. F. **Resíduos Sólidos: Gestão, Valorização, Aspectos Técnicos Legais.** Trabalho apresentado em aula, Curso de Pós Graduação Executiva em Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: www.clubedopetroleo.com.br/ncom/monografias/almir.pdf. Acesso em: 11/09/2006.

ROBERTS S.M., TEAF C.M., BEAN J.A. **Hazardous Waste Incineration – Evaluating the human health and environmental risks.** Lewis Publishers. USA, 1998.

RODRIGUES N. L. V. B. **Testes de Toxicidade Aguda através de Bioensaios no Extrato Solubilizado dos Resíduos Classe II A – Não Inertes E Classe II B – Inertes.** Dissertação. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2005. Disponível em: www.dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/2472/2/Tese_0.pdf. Acesso em: 20/03/2006.

ROSE, R. **Mercado brasileiro ambiental – alguns aspectos.** 2006. Disponível em: http://www.compam.com.br/artigo_mercadocomentario.htm. Acesso em 30/07/2006.

RUPPERT, E. E.; BARNES, R. D. **Zoologia dos Invertebrados.** 6^a ed. Roca, São Paulo, 1996.

SAAR, J. **Biotestes para efluentes industriais – ameaça ou solução?** Artigo técnico. UMWELT Ltda. - Assessoria Ambiental. Blumenau, sem data. Disponível em: http://www.umwelt-sc.com.br/v2/module/artigo/files/18_FL_ANEXADO.pdf. Acesso em: 04/08/2006.

SECRETARIAT OF THE BASEL CONVENTION. **Interim Guidelines on the Hazardous Characteristics H12 – Ecotoxic.** Châtelaine, Suíça, 2003. Disponível em: www.basel.int . Acesso em: 26/07/2006.

SETAC BRASIL – SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECOTOXICOLOGIA. Disponível em: <http://www.octopus.furg.br/setac/index.htm> . Acesso em: 10/08/2006.

SISINNO, C.L.S. **Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos industriais não-inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o**

ambiente e para a saúde humana. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 19(2): 369-374, 2003. Disponível em: www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2003000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em 09/08/2006.

VERGARA, R. **A fronteira tênue entre ciência e crueldade na rotina dos laboratórios esquentas no mundo todo o debate sobre a vivisseccão.** Revista Super Interessante, ano 15, nº 6, 2001.

WEBER, C. I. **Method for measuring the acute toxicity of effluents and receiving water to freshwater and marine organisms.** EPA, Cincinnati, Ohio, USA, 1993.

YU, M-H. **Environmental toxicology : biological and health effects of pollutants.** 2ª ed. CRC Press LLC. Florida, 2005. Disponível em: <http://www.ens.ufsc.br/labs/toxicologia.ambiental/Biblioteca.htm>. Acesso em: 08/08/2006.

ANEXO I

RESULTADOS OBTIDOS NO MONITORAMENTO DAS AMOSTRAS.

Tabela I.1 – Resultados dos efeitos tóxicos observados nos organismos, expressos em valores de FD (Fator de Diluição).

| AMOSTRA | Fator de Diluição (FD) | | | |
|---------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 6H | 12H | 24H | 48H |
| 1 | 3 | 4 | 6 | > 6 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 32 | 32 | 32 | 64 |
| 5 | 512 | 512 | 615 | 615 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | > 6 |
| 7 | 1 | 1 | 2 | 4 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | 6144 | 6144 | 6144 | 6144 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | > 256 | > 256 | > 256 | > 256 |
| 12 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | 8 | 8 | 8 | <8 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 16 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 17 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| 18 | 64 | 512 | 512 | 512 |
| 19 | 32 | 256 | 512 | > 512 |
| 20 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 22 | 1 | 1 | 8 | > 8 |
| 23 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 24 | > 393216 | > 393216 | > 393216 | > 393216 |
| 25 | 1 | 1 | 2 | 6 |
| 26 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 27 | 128 | 128 | 128 | 128 |
| 28 | > 12288 | > 12288 | > 12288 | > 12288 |
| 29 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 30 | 16 | 16 | 16 | 32 |
| 31 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 32 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Tabela I.2 – Resultados dos parâmetros analisados, expressos em valores de FD (Fator de Diluição).

| AMOSTRA | Conc. Mín. Efeitos Tóxicos (FD) | | | | Conc. Máx. Efeitos Tóxicos (FD) | | | | Conc. Letal (FD) | | | |
|---------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------------|-----|-----|-----|------------------|-------|----------|-------------|
| | 6H | 12H | 24H | 48H | 6H | 12H | 24H | 48H | 6H | 12H | 24H | 48H |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | 1 | 2 | 4 |
| 2 | - | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - |
| 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 4 | 16 | 16 | 16 | 32 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | 8 | 16 | 16 |
| 5 | 256 | 256 | 512 | 512 | 1 | 1 | 1 | 1 | 64 | 64 | 64 | 512 |
| 6 | - | - | 3 | 6 | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - |
| 7 | - | - | 1 | 4 | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 6144 | 6144 | 6144 | 6144 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | 8 | 64 | 512 |
| 10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11 | 256 | 256 | 256 | 256 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | 128 | 128 | 256 |
| 12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13 | 6 | 6 | 6 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 4 | 4 | 6 |
| 14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 15 | - | - | - | 1 | - | - | - | 1 | - | - | - | - |
| 16 | - | 1 | 2 | 3 | - | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - |
| 17 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | - | 1 | 1 |
| 18 | 64 | 256 | 256 | 256 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 16 | 16 |
| 19 | 16 | 128 | 512 | 512 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 64 | 512 |
| 20 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 21 | - | - | 1 | 1 | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - |
| 22 | - | - | 6 | 8 | - | - | 1 | 1 | - | - | - | 2 |
| 23 | - | - | 1 | 1 | - | - | 1 | 1 | - | - | - | 1 |
| 24 | > 393216 | > 393216 | > 393216 | > 393216 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 | 4096 | > 393216 | > 393216 |
| 25 | 4 | 4 | 4 | 16 | 4 | 4 | 1 | 1 | - | - | - | - |
| 26 | - | - | 2 | 2 | - | - | 2 | 2 | - | - | - | - |
| 27 | 64 | 64 | 1024 | 1024 | 1 | 1 | 1 | 1 | 64 | 64 | 64 | 64 |
| 28 | 12288 | 12288 | 12288 | 12288 | 1 | 1 | 1 | 1 | 12288 | 12288 | 12288 | 12288 |
| 29 | 16 | 16 | 16 | 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 30 | 8 | 8 | 8 | 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | - | 6 | 8 |
| 31 | - | - | - | 3 | - | - | - | 3 | - | - | - | - |
| 32 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | - | - | 1 |

Tabela I.3 – Resultados da CE50 (%) para todas as amostras analisadas.

| AMOSTRA | CE 50 (%) | | | |
|---------|-----------|-------|-------|-------|
| | 6H | 12H | 24H | 48H |
| 1 | 52.65 | 35.90 | 24.67 | 18.74 |
| 2 | - | - | - | - |
| 3 | - | - | - | - |
| 4 | 12.50 | 5.63 | 4.41 | 4.01 |
| 5 | 0.67 | 0.67 | 0.28 | 0.13 |
| 6 | - | - | - | - |
| 7 | - | - | - | - |
| 8 | - | - | - | - |
| 9 | 0.18 | 0.16 | 0.13 | 0.06 |
| 10 | - | - | - | - |
| 11 | x | x | x | x |
| 12 | - | - | - | - |
| 13 | 19.04 | 16.29 | 16.01 | 14.43 |
| 14 | - | - | - | - |
| 15 | - | - | - | - |
| 16 | - | 88.91 | 72.36 | 66.0 |
| 17 | - | 70.71 | 56.75 | 35.26 |
| 18 | - | 5.31 | 2.53 | 1.61 |
| 19 | 22.89 | 13.30 | 0.4 | x |
| 20 | - | - | - | - |
| 21 | - | - | - | 89.9 |
| 22 | - | - | 35.85 | 19.36 |
| 23 | - | - | 73.48 | 70.71 |
| 24 | x | x | x | x |
| 25 | - | - | - | 82.77 |
| 26 | - | - | - | - |
| 27 | 1.10 | 1.10 | 1.08 | 1.08 |
| 28 | x | x | x | x |
| 29 | 6.25 | 4.41 | 4.26 | 4.11 |
| 30 | - | 9.68 | 9.51 | 12.75 |
| 31 | - | - | - | - |
| 32 | - | - | 72.01 | 70.71 |

(-) – não foi possível calcular a CE50, pois nenhum e/ou poucos organismos ficaram imóveis.

(x) – não foi possível calcular a CE50, pois todos e/ou muitos organismos ficaram imóveis.

ANEXO II

RESULTADOS DOS TESTES DE TOXICIDADE

As tabelas apresentam o número de organismos que ficaram imóveis em períodos de exposição de 6, 12, 24 e 48 horas. As concentrações variaram para cada amostra testada, para revelar qual concentração que causa nenhum efeito tóxico nos organismos *Daphnia magna*.

Amostra 1 - Areia de fundição, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 11/04/2006

pH (após lixiviação): 8,10

O₂ dissolvido (após lixiviação): 4,7 mg/L

Tabela II.1 – Número de organismos imóveis da amostra 1.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 9 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 6 | 0 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 0 | 0 | 3 | 5 | 9 | 10 | 9 | 10 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 4 | 10 | 10 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 |

Amostra 2 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 01/04/2006

pH (após lixiviação): 6,71

O₂ dissolvido (após lixiviação): 0,6 mg/L

Tabela II.2 – Número de organismos imóveis da amostra 2.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 3 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 04/04/2006

pH (após lixiviação): 7,68

O₂ dissolvido (após lixiviação): 0,4 mg/L

Tabela II.3 – Número de organismos imóveis da amostra 3.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 4 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 12/04/2006

pH (após lixiviação): 12,06

O₂ dissolvido (após lixiviação): 6,7 mg/L

Tabela II.4 – Número de organismos imóveis da amostra 4.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 16,66 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 12,5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 6,25 | 3 | 4 | 6 | 7 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 3,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 1,56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Amostra 5 – Borra de Tinta, Classe I.

Teste toxicidade dia: 05/05/2006

pH (após lixiviação): 5,0

O₂ dissolvido (após lixiviação): -

Tabela II.5 – Número de organismos imóveis da amostra 5.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 16,66 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 12,5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 6,25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 3,12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1,56 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,78 | 3 | 2 | 3 | 2 | 9 | 8 | 10 | 10 |
| 0,39 | 5 | 3 | 5 | 3 | 6 | 9 | 10 | 10 |
| 0,19 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 | 10 |
| 0,0975 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Amostra 6 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 06/04/2006

pH (após lixiviação): 6,93

O₂ dissolvido (após lixiviação): 2,4 mg/L

Tabela II.6 – Número de organismos imóveis da amostra 6.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |

Amostra 7 – Lodo de ETE de Indústria de Papel e Celulose, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 06/04/2006

pH (após lixiviação): 7,45

O₂ dissolvido (após lixiviação): 3,0 mg/L

Tabela II.7 – Número de organismos imóveis da amostra 7.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 5 | 3 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 8 – Lodo de Lavação de Telas, Classe I.

Teste toxicidade dia: 20/04/2006

pH (após lixiviação): 6,0

O₂ dissolvido (após lixiviação): -

Tabela II.8 – Número de organismos imóveis da amostra 8.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1,56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 9 – Borra de Óleo, Classe I.

Teste toxicidade dia: 27/04/2006

pH (após lixiviação): 6,0

O₂ dissolvido (após lixiviação): -

Tabela II.9 – Número de organismos imóveis da amostra 9.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 9 | 7 | 9 | 8 | 9 | 8 | 10 | 10 |
| 16,66 | 8 | 10 | 8 | 9 | 8 | 9 | 9 | 9 |
| 12,5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 6,25 | 8 | 10 | 8 | 9 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| 3,12 | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| 1,56 | 3 | 4 | 7 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,78 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 | 7 | 10 | 10 |
| 0,39 | 9 | 5 | 9 | 6 | 7 | 5 | 10 | 10 |
| 0,19 | 4 | 7 | 4 | 7 | 4 | 5 | 10 | 10 |
| 0,0975 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 10 | 8 |
| 0,0487 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 0,0243 | 0 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 8 | 8 |
| 0,0121 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 10 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 11/04/2006

pH (após lixiviação): 7,52

O₂ dissolvido (após lixiviação): 6,3 mg/L

Tabela II. 10 – Número de organismos imóveis da amostra 10.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 11 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 18/04/2006

pH (após lixiviação): 5,07

O₂ dissolvido (após lixiviação): 5,6 mg/L

Tabela II. 11 – Número de organismos imóveis da amostra 11.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 9 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 7 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 6 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 16,66 | 4 | 5 | 10 | 10 | 10 | 8 | 10 | 10 |
| 12,5 | 6 | 4 | 10 | 10 | 10 | 8 | 10 | 10 |
| 6,25 | 1 | 3 | 6 | 8 | 7 | 9 | 10 | 10 |
| 3,12 | 3 | 2 | 7 | 9 | 9 | 9 | 10 | 10 |
| 1,56 | 7 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,78 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,39 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 |

Amostra 12 – Lodo de ETE de Indústria Alimentícia, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 05/05/2006

pH (após lixiviação): 5,75

O₂ dissolvido (após lixiviação): 5,9 mg/L

Tabela II. 12 – Número de organismos imóveis da amostra 12.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 13 – Lodo de ETE de Indústria Alimentícia, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 05/05/2006

pH (após lixiviação): 3,7

O₂ dissolvido (após lixiviação): 3,1 mg/L

Tabela II. 13 – Número de organismos imóveis da amostra 13.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 16,66 | 3 | 1 | 8 | 5 | 9 | 5 | 10 | 10 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |

Amostra 14 – Lodo de ETE de Indústria Alimentícia, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 05/05/2006

pH (após lixiviação): 6,1

O₂ dissolvido (após lixiviação): 1,2 mg/L

Tabela II. 14 – Número de organismos imóveis da amostra 14.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 15 – Lodo de ETE de ETA, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 10/05/2006

pH (após lixiviação): 6,01

O₂ dissolvido (após lixiviação): 1,0 mg/L

Tabela II. 15 – Número de organismos imóveis da amostra 15.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 16 – Lodo de ETE de Indústria Metal-Mecânica, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 10/05/2006

pH (após lixiviação): 6,27

O₂ dissolvido (após lixiviação): 4,1 mg/L

Tabela II. 16 – Número de organismos imóveis da amostra 16.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 5 | 7 | 9 | 8 | 9 | 8 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

Amostra 17 – Lodo de ETE de Indústria Metal-Mecânica, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 10/05/2006

pH (após lixiviação): 6,94

O₂ dissolvido (após lixiviação): 1,3 mg/L

Tabela II. 17 – Número de organismos imóveis da amostra 17.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 1 | 3 | 8 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 0 | 0 | 3 | 4 | 4 | 4 | 9 | 10 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 18 – Lodo de ETE de Indústria Química, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 16/05/2006

pH (após lixiviação): 11,38

O₂ dissolvido (após lixiviação): 7,1 mg/L

Tabela II. 18 – Número de organismos imóveis da amostra 18.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 5 | 4 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 3 | 2 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 16,66 | 5 | 0 | 9 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 12,5 | 0 | 0 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 6,25 | 4 | 0 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 3,12 | 0 | 1 | 1 | 1 | 5 | 3 | 8 | 8 |
| 1,56 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 0,78 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 5 | 2 |
| 0,39 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 |
| 0,19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 19 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 16/05/2006

pH (após lixiviação): 10,81

O₂ dissolvido (após lixiviação): 5,6 mg/L

Tabela II. 19 – Número de organismos imóveis da amostra 19.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 3 | 1 | 5 | 3 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 16,66 | 0 | 1 | 0 | 1 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 12,5 | 1 | 0 | 1 | 3 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 6,25 | 3 | 0 | 6 | 1 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 3,12 | 1 | 0 | 2 | 3 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1,56 | 0 | 0 | 2 | 2 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,78 | 0 | 0 | 2 | 2 | 10 | 9 | 10 | 10 |
| 0,39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 | 10 | 10 |
| 0,19 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 | 10 |

Amostra 20 – Lodo de ETE de Indústria de Papel e Celulose, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 16/05/2006

pH (após lixiviação): 6,96

O₂ dissolvido (após lixiviação): 2,5 mg/L

Tabela II. 20 – Número de organismos imóveis da amostra 20.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 21 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 17/05/2006

pH (após lixiviação): 6,55

O₂ dissolvido (após lixiviação): 2,9 mg/L

Tabela II. 21 – Número de organismos imóveis da amostra 21.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 7 | 5 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 22 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 17/05/2006

pH (após lixiviação): 4,87

O₂ dissolvido (após lixiviação): 4,0 mg/L

Tabela II. 22 – Número de organismos imóveis da amostra 22.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 5 | 10 | 10 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 8 | 10 | 10 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 4 | 9 | 10 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 5 | 6 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 5 | 4 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 |

Amostra 23 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 17/05/2006

pH (após lixiviação): 6,44

O₂ dissolvido (após lixiviação): 0,7 mg/L

Tabela II. 23 – Número de organismos imóveis da amostra 23.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 9 | 10 | 10 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 24 – Lodo de leito de secagem lavação bobonas e tambores , Classe I.

Teste toxicidade dia: 31/05/2006

pH (após lixiviação): 10,0

O₂ dissolvido (após lixiviação): -

Tabela II. 24 – Número de organismos imóveis da amostra 24.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 16,66 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 12,5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 6,25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 3,12 | 10 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1,56 | 10 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,78 | 8 | 6 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,39 | 5 | 5 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,19 | 5 | 5 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,0975 | 3 | 3 | 7 | 7 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,0487 | 9 | 6 | 10 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,0243 | 9 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,0121 | 5 | 5 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,006 | 5 | 5 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,003 | 6 | 6 | 9 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,0015 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 10 |
| 0,00075 | 1 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 10 | 10 |

Amostra 25 – Lodo de ETE de Indústria Metal-Mecânica, Classe I.

Teste toxicidade dia: 24/05/2006

pH (após lixiviação): 7,52

O₂ dissolvido (após lixiviação): 4,6 mg/L

Tabela II. 25 – Número de organismos imóveis da amostra 25.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 7 | 5 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 |
| 25 | 0 | 2 | 1 | 4 | 1 | 4 | 2 | 4 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 6,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 3,12 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |

Amostra 26 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 24/05/2006

pH (após lixiviação): 9,03

O₂ dissolvido (após lixiviação): 5,7 mg/L

Tabela II. 26 – Número de organismos imóveis da amostra 26.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 27 – Borra de Tinta, Classe I.

Teste toxicidade dia: 31/05/2006

pH (após lixiviação): 6,0

O₂ dissolvido (após lixiviação): -

Tabela II.27 – Número de organismos imóveis da amostra 27.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 16,66 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 12,5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 6,25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 3,12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1,56 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0,39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 0,19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,0975 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 |
| 0,0487 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 28 – Lodo de ETE de Indústria Metal-Mecânica, Classe I.

Teste toxicidade dia: 31/05/2006

pH (após lixiviação): 5,0

O₂ dissolvido (após lixiviação): -

Tabela II.28 – Número de organismos imóveis da amostra 28.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 16,66 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 12,5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 6,25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 3,12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1,56 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,78 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,39 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,19 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,0975 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 0,0487 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

Amostra 29 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 24/05/2006

pH (após lixiviação): 12,27

O₂ dissolvido (após lixiviação): 5,1 mg/L

Tabela II. 29 – Número de organismos imóveis da amostra 29.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 16,66 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 12,5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 6,25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 3,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1,56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,0975 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 30 – Lodo de ETE de Indústria Têxtil, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 20/06/2006

pH (após lixiviação): 4,28

O₂ dissolvido (após lixiviação): 4,0 mg/L

Tabela II. 30 – Número de organismos imóveis da amostra 30.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|----|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 2 | 2 | 7 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 5 | 2 | 7 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| 33,33 | 5 | 3 | 9 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 5 | 6 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 16,66 | 5 | 5 | 10 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 12,5 | 4 | 3 | 8 | 8 | 9 | 8 | 10 | 10 |
| 6,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 |
| 3,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1,56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 31 – Lodo de ETE de Indústria de Papel e Celulose, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 20/06/2006

pH (após lixiviação): 7,27

O₂ dissolvido (após lixiviação): 4,3 mg/L

Tabela II. 31 – Número de organismos imóveis da amostra 31.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Amostra 32 – Lodo de ETE de Indústria Química, Classe II A.

Teste toxicidade dia: 20/06/2006

pH (após lixiviação): 9,32

O₂ dissolvido (após lixiviação): 0,5 mg/L

Tabela II. 32 – Número de organismos imóveis da amostra 32.

| Concentração (%) | Organismos imóveis | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---|-----|---|-----|----|-----|----|
| | 6h | | 12h | | 24h | | 48h | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 1 | 3 | 1 | 3 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

ANEXO III

ARTIGO PUBLICADO PELA REVISTA BIOTEMAS

“Classificação de resíduos sólidos industriais com base em testes ecotoxicológicos utilizando *Daphnia magna*: uma alternativa”.

Revista Biotemas, Florianópolis, v.18, n.2, p.7-18, 2005. Disponível em:

www.biotemas.ufsc.br/pdf/volume182/p7a18.pdf

Classificação de resíduos sólidos industriais com base em testes ecotoxicológicos utilizando *Daphnia magna*: uma alternativa

**Letícia Flohr
Débora Monteiro Brentano
Cátia Regina Silva de Carvalho-Pinto
Vanessa Guimarães Machado
William Gerson Matias***

Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Laboratório de Toxicologia
Ambiental – Centro Tecnológico – UFSC
CEP 88040 – 900 – Florianópolis – SC
will@ens.ufsc.br

*Autor para correspondência

Submetido em 21/09/2004
Aceito para publicação em 18/05/2005

Resumo

O tratamento e a disposição final adequada dos resíduos sólidos industriais dependem de sua classificação em classe I ou II. Esta classificação é proposta pela NBR 10.004, contudo, é complexa e demanda tempo. Visando facilitar esta classificação, propõe-se a utilização de ensaios com *Daphnia magna* para este fim. Estes ensaios possibilitam a identificação de substâncias tóxicas no lixiviado, o que denota a presença de uma das características descritas pela norma, a toxicidade, que é argumento

Biotemas, 18 (2): 7 - 18, 2005

suficiente para classificar o resíduo em classe I. Realizaram-se testes ecotoxicológicos com dez amostras de resíduos sólidos industriais de produção freqüente e, com base nos resultados das CE (I)₅₀ 48h destas amostras em comparação com a classificação oficial da NBR 10.004, estabeleceram-se limites para classificação dos resíduos em classe I ou II. Observou-se coincidência na classificação de 50% das amostras analisadas. Nos casos em que não há coerência entre os métodos, o método proposto neste trabalho classifica o resíduo como classe I. Estes dados são preliminares, mas revelam que o sistema de classificação proposto é promissor pela rapidez e viabilidade econômica.

Unitermos: resíduos sólidos industriais, classificação, testes ecotoxicológico, *Daphnia magna*

Abstract

Classification of solid industrial waste based on ecotoxicology tests using *Daphnia magna*: an alternative. The adequate treatment and final disposal of solid industrial wastes depends on their classification into class I or II. This classification is proposed by NBR 10.004; however, it is complex and time-consuming. With a view to facilitating this classification, the use of assays with *Daphnia magna* is proposed. These assays make possible the identification of toxic chemicals in the leach, which denotes the presence of one of the characteristics described by NBR 10.004, the toxicity, which is a sufficient argument to put the waste into class I. Ecotoxicological tests were carried out with ten samples of solid wastes of frequent production and, on the basis of the results from EC(I)₅₀/48h of those samples in comparison with the official classification of NBR 10.004, limits were established for the classification of wastes into class I or II. A coincidence in the classification of 50% of the analyzed samples was observed. In cases in which there is no

coherence between the methods, the method proposed in this work classifies the waste into class I. These data are preliminary, but they reveal that the classification system proposed here is promising because of its quickness and economic viability.

Key words: solid industrial wastes, classification, ecotoxicological tests, *Daphnia magna*

Introdução

Os resíduos sólidos resultam das diversas atividades humanas, dentre elas a atividade industrial que gera resíduos em quantidades e com características tais que necessitam de disposição final adequada.

Por apresentarem riscos de poluição ambiental e de saúde pública, esta disposição final deve ocorrer em aterros sanitários industriais, obras de engenharia preparadas para o tratamento e disposição final destes resíduos de forma a gerar o mínimo impacto sobre o ambiente e a saúde humana.

Atualmente, os resíduos sólidos industriais que são corretamente destinados a aterros sanitários industriais sofrem um processo classificatório prévio ao seu tratamento e disposição final.

A classificação dos resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (ABNT, 2004a).

Segundo Oliveira et al. (2003), de maneira geral, esta classificação se dá a partir das análises físico-químicas sobre o extrato lixiviado obtido a partir da amostra bruta do resíduo. As concentrações dos elementos detectados nos extratos lixiviados são então comparadas com os limites máximos estabelecidos nas listagens constantes da NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

Adicionalmente, um resíduo é classificado, de acordo com a NBR 10.004, por apresentar periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade, características estas definidas pela norma supracitada. Resíduos que apresentem pelo menos uma das características acima são classificados como resíduos classe I. Aqueles que apresentam nenhuma destas características são classificados como classe II.

Contudo, os parâmetros de inflamabilidade, corrosividade, patogenicidade, reatividade e toxicidade, em virtude da complexidade dos ensaios, são pouco utilizados para classificação dos resíduos industriais (Oliveira et al., 2003).

Em relação à toxicidade, por exemplo, um resíduo é caracterizado como tóxico quando substâncias reconhecidamente tóxicas estão presentes em seu lixiviado, ou, ainda, quando possuir em sua composição substâncias em concentrações comprovadamente letais ao homem ou o resíduo apresentar uma Dose Letal – DL_{50} para ratos menor que 50mg/Kg ou Concentração Letal – CL_{50} de inalação para ratos menor que 2 mg L^{-1} ou uma DL_{50} dérmica para coelhos menor que 200mg/Kg.

Diante da complexidade destas determinações, nas situações em que o resíduo industrial chega ao aterro sem classificação exata, há atrasos ou erros no tratamento e disposição final do mesmo, gerando problemas ao aterro e à empresa responsável pelo resíduo.

Visando facilitar a classificação dos produtos, este trabalho preliminar testa a possibilidade de utilização de ensaios com o microcrustáceo *Daphnia magna* para verificação da toxicidade do resíduo sólido e sua posterior classificação em classe I ou II. Objetiva-se verificar a possibilidade de classificação em classe I ou II apenas com testes de toxicidade, visto que a identificação de potencial tóxico do resíduo ao microcrustáceo revela a presença de substâncias tóxicas em seu lixiviado e denota a

presença de uma das características descritas pela norma, a toxicidade. Se, de acordo com a NBR 10.004, a presença comprovada de apenas uma característica, no caso toxicidade, já obriga o resíduo a receber tratamento e disposição final como classe I, é possível a classificação dos resíduos apenas com testes agudos de toxicidade.

Materiais e Métodos

Geração das amostras

Dentre os resíduos sólidos industriais mais comumente gerados, selecionaram-se dez tipos, sendo eles: areia de fundição, borra de petróleo, borra de tinta, cinza de caldeira, lodo de Estação de Tratamento de Esgoto – ETE com areia, lodo de ETE filtro prensa, lodo de ETE seco, lodo de ETE úmido A, lodo de ETE úmido B e lodo de ETE úmido C. Para realizar a amostragem de campo foram considerados os procedimentos da NBR 10.007 (ABNT, 2004b).

Visando a execução dos testes ecotoxicológicos que necessitam de uma fração solúvel da amostra a ser testada, estes resíduos foram lixiviados de acordo com o descrito na NBR 10.005 (ABNT, 2004c), com uma sutil adaptação pois não se utilizou ácido acético, visando a não interferência nos testes de toxicidade.

O pH inicial de cada amostra foi verificado, sem fazer a sua correção (como é sugerido pela NBR 10.005), pois a neutralização alteraria as condições químicas do lixiviado. Após a agitação de 24 horas, as amostras tiveram seu pH medido novamente, e logo depois foram utilizadas nos ensaios de toxicidade aguda. O método potenciométrico foi utilizado para a medição do pH (pHmetro marca ORION – modelo 210) (APHA et al., 1995).

Metodologia de cultivo

Para realização dos testes ecotoxicológicos, selecionou-se o microcrustáceo *Daphnia magna* (Figura 1). O organismo-teste *Daphnia magna*, segundo Ruppert e Barnes (1996), é classificado taxonomicamente no filo Arthropoda, subfilo Crustacea, classe Branchiopoda, ordem Diplostraca, subordem Cladocera. Dentre os microcrustáceos, *Daphnia magna* é comumente chamada de pulga d'água, e como parte do zooplâncton, ocupa uma importante posição nas cadeias alimentares aquáticas.

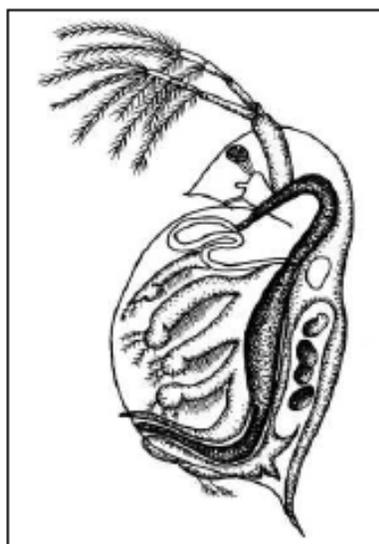


FIGURA 1: Organismo-teste *Daphnia magna* (0,5 cm).

Fonte: Brentano e Lobo (2005).

O cultivo do organismo-teste foi realizado segundo as normas ISO 6341 (1996) e DIN 38412 (1989). Utilizaram-se recipientes com capacidade para 500mL de meio de cultura M4 (DIN 38412, 1989), meio utilizado para crescimento dos organismos. Os organismos foram alimentados, diariamente, com cultura algácea de *Scenedesmus subspicatus*, produzida conforme ISO 8692 (1986).

Cada lote comportou de 15 a 20 indivíduos, exclusivamente fêmeas. As fêmeas se reproduzem por partenogênese, o que garante que os indivíduos são clones uns dos outros, validando o teste. As culturas foram mantidas em ambiente com temperatura controlada a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e em fotoperíodo de 16 horas, condições obtidas através do uso de um germinador.

Os lotes receberam manutenção duas vezes por semana, quando se realizou observação da possível ocorrência de machos ou efípios (ovos resistentes resultantes de reprodução sexuada), troca do meio de cultura, eliminação das mudas e retirada dos filhotes.

Mensalmente, a sensibilidade do organismo teste foi avaliada através de um ensaio com a substância de referência dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), realizado conforme a metodologia de teste descrita a seguir. A Concentração Efetiva Mediana em 24h – $\text{CE}_{50}24\text{h}$ média obtida foi de $1,1 \pm 0,1 \text{ mg L}^{-1} \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, durante o período de realização deste estudo. Este dado enquadra os organismos cultivados na faixa de sensibilidade considerada aceitável para uso na realização dos testes.

Metodologia do teste

As amostras produzidas foram testadas baseando-se na exposição de neonatos de *Daphnia magna*, de 2 a 26h de idade, em diluições da amostra, por um período de 48h, conforme normas pertinentes (ISO 6341, 1996; DIN 38412, 1989). Realizou-se um teste por amostra.

Estabeleceram-se seis diluições para execução dos testes com o lixiviado dos dez resíduos amostrados. Utilizaram-se as concentrações 12,5; 16,6; 25,0; 33,3; 50,0 e 100%. Estas concentrações foram assim fixadas, pois a Portaria nº 017/02 da Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina – FATMA (2002) estabelece que o limite de toxicidade para efluentes de aterros sanitários é $\text{CE (I)}_{50} 48\text{h} = 12,5\%$ ou $\text{FD} = 8$.

Após o tempo de prova (48h), observou-se o número de indivíduos imóveis por concentração. A partir destes dados, calculou-se a porcentagem de mortalidade por concentração. O resultado do teste foi expresso em CE (I)₅₀ 48h (Concentração Efetiva Inicial Mediana em 48h – concentração da amostra no início do ensaio, que causa efeito agudo a 50% dos organismos em 48h, nas condições de ensaio), calculada utilizando-se os métodos estatísticos Probit Method (Weber, 1993) para dados paramétricos e Trimmed Spermán-Karber Method (Hamilton et al., 1977) para dados não paramétricos.

Determinou-se também os valores do FD (Fator de Diluição – a menor diluição da amostra na qual não se observou efeito deletério sobre o organismo teste, sendo efeito deletério imobilidade igual a 10%).

Resultados e Discussão

As amostras dos ensaios de lixiviação apresentaram pH inicial variando de 5,8 a 12,7 e pH final entre 6,1 a 9,5.

Os valores obtidos de CE (I)₅₀ 48h para cada um dos resíduos analisados, bem como os valores do FD encontrados estão relatados na tabela 1.

Observou-se que para os resíduos areia de fundição, borra de tinta, cinza de caldeira, lodo de ETE com areia e lodo de ETE filtro prensa não foi possível determinar a CE (I)₅₀ 48h devido ao limite de diluições previamente estabelecido em 12,5% (FD=8). Assim, para estes dados preliminares só é possível constatar que os resíduos acima listados apresentam uma CE (I)₅₀ 48h < 12,5 e FD ³ 8, o que os caracteriza como amostras muito tóxicas.

As demais amostras analisadas apresentam toxicidade menor, sendo que a borra de petróleo e lodo de ETE úmido B são igualmente tóxicas (CE (I)₅₀ 48h = 21,0%), enquanto que o

lodo de ETE úmido A não apresenta toxicidade. No caso do lodo de ETE úmido C, observou-se um indício de toxicidade, pois em todas as diluições testadas foi constatada imobilidade do organismo-teste, contudo, a imobilidade é inferior a 50% o que impossibilita o cálculo da CE $(I)_{50}$.

TABELA 1 – Resultados das CE $(I)_{50}$ 48h dos resíduos amostrados.

| Amostras | CE $(I)_{50}$ 48h (%) | FD |
|---------------------------|-----------------------|----|
| areia de fundição | <12,5 | ≥8 |
| borra de petróleo | 21,0 | 2 |
| borra de tinta | <12,5 | ≥8 |
| cinza de caldeira | <12,5 | ≥8 |
| lodo de ETE com areia | <12,5 | ≥8 |
| lodo de ETE filtro prensa | <12,5 | ≥8 |
| lodo de ETE seco | 70,71 | 1 |
| lodo de ETE úmido A | não tóxico | 1 |
| lodo de ETE úmido B | 21,0 | 3 |
| lodo de ETE úmido C | >100 | 8 |

Oliveira et al. (2003) testaram borra de petróleo para as características inflamabilidade, corrosividade, toxicidade aguda e patogenicidade, não tendo sido encontrado padrão algum que ultrapassasse os limites estabelecidos pela NBR 10.004. Contudo, as características do lixiviado quando comparadas com os limites fixados nas listagens da NBR 10.004, revelaram tratar-se de um resíduo classe I.

Diante destes resultados, para propor um método de classificação de resíduos em classe I ou classe II, tomou-se como base a classificação dos resíduos testados de acordo com a NBR 10.004 e os dados preliminares obtidos com as amostras analisadas. Assim, propõe-se que se o resíduo apresentar CE $(I)_{50}$ 48h menor que 50%, o resíduo será de classe I. Se a CE $(I)_{50}$ 48h estiver acima deste valor, o resíduo será classificado como resíduo de classe II (Tabela 2).

TABELA 2 – Classificação dos resíduos testados de acordo com o método proposto em comparação com o método oficial da NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

| Amostras | CE (I) ₅₀ 48h (%) | FD | Classe de acordo com a proposta | Classe de acordo com NBR 10.004 |
|---------------------------|------------------------------|----|---------------------------------|---------------------------------|
| areia de fundição | <12,5 | ≥8 | I | II |
| borra de petróleo | 21,0 | 2 | I | I |
| borra de tinta | <12,5 | ≥8 | I | I |
| cinza de caldeira | <12,5 | ≥8 | I | II |
| lodo de ETE com areia | <12,5 | ≥8 | I | II |
| lodo de ETE filtro prensa | <12,5 | ≥8 | I | II |
| lodo de ETE seco | 70,71 | 1 | II | II |
| lodo de ETE úmido A | não tóxico | 1 | II | II |
| lodo de ETE úmido B | 21,0 | 3 | I | II |
| lodo de ETE úmido C | >100% | 8 | II | II |

Observa-se que a classificação proposta apresenta uma tendência a tornar mais rígido o tratamento e a disposição final dos resíduos, o que pode ser interpretado como melhorias em termos de preservação ambiental.

Comparando-se a classificação oficial do resíduo com a classificação proposta pode-se observar que há coincidência em 50% das amostras. Contudo, estes dados são preliminares. O universo amostral de resíduos para análise deve ser ampliado visando, após os testes ecotoxicológicos, aproximar a classificação proposta do sistema de classificação da NBR 10.004.

A classificação vigente de resíduos está baseada, principalmente, em parâmetros físico-químicos. Estimar a toxicidade com base nos resultados de análises físico-química é dificultoso, pois já que a toxicidade é um fenômeno biológico, parece evidente que a resposta biológica seja a mais apropriada.

Apesar de os dados serem preliminares, o sistema de classificação revela-se promissor, em especial pela rapidez de resposta e viabilidade econômica. Além disto, a diferença existente

entre a classificação oficial e a classificação proposta, não erra por classificar o resíduo menos tóxico que ele realmente é. Talvez o que ocorra na classificação da NBR 10.004 seja uma avaliação subestimada da toxicidade.

Isto mostra a necessidade de se rever os métodos convencionais, estabelecendo limites toxicológicos mais severos para a classificação de resíduos industriais. O uso de ensaios ecotoxicológicos como alternativa para a classificação de resíduos industriais faria com que o seu tratamento e disposição fossem realizados de forma mais segura e correta.

Referências

American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environmental Federation – APHA; AWWA; WPCF. 1995. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**. 19^a ed. Washington DC, USA, 920 pp.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2004a. **NBR 10.004** resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, Brasil, 63 pp.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2004c. **NBR 10.005** resíduos sólidos – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, Brasil, 16 pp.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2004b. **NBR 10.007** resíduos sólidos – Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, Brasil, 21 pp.

Brentano, D. M.; Lobo, E. A. 2003. Biomonitoramento de caráter ecotoxicológico no Vale do Rio Pardo, RJ, Brasil. **Tecnológica**, 7(2): 85-95.

Deutsches Institute für Normung – DIN. 1989. **DIN 38412: testverfahren mit Wasserorganismen (gruppeL)**

Bestimmung der nicht akut giftigen Wirkung von Abwasser gegenüber Daphnien über Verdünnungsstufen.

Deutschland, 13 pp.

Fundação do Meio Ambiente (FATMA). 2002. **Portaria nº 017/02: Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens e outras providências.** Florianópolis, Brasil, 2 pp.

Hamilton, M. A.; Russo, R. C.; Thurston, R. V. 1979. Trimmed Spearman-Kärber method for estimating median lethal concentration in toxicity bioassays. **Environmental Science Technology**, **11** (7): 714-719.

International Standard Organization – ISO. 1989. **ISO 8692: water quality – Fresh water algal growth inhibition test with *Scenedesmus subspicatus* and *Selenastrum capricornutum*.** USA, 6 pp.

International Standard Organization – ISO. 1996. **ISO 6341: water quality – Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea).** USA, 7 pp.

Oliveira, D. M.; Castilhos Jr., A. B.; Nicoletti, A. 2003. Classificação de Resíduos Industriais (NBR 10.004): uma ferramenta para o gerenciamento de resíduos da indústria petrolífera. **Anais do 22º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental: Saneamento Ambiental, Ética e Responsabilidade Social.** Joinville, Brasil, CD Rom.

Ruppert, E. E.; Barnes, R. D. 1996. **Zoologia dos Invertebrados.** 6ª ed. Roca, São Paulo, Brasil, 1029 pp.

Weber, C. I. 1993. **Method for measuring the acute toxicity of effluents and receiving water to freshwater and marine organisms.** EPA, Cincinnati, Ohio, USA, 253 pp.