

**NÉBORA LIZ VENDRAMIN BRASIL RODRIGUES**

**TESTES DE TOXICIDADE AGUDA ATRAVÉS DE BIOENSAIOS NO  
EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS CLASSE II A – NÃO  
INERTES E CLASSE II B – INERTES**

**CURITIBA  
2005**

**NÉBORA LIZ VENDRAMIN BRASIL RODRIGUES**

**TESTES DE TOXICIDADE AGUDA ATRAVÉS DE BIOENSAIOS NO  
EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS CLASSE II A – NÃO  
INERTES E CLASSE II B – INERTES**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, área de concentração Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná.

**Orientador:** Prof. Urivald Pawlowsky,  
PhD

**CURITIBA  
2005**

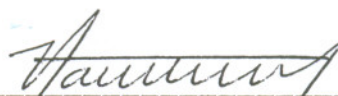
**TERMO DE APROVAÇÃO**

**NÉBORA LIZ VENDRAMIN BRASIL RODRIGUES**

**TESTES DE TOXICIDADE AGUDA ATRAVÉS DE BIOENSAIOS NO EXTRATO  
SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS CLASSE IIA – NÃO INERTES E CLASSE IIB -  
INERTES**

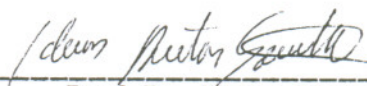
Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

**PRESIDENTE:**



-----  
**Prof. Dr. Uivald Pawlowsky**  
**Universidade Federal do Paraná**  
**Orientador**

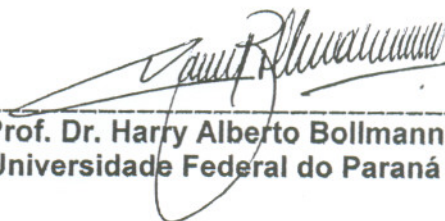
**MEMBROS:**



-----  
**Prof. Dr. Klaus Dieter Sautter**  
**UNICENP**



-----  
**Prof. Ph.D. Maria Cristina Borba Braga**  
**Universidade Federal do Paraná**



-----  
**Prof. Dr. Harry Alberto Bollmann**  
**Universidade Federal do Paraná**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho àqueles que compartilham os meus ideais e os alimentam, incentivando-me a prosseguir quaisquer que sejam os obstáculos. Minha eterna gratidão e reconhecimento de que os méritos desta conquista há muito de sua presença

MEUS PAIS

## AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À meu orientador Dr. Urivald Pawlowsky, por todo o ensinamento transmitido, orientação e incentivo em todo o desenvolvimento deste trabalho;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade e contribuição à formação científica e pessoal;

Ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP, principalmente ao Eng. Celso Augusto Bittencourt da Diretoria de Estudos e Padrões Ambientais pelo apoio a pesquisa e disposição da infra-estrutura, sem os quais a conclusão deste trabalho não seria possível;

À Gabriela de Souza A. Fernandes (Essencis – Soluções Ambientais), pela contribuição a formação deste trabalho;

À Maria da Graça Branco Patza do Departamento de Tecnologia Ambiental do Instituto Ambiental do Paraná pelo incentivo para o desenvolvimento deste trabalho;

Às Biólogas Ana Márcia A. Nieweglowski e Elenize M. de Ferrante Martins da Silva, e a Técnica Química Márcia Terezinha Nunes Bosa, do Laboratório de Ecotoxicologia do Instituto Ambiental do Paraná, pela imensa colaboração ao conteúdo deste trabalho;

Ao pessoal do IAP: Ademir da Silva do Departamento de Tecnologia Ambiental, Dirlene A. dos Santos do Laboratório de Absorção Atômica e aos estagiários do Laboratório de Ecotoxicologia, pelo auxílio nas análises e ensaios realizados no desenvolvimento deste trabalho;

À amiga Cinthya pelo forte apoio e pela amizade em todos os momentos;

Aos meus queridos pais Iraci e Assis pela minha formação moral, compreensão, apoio e acolhidas sempre calorosas;

Aos meus irmãos, Júnior e Néguia, pela confiança e incentivo em todos os momentos de minha vida;

Aos meus sobrinhos, Daniel e Gustavo, pelos momentos calorosos, pelo sorriso e instantes de descontração e alegria;

Ao meu esposo Luciano, pela paciência, coragem e constante demonstração de amor;

A todos os meus amigos, principalmente ao Ricardo, pela amizade que sempre me dedicaram em todos os momentos de minha vida;

E, a todos que me motivaram, para que minha fragilidade humana não me fizesse desistir, meu muito obrigado.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	IX
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	XI
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E CÓDIGOS</b> .....	XII
<b>RESUMO</b> .....	XIII
<b>ABSTRACT</b> .....	XIV
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
2.1 RESÍDUO SÓLIDO.....	18
2.1.1 Definição de Resíduo Sólido Industrial.....	18
2.1.2 Classificação dos Resíduos Sólidos.....	19
2.1.3 Análise de Resíduos Sólidos.....	21
2.1.3.1 Lixiviação de resíduos.....	21
2.1.3.2 Solubilização de resíduos.....	22
2.1.4 Amostragem.....	22
2.1.4.1 Volume de amostras.....	23
2.1.4.2 Local de coleta.....	23
2.1.4.3 Procedimento de amostragem.....	24
2.1.4.4 Preservação das amostras.....	25
2.1.5 Manuseio e Transporte de Resíduos Sólidos.....	25
2.1.6 Disposição Final dos Resíduos Sólidos Industriais.....	27
2.1.6.1 Aterro industrial.....	27
2.1.6.2 Incineração.....	29
2.1.6.3 Estabilização e solidificação.....	31
2.1.6.4 Sistemas <i>landfarming</i> .....	33
2.1.6.5 Outras alternativas.....	34
2.1.7 Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos.....	34
2.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA REFERENTE A RESÍDUOS SÓLIDOS.....	35
2.2.1 Legislação Federal.....	35
2.2.2 Resoluções CONAMA.....	36
2.2.3 Legislação Estadual.....	38
2.2.4 Normas Técnicas Elaboradas pela ABNT.....	39
2.2.5 Legislação Municipal.....	41
2.3 AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE.....	41
2.3.1 Definição de Toxicidade.....	41
2.3.2 Fatores de Concentração de Contaminantes Tóxicos.....	42
2.3.3 Metodologia de Controle de Agentes Tóxicos.....	44
2.3.3.1 Controle através de substâncias específicas.....	45
2.3.3.2 Controle do efluente como um todo.....	45
2.3.4 Organismos mais Utilizados em Testes de Toxicidade.....	46

2.3.4.1	Microcrustáceos – <i>Daphnia magna</i> .....	47
2.3.4.2	Bactérias – <i>Vibrio fischeri</i> .....	47
2.3.4.3	Peixes.....	48
2.3.4.4	Algas.....	48
2.3.5	Testes de Toxicidade.....	48
2.3.5.1	Aplicação dos testes de toxicidade.....	49
2.3.5.2	Métodos para avaliar a toxicidade.....	49
2.3.5.3	Testes de toxicidade aguda.....	50
2.3.5.4	Testes de toxicidade crônica.....	51
2.3.5.5	Escolha da água de diluição.....	52
2.3.5.6	Coleta de amostras.....	52
2.3.5.7	Preservação das amostras.....	53
2.3.6	Aplicação dos Resultados dos Testes de Toxicidade.....	54
2.3.6.1	Unidades tóxicas.....	54
2.3.6.2	Carga tóxica.....	55
2.3.7	Avaliação de Risco.....	55
2.3.7.1	Estimativas do potencial de impacto ambiental.....	56
2.3.8	Redução de Toxicidade.....	58
2.3.9	Critérios para a Emissão de Efluentes Tóxicos.....	60
2.3.9.1	Mistura imediata.....	60
2.3.9.2	Mistura incompleta.....	60
2.3.9.3	Ausência da toxicidade.....	61
2.3.10	Bioacumulação e Biomagnificação.....	61
2.3.11	Estudos Desenvolvidos nos Testes Biológicos.....	62
2.4	LEGISLAÇÃO REFERENTE A TOXICIDADE.....	63
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>70</b>
3.1	RESÍDUOS.....	70
3.1.1	Descrição dos Resíduos Sólidos Industriais e Drenados dos Aterros.....	70
3.2	TESTE DE LIXIVIAÇÃO.....	72
3.3	TESTE DE SOLUBILIZAÇÃO.....	73
3.4	DETERMINAÇÃO DE METAIS.....	74
3.5	TESTE DE TOXICIDADE AGUDA COM <i>Daphnia magna</i> .....	76
3.6	TESTE DE INIBIÇÃO DA EMISSÃO DA LUMINISCÊNCIA EM <i>Vibrio fischeri</i> .....	80
3.6.1	Método de Bioensaios de Toxicidade Aguda com Bactérias Luminescentes <i>Vibrio fischeri</i> .....	82
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>83</b>
4.1	CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	83
4.1.1	Análises do Extrato Lixiviado.....	83
4.1.2	Análises do Extrato Solubilizado.....	88
4.2	BIOENSAIOS COM MICROCRUSTÁCEO ( <i>Daphnia magna</i> ) E COM BACTÉRIAS ( <i>Vibrio fischeri</i> ).....	96
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>106</b>



<b>6 RECOMENDAÇÕES</b> .....	108
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	109
<b>ANEXO 1 – LIMITE MÁXIMO DE POLUENTE NO EXTRATO LIXIVIADO E EXTRATO SOLUBILIZADO CONFORME A NBR 10004/87</b> .....	117
<b>ANEXO 2 – LIMITE MÁXIMO DE POLUENTE NO EXTRATO LIXIVIADO E EXTRATO SOLUBILIZADO CONFORME A NBR 10004/04</b> .....	120

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	CONCENTRAÇÃO DE ALGUMAS SUBSTÂNCIAS QUE CAUSAM EFEITOS TÓXICOS AGUDOS A ORGANISMOS AQUÁTICOS E COMPARAÇÃO COM PADRÕES DE EMISSÃO .....	43
TABELA 2 -	TOXICIDADE PARA PEIXES DE ALGUMAS SUBSTÂNCIAS IDENTIFICADAS EM EFLUENTES DE INDÚSTRIAS DE PAPEL E CELULOSE, PROCESSO KRAFT .....	44
TABELA 3 -	COMPARAÇÃO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS METODOLOGIAS DE CONTROLE DE AGENTES TÓXICOS .....	46
TABELA 4 -	ESTUDOS DE REDUÇÃO DE TOXICIDADE .....	59
TABELA 5 -	ESTUDOS REALIZADOS EM MÉTODOS (TESTES BIOLÓGICOS)	63
TABELA 6 -	LIMITES MÁXIMOS DE TOXICIDADE PARA EFLUENTES DE DIFERENTES ORIGENS ESTABELECIDOS PELA PORTARIA 017/02 DA FATMA .....	66
TABELA 7 -	LISTA DAS AMOSTRAS CEDIDAS PELA UNIDADE DE DESTINAÇÃO FINAL, CLASSIFICAÇÃO CONFORME A NBR 10004/87 E ORIGEM DOS RESÍDUOS .....	71
TABELA 8 -	LIMITES DE DETECÇÃO OBTIDOS ATRAVÉS DO ESPECTROFOTÔMETRO DE ABSORÇÃO ATÔMICA AA-20 PLUS - VARIAN .....	76
TABELA 9 -	SOLUÇÕES PARA PREPARO DA ÁGUA DE CULTIVO E DE DILUIÇÃO .....	78
TABELA 10 -	VOLUME DAS SOLUÇÕES PARA PREPARO DA ÁGUA DE CULTIVO .....	80
TABELA 11 -	VOLUME DAS SOLUÇÕES PARA PREPARO DA ÁGUA DE DILUIÇÃO .....	80
TABELA 12 -	RESULTADOS DAS ANÁLISES DE METAIS NO EXTRATO LIXIVIADO .....	84
TABELA 13 -	RESULTADOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS NO EXTRATO LIXIVIADO DESCRITOS NO LAUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS, ELABORADO PELA UNIDADE DE DISPOSIÇÃO FINAL .....	87
TABELA 14 -	TEORES MÁXIMOS DE ALGUMAS SUBSTÂNCIAS PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES ESTABELECIDOS PELA LEGISLAÇÃO NACIONAL – CONAMA 357/2005 .....	88
TABELA 15 -	RESULTADOS DAS ANÁLISES DE METAIS NO EXTRATO SOLUBILIZADO .....	89

TABELA 16 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS NO EXTRATO SOLUBILIZADO DESCRITOS NO LAUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS, ELABORADO PELA UNIDADE DE DESTINAÇÃO FINAL .....	95
TABELA 17 - RESULTADOS DOS TESTES DE TOXICIDADE AGUDA NO EXTRATO SOLUBILIZADO.....	97
TABELA 18 - RESULTADOS DOS TESTES DE TOXICIDADE NO DRENADO DO ATERRO CLASSE IIA E CLASSE IIB.....	103

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MICROCRUSTÁCEO .....	77
FIGURA 2 - BACTÉRIAS.....	81
FIGURA 3 - TOXICIDADE AGUDA DE BACTÉRIAS E MICROCRUSTÁCEOS EM FUNÇÃO DAS AMOSTRAS ANALISADAS .....	102

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
CE50	- Concentração da amostra que causa efeito agudo (imobilidade) a 50 dos organismos, em %
CEMA	- Conselho Estadual de Meio Ambiente
CENO	- Concentração de efeito não observado
CETESB	- Companhia Estadual de Tecnologia Ambiental – São Paulo
CER	- Concentração do efluente no corpo receptor, em %
CL50	- Concentração da amostra que causa efeito agudo (letalidade) a 50% dos organismos, em %
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	- Demanda bioquímica de oxigênio
DER	- Diluição do efluente no corpo receptor, em %
DIN	- <i>Deutsches Institut fur Normung</i>
DQO	- Demanda química de oxigênio
ETA	- Estação de Tratamento de Água
EPA	- <i>Environmental Protection Agency</i>
FATMA	- Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina
FEEMA	- Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente/ Rio de Janeiro
FEPAM	- Fundação Estadual de Proteção Ambiental/ Rio grande do Sul
FT	- Fator de toxicidade
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ISO	- <i>International Organization for Standartization</i>
NBR	- Norma Brasileira
PRONOL	- Comissão Permanente de Normalização Técnica
QE	- Vazão média do efluente, em m <sup>3</sup> por dia
Q7,10	- Vazão mínima anual do rio, média de sete dias consecutivos, com probabilidade de dez anos de retorno
SMA	- Secretaria do Meio Ambiente/ São Paulo
SEMA	- Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul
UTa	- unidade tóxica aguda
Utc	- unidade tóxica crônica
UT	- unidade tóxica

## RESUMO

A expansão do processo industrial tem acarretado um aumento considerável na produção e complexidade dos resíduos sólidos industriais. Devido à grande diversidade de substâncias potencialmente tóxicas introduzidas nos processos industriais, e a uma destinação inadequada dos resíduos sólidos, ocorre o agravamento dos problemas ambientais, podendo atingir o ar, o solo e, principalmente, as águas superficiais e do subsolo. O objetivo deste trabalho foi propor a utilização de bioensaios, através de testes de toxicidade aguda com dois organismos bioindicadores de toxicidade, como mais um parâmetro a ser analisado no extrato solubilizado dos resíduos que, segundo a NBR 10004/04 seriam classificados como classe II A - não inertes ou classe II B - inertes. Para este estudo foram realizados testes de solubilização em 18 amostras de resíduos, já pré-classificados como classe II A ou II B, provenientes de diferentes ramos industriais. Em apenas cinco destas amostras foi realizado testes de lixiviação para comprovar a inexistência de resíduos classe I - perigosos entre as amostras. Posteriormente, no extrato solubilizado foram analisados alguns metais para confirmar a classificação das amostras e, também, foi avaliada a toxicidade de cada extrato solubilizado, em presença de microcrustáceos (*Daphnia magna*) e bactérias (*Vibrio fischeri*), cujos resultados foram expressos em fator de toxicidade (FT), o qual representa a primeira de uma série de diluições de uma amostra que não cause efeito tóxico agudo aos organismos teste. Realizaram-se, também, testes de toxicidade no drenado dos aterros classe II A e II B. Através dos resultados obtidos nos testes de metais a classificação dos resíduos submetidos à bioensaios foi confirmada. Ainda, verificou-se que a toxicidade foi constatada nos extratos solubilizados dos 18 resíduos analisados e que, quando os valores de FT encontrados foram comparados com os limites máximos de toxicidade para *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*, estabelecidos pela Portaria 017/02 da FATMA para lançamento de efluentes, apenas três das amostras estariam próprias para lançamento. Já, a toxicidade encontrada no drenado dos aterros, com FT de 256 para *Vibrio fischeri* e com FT variando entre 64 e 128 para *Daphnia magna*, ficou muito superior do que a toxicidade de cada extrato solubilizado analisado separadamente. Com a aplicação da proposta deste trabalho, os resíduos que classificados pela NBR 10004/04 como classe II A ou IIB, mas que apresentassem um FT superior ao estabelecido para lançamento (resíduos 01, 02, 03, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 16, 17 e 18), poderiam ser destinados no aterro classe I - perigoso, o qual seu drenado passaria por um tratamento para redução da toxicidade, além dos já aplicados para atingir as outras condições e padrões exigidos pelo CONAMA, antes de ser lançado no corpo receptor. Assim, o padrão de qualidade das águas, disposto pela Resolução CONAMA 357/05, seria mantido, e a geração de resíduos altamente tóxicos seria minimizada, já que o tratamento de decomposição da toxicidade é um processo difícil e com custo elevado.

Palavras-chave: Resíduo Sólido; Lixiviação; Solubilização; Bioensaios; Bioindicadores.

## ABSTRACT

The expansion of the industrial process has led to a considerable growth of production as well as its complexity. Owing to a great diversity of substances potentially toxic inserted in the industrial process and the inadequate disposal of such waste contributes to the deterioration of the environment. Hence, such deterioration may damage the quality of air, soil and subsoil. The aim of this research was to propose the use of bioassays toxicity using two organisms bioindicators of toxicity as another parameter to be analyzed in the solubilized extraction of waste according to NBR 10004/04 and classified as class II A - non inert or class II B - inert. Eighteen waste samples already classified as class II A or II B coming from different industrial branches were tested. Also, in just five of these samples the leaching was realized to make sure that there were no class I - dangerous within these samples. Afterwards, some metals were analysed in the solubilized extraction to make sure the sample classification was correct as well as to evaluate the level of toxicity using a crustacean (*Daphnia magna*) and bacteria (*Vibrio fischeri*). The results of these samples were expressed in a toxicity coefficient (FT) which represents the first array of dilutions of a sample that does not cause toxic effect to the organism involved in the test. Besides, another test was realized to measure the level of toxicity in the drainage of landfill class II A and II B. Based on the results achieved through tests of metals, the waste classification was confirmed. It was verified that the toxicity was found in the solubilized extraction of the 18 residues analysed, and that FT rating when compared to the maximum toxicity limit for *Daphnia magna* and *Vibrio fischeri* - established FATMA, statute 017/02 for effluents - just three of the samples were proper for emission. Otherwise, toxicity found in the drainage of landfill with FT of 256 for *Vibrio fischeri* and with FT varying between 64 to 128 for *Daphnia magna* was higher than the toxicity of each solubilized extraction analysed separately. The application of the measurement proposed in this work, the residue classified for NBR 10004/04 as class II A or II B which present an FT higher than the one established for emission (waste 01, 02, 03, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 16, 17 e 18) could be disposed to a landfill class I - hazardous and its drainage would pass through another treatment to reduce its level of toxicity, besides the ones already applied to conform patterns required for CONAMA. As a result the quality pattern of water in the CONAMA 357/05 resolution would be kept, and the production of highly toxic waste would be minimized since the treatment is a hard process as well as highly expensive.

Key-words: Solid waste; Leaching; Solubilization; Bioassays; Bioindicators.

## 1 INTRODUÇÃO

Entre as diversas formas de poluição ambiental está a poluição por resíduos industriais, onde apresentam-se graves problemas sócio econômicos ambientais.

Envolvem-se nesse problema a geração, o acondicionamento, o manuseio, a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos industriais (JACOMINO et al., 2002).

Os impactos causados pelos resíduos sólidos podem apresentar como conseqüência a contaminação das águas, onde indústrias lançam produtos tóxicos diretamente, ou através da lixiviação de solos contaminados. Pesticidas e herbicidas usados na agricultura também colaboram para este tipo de poluição.

A contaminação do solo pode ocorrer quando a disposição final de resíduos é feita de maneira inadequada, possibilitando que poluentes afetem o meio ambiente quando arrastados com a água ou solubilizados. Impactos como odores, gases tóxicos, choro também podem ocorrer (ZULAUF, 1997).

Para que o resíduo industrial tenha disposição final, transporte ou processamento corretos, é importante que o gerador do resíduo forneça informações a respeito das características dos contaminantes presentes, mas estas referências não devem ser o único parâmetro considerado para que seja possível optar pelo tratamento final adequado do resíduo.

O aterramento é considerado uma alternativa para a disposição final de resíduos sólidos industriais, sendo que para esta alternativa deve ser recomendado que os resíduos estejam estáveis e com baixo teor de umidade (JACOMINO et al., 2002). Entretanto, pode ocorrer a necessidade de preparação prévia do resíduo, para o qual os métodos normalmente utilizados incluem a fixação química, a redução de volume, a separação dos resíduos, a degradação e o encapsulamento (ROCCA et al., 1993). Para resíduos perigosos o projeto do aterro requer uma elaboração mais rigorosa, devendo ter impermeabilização de sua base com materiais naturais ou sintéticos, e também uma



cobertura impermeável evitando liberações gasosas e infiltração de águas de chuva (ABNT, 1987e).

A disposição controlada dispõe de outras alternativas tais como a incineração, a injeção de resíduos em poços profundos, a disposição em minas subterrâneas desativadas, sistemas “landfarming”, estabilização e solidificação são mais alguns sistemas utilizados para tratamento de resíduos (JACOMINO et al., 2002).

A Norma NBR 10004 (ABNT, 2004a) classifica os resíduos quanto a sua periculosidade ao meio ambiente e à saúde pública e indica a destinação adequada para estes resíduos. Para a aplicação desta norma, é necessário consultar as Normas Complementares das quais fazem parte a lixiviação, solubilização e amostragem de resíduos.

Para facilitar a classificação dos resíduos, é necessário o conhecimento do processo industrial, identificando os produtos usados assim como sua nocividade, sendo esta classificação baseada nas propriedades físicas, químicas, patogênicas e na identificação dos contaminantes existentes no resíduo (ABNT, 2004a).

Deve-se dar grande importância à amostragem, pois a amostra tomada para análise deve representar a composição e as propriedades da porção total do resíduo (ABNT, 2004d).

Alguns resíduos são de difícil classificação e até mesmo os já classificados e titulados como classe II A e II B, ainda que submetidos ao teste de solubilização conforme a NBR 10006, não garantem ausência de toxicidade.

A toxicidade é uma propriedade inerente à substância que produz efeitos danosos aos organismos expostos, durante um determinado tempo, a uma concentração específica (ABNT, 2004e).

Uma das formas de entrada de agentes tóxicos para o ambiente aquático se dá através do resíduo sólido industrial. Não se deve subestimar o controle de poluentes tóxicos que afetam adversamente o meio ambiente, devido à grande diversidade de novas substâncias que estão sendo introduzidas no mesmo (ZAGATTO, 1992). Desse modo

ocorre uma maior complexidade quando se pretende estimar os danos que uma substância específica possa causar aos organismos e identificar, com exatidão, qual agente tóxico é o causador do desequilíbrio existente (CETESB, 1990b). A avaliação da toxicidade mediante bioensaios com organismos indicadores, fornece um parâmetro somatório dos teores de diversos poluentes tóxicos (ZAGATTO, 1992).

A maioria dos agentes químicos, principalmente os perigosos, são acumulativos no meio aquático, portanto, a biota aquática pode estar sujeita aos efeitos dessas substâncias por prolongados períodos de tempo (FATMA, 1999).

Este trabalho teve como objetivo principal, introduzir como testes complementares, a avaliação de toxicidade aguda do extrato solubilizado, através de bioensaios, nos resíduos sólidos industriais enquadrados como classe II A - não inertes e classe II B - inertes.

E, assim, rever a classificação dos resíduos sólidos industriais quanto à garantia de que os parâmetros já analisados seriam suficientes para determinar a correta nomeação dos resíduos como classe II A ou classe II B.

Para atingir o objetivo principal, o presente estudo selecionou resíduos pré-classificados como classe II A - não inertes e classe II B - inertes, e os submeteu a ensaios de solubilização. A partir do solubilizado foram realizados bioensaios utilizando *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*, como organismos bioindicadores de toxicidade, possibilitando avaliar a toxicidade do resíduo sólido industrial.

A importância do presente trabalho está justamente em avaliar a eficiência da aplicação da NBR 10004/04 - Classificação de resíduos, para evitar efeitos tóxicos nos corpos d'água causados pelos drenados dos aterros onde são destinados os resíduos classe IIA e classe IIB. Dessa forma, será discutida a necessidade de se agregar parâmetros biológicos, os quais permitem conhecer o nível tóxico do extrato solubilizado de um determinado resíduo, na avaliação dos resíduos para seu enquadramento nas classes previstas. Portanto, a partir da toxicidade o resíduo poderá ser classificado como classe I, IIA ou IIB e ser destinado a seu aterro correspondente.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 RESÍDUO SÓLIDO**

Entende-se por resíduos sólidos qualquer matéria no estado sólido ou semi-sólido, onde estes são divididos em grupos, de acordo com a fonte produtora.

Segundo JACOMINO (1977) podem ser originados a partir de fontes domésticas (produzidos em residências, constituídos basicamente de papel, restos de alimentos, plásticos, entre outros), industriais (provenientes de atividades de produção, mineração, entre outros), hospitalares (proveniente de qualquer unidade que execute atividade de serviços de natureza médica, centros de pesquisa, medicamentos), saneamento (recolhidos através da limpeza pública urbana), construção civil (entulhos).

#### **2.1.1 Definição de Resíduo Sólido Industrial**

Segundo uma definição proposta pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação (2004a), são considerados resíduos sólidos industriais os “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades industriais, incluindo-se os lodos provenientes das instalações de tratamento de águas, aqueles gerados em equipamentos 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 isto, soluções economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível.”

## 2.1.2 Classificação dos Resíduos Sólidos

A classificação dos resíduos e normas complementares foi padronizada a nível nacional pela ABNT:

NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação

NBR 10005 – Lixiviação de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos

NBR 10006 – Solubilização de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos

NBR 10007 – Amostragem de resíduos – Procedimento

A ABNT (2004a) tem como objetivo classificar os resíduos sólidos quanto à sua periculosidade à saúde humana ou a organismos vivos e ao meio ambiente, orientando na identificação dos resíduos nocivos para que possam ser manuseados corretamente e tenham uma destinação final apropriada.

A partir das características dos resíduos é determinada a sua classificação, onde estão listados os resíduos reconhecidamente perigosos, contendo a fonte, o código do resíduo e o código de periculosidade, e listados os padrões de concentração de poluentes (ROCCA et al.,1993).

A ABNT (2004a) mostra as listagens baseadas nas características dos resíduos, as quais estão dispostas a seguir:

- 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;

De acordo com esta Norma, os resíduos são enquadrados na seguinte classificação:

- Resíduo classe I – perigosos;
- Resíduo classe II A – não perigoso (não-inertes);
- Resíduo classe II B – não perigoso (inertes).

Os resíduos sólidos considerados classe - I ou perigosos são aqueles que apresentam características em sua composição como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podendo ocasionar riscos à saúde pública contribuindo para um aumento da letalidade ou surgimento de doenças e danos ao meio ambiente (BRASIL, 2001).

Resíduo sólido industrial não perigoso é “proveniente do consumo dos produtos gerados por partes das atividades industriais, da construção civil ou de importação, que não se enquadre como perigoso, e que gera uma massa de embalagens ou de carcaça de bens de consumo após o término do ciclo de vida do produto” (BRASIL, 2001).

Ainda, segundo VALLE (2000), os resíduos que não são considerados como perigosos ou como inertes, são denominados como não inertes, podem ser potencialmente biodegradáveis, combustíveis ou apresentar solubilidade em água, e sua disposição é relativamente simples.

No Estado de São Paulo, os resíduos não inertes representam 93% da quantidade total de resíduos gerados, sendo que os setores contribuintes são os de minerais não-metálicos, de produtos alimentícios, metalúrgicas, química e papel (GROKE, 1998).

Se enquadram na classe II B - inertes os resíduos que, de acordo com a ABNT (2004d), possuem condições de amostragem, preservação e estocagem de amostras, e submetidos ao teste de solubilização, segundo a ABNT (2004c), os que não possuem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões citados no Anexo G, excluindo-se os padrões aspecto, cor, turbidez e sabor.

Rochas, tijolos, vidros, certos plásticos e borrachas de difícil decomposição, são exemplos de resíduos inertes.

### 2.1.3 Análise de Resíduos Sólidos

#### 2.1.3.1 Lixiviação de resíduos

O teste de lixiviação se aplica aos resíduos que apresentarem em sua constituição um ou mais dos elementos que compõe o Anexo F– Concentração- limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação conforme dispõe a ABNT (2004a).

Fazendo parte das Normas Complementares, a ABNT (2004b), estabelece as condições necessárias para a lixiviação de resíduos objetivando sua classificação. No ensaio de lixiviação ocorre a separação de certas substâncias contidas nos resíduos por meio de dissolução no meio extrator, e quando no extrato lixiviado são detectados teores de material poluente em concentração superior aos padrões estabelecidos pelo Anexo F da ABNT (2004a), são classificados como classe I - resíduos perigosos.

Para o ensaio de lixiviação deve-se pesar 100 g de uma amostra representativa de resíduo, com partículas menor ou igual a 9,5 mm de diâmetro. Em seguida, a amostra pesada e 2000 mL da solução de extração devem ser transferidas para o frasco de lixiviação. O frasco deve ser fechado e mantido sob agitação no agitador rotatório com uma rotação de 30 rpm por 18 horas. Após este período, a amostra deve ser filtrada em filtro de fibra de vidro com porosidade de 0,6  $\mu\text{m}$  a 0,8  $\mu\text{m}$ , assim, o extrato obtido vai para análise (ABNT, 2004b).

Existem duas soluções de extração, onde a n°1 possui o pH de 4,93 e a n°2 possui o pH de 2,88, sendo que antes da realização do ensaio deve-se determinar qual das soluções será utilizada. Para isto deve-se pesar 5,0 g de resíduo, com partículas menores que 9 mm de diâmetro, e transferir para um béquer junto com 96,5 mL de água

deionizada, cobrir o béquer com vidro de relógio e agitar vigorosamente por 5 minutos com agitador magnético. Então deve-se medir o pH, se este for menor ou igual a 5,0, deve-se utilizar no ensaio de lixiviação a solução n°1. Se o pH for maior que 5,0, adiciona-se 3,5 mL de HCl 1N, homogeneiza-se a solução, cobre com vidro relógio e aquece a 50°C por 10 minutos, após esfriar a solução mede-se o pH, se este for menor ou igual a 5,0, utiliza-se a solução n°1 e se for maior que 5,0 utiliza-se a solução n°2 no ensaio (ABNT, 2004b).

#### 2.1.3.2 Solubilização de resíduos

A Norma Complementar que trata deste assunto é a NBR 10006 – Solubilização de resíduos, onde impõem condições para que se possa diferenciar os resíduos da classe II A e II B (ABNT, 2004c).

A amostra submetida a análise deve ser coletada conforme as condições citadas na NBR 10007 (ABNT,2004d).

Na realização do ensaio, deve-se colocar uma amostra representativa de 250 g de massa seca do resíduo em um frasco de 1500 mL, a partir desse ponto deve ser adicionada 1000 mL de água deionizada e deixar em agitação com baixa velocidade por um período de 5 minutos. Deve-se tampar o frasco e deixar descansar por 7 dias, após este período filtra-se a solução, a qual será submetida às análises químicas necessárias (ABNT, 2004c).

#### 2.1.4 Amostragem

A amostragem de resíduos também faz parte das Normas Complementares estabelecidas pela ABNT, de acordo com a NBR 10007 (ABNT, 2004d). Esta Norma traz as exigências necessárias para que na operação de amostragem sejam mantidas as

características do resíduo. De acordo com USEPA (1986), os resultados das análises somente terão valor se a massa de resíduo tomada representar corretamente a composição e as propriedades do resíduo como um todo. Ainda, segundo VALLE (2000), a parcela de resíduo a ser analisada deve ser obtida através de um processo de amostragem adequado para cada situação e representar as mesmas características e propriedades da porção total.

Quando o resíduo a ser analisado é homogêneo, a amostragem é facilitada, pois mesmo se a quantidade retirada for pequena e de qualquer ponto, ela será representativa (USEPA, 1986).

Ao se tratar de uma amostra heterogênea, deve-se obter o maior número de amostras possível, assim os resultados das análises irão traduzir mais fielmente os valores de parâmetros desejados (USEPA, 1986). A ABNT (2004d) apresenta o número de amostras a serem coletadas em função do tipo de resíduo e do local onde se deseja retirar as amostras.

#### 2.1.4.1 Volume de amostras

Durante a fase de planejamento deve-se, estabelecer quais as análises e ensaios que serão realizados, e qual o volume de amostras necessário para cada um deles. Muitas vezes deve-se ter também o volume que permita a realização de contraprovas. Quando se pretende analisar diversas propriedades ou parâmetros, deve-se dividir a amostra inicial em diversas alíquotas, pois os métodos de preservação para uma determinada análise podem ser diferentes para cada parâmetro (ABNT, 2004d).

#### 2.1.4.2 Local de coleta

Como existe uma variedade enorme de recipientes de armazenamento de resíduos, para cada coleta existe um procedimento específico do ponto adequado de



acordo com o local onde se encontra este resíduo (USEPA, 1986). A Tabela (A4) da ABNT (2004d), dispõe sobre a escolha correta dos pontos de retirada das amostras.

#### 2.1.4.3 Procedimento de amostragem

Em função do tipo de acondicionamento do resíduo, são estabelecidos procedimentos que devem ser seguidos para que ocorra uma coleta de amostra representativa do resíduo analisado (ROCCA et al., 1993).

A ABNT (2004d), apresenta alguns exemplos de acondicionamento de resíduos:

- Amostragem em tambores;
- Amostragem em caminhão tanque;
- Amostragem em frascos ou sacos contendo pó ou resíduos granulados;
- Amostragem em lagoas de resíduos;
- Amostragem em leitos de secagem, lagoas de evaporação secas, lagoas secas e solos contaminados;
- Amostragem em montes ou pilhas de resíduos;
- Amostragem em tanques de estocagem;
- Amostragem de resíduos sólidos heterogêneos.

De acordo com USEPA (1986), imediatamente após a coleta, cada amostra deve ser identificada com uma etiqueta, constando o número da amostra, e ser acompanhada de uma ficha de coleta, com o nome do coletor, data e hora da coleta, identificação da origem do resíduo, identificação de quem receberá os resultados, número da amostra, descrição do local da coleta, determinações efetuadas em campo, determinações a serem efetuadas no laboratório. O coletor deve informar os riscos, caso haja suspeita de se tratar de resíduo perigoso.

#### 2.1.4.4 Preservação das amostras

Os métodos utilizados para preservação das amostras podem influenciar nos resultados analíticos, recomendando-se que seja feita a análise imediatamente após a coleta do resíduo (USEPA, 1986). De acordo com a ABNT (2004d), para cada constituinte do resíduo que se deseja preservar, existe o método de preservação e o tempo máximo de estocagem para que não seja modificada a característica inicial do resíduo. A Tabela A1 – Métodos de preservação e tempo de estocagem de alguns constituintes dos resíduos sólidos, da ABNT (2004d), descreve como alguns dos métodos de preservação, resfriar a 4°C por um período máximo de 14 horas quando se quer preservar constituintes do resíduo como a acidez, alcalinidade e toxicidade. No entanto, para a preservação de metais nos líquidos é necessário adicionar ácido nítrico concentrado até que o pH esteja menor que dois, e estocar a amostra por no máximo 180 dias (APHA, 1998).

#### 2.1.5 Manuseio e Transporte de Resíduos Sólidos

Geralmente a disposição final e tratamento dos resíduos industriais se localizam distantes do seu ponto de geração (ROCCA et al., 1993). Segundo VALLE (2000), o industrial é co-responsável pelo que venha a ocorrer com o resíduo por ele gerado, ou seja, ele irá responder por qualquer acidente de contaminação do meio ambiente ocasionado por seu resíduo. De acordo com ROCCA et al. (1993), para que o industrial tenha uma certa segurança, é necessário que a firma contratada para o transporte do resíduo seja cadastrada e que o tratamento e disposição final sejam feitas por empresas licenciadas pelo órgão ambiental.

Os funcionários que estarão em contato direto com os resíduos devem ser informados dos riscos que estes oferecem, e receber treinamento de como coletar, armazenar e transportar o resíduo, assim como dos procedimentos de emergência

adotados em caso de acidentes (ZULAUF, 1977). Somando-se a isto, os funcionários devem estar cientes da necessidade do uso dos equipamentos de proteção individual e serem orientados do uso correto destes equipamentos (ROCCA et al., 1993).

As misturas dos resíduos devem ser evitadas por segurança e, também para facilitar seu tratamento (VALLE, 2000). ROCCA et al. (1993), acrescenta que quando resíduos incompatíveis são misturados pode ocorrer a geração de calor, fumos, gases inflamáveis, entre outros fenômenos, ocasionando riscos aos operários. Outro aspecto importante, citado por JACOMINO et al. (2002), é a reutilização e minimização dos resíduos, pois se em uma porção de lodo galvânico, que é classificado como resíduo perigoso, ocorrer adição de papel por exemplo, a quantidade de resíduo a ser destinado será muito maior, acarretando maiores custos de tratamento e o papel não poderá ser reutilizado ou até mesmo reciclado.

Segundo a ABNT (2003), os resíduos devem ser transportados obedecendo aos critérios de segregação e compatibilidade, para evitar a alteração de sua classificação.

De acordo com ROCCA et al. (1993), os tipos de transportes utilizados para resíduos sólidos são o marítimo, ferroviário e rodoviário. O transporte marítimo é viável para grandes quantidades de resíduos a granel com baixo potencial de poluição, onde irão percorrer grandes distâncias, ou para cargas de dimensões elevadas. No porto de origem e de chegada, é exigida a construção de estações de transbordo, no caso de ocorrer acidentes. O autor complementa que o transporte ferroviário é utilizado para grandes quantidades de carga, sendo estas iguais ou diferentes, e para percorrer grandes distâncias, tendo um custo mais baixo. Em caso de acidentes, a grande maioria das ferrovias possui planos de emergência e sistema de comunicação, sendo que a área de abrangência de um derramamento é semelhante ao do transporte rodoviário.

O transporte rodoviário é utilizado para pequenas distâncias, tendo acesso ao ponto de geração assim como de destinação. O motorista e seus ajudantes devem ser treinados de como agir corretamente em caso de acidentes e ser informados sobre o que estão transportando, qual o risco da carga e qual a rota que devem seguir. Quando a carga

se tratar de resíduo perigoso é necessário que no interior do veículo tenha informações sobre a carga, instruções de emergência e telefones de corpos de bombeiros, polícia e do gerador do resíduo (ROCCA et al., 1993).

## 2.1.6 Disposição Final dos Resíduos Sólidos Industriais

### 2.1.6.1 Aterro industrial

Segundo a ABNT (1983), aterro industrial pode ser entendido como a técnica de disposição final de resíduos industriais no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos industriais, tanto perigosos quanto não inertes, a menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário. A ABNT (1992) dispõe as mesmas exigências acima citadas, no entanto, utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos.

De acordo com PAVAN et al. (1985), alguns resíduos industriais, como lodos de caixa de decantação ou sedimentação, embalagens contaminadas, escórias e borras de fornos, borras de retífica e tinta, refratários, areias de fundição são exemplos de resíduos dispostos em aterros, acrescentando-se a isto, como dispõe JACOMINO et al. (2002) e citado por MATHEUS e BENTLEY (1983), é ainda, considerado uma alternativa para resíduos estáveis e com baixo teor de umidade. Já, segundo ROCCA et al. (1993), os resíduos inflamáveis, reativos, oleosos, orgânicos-persistentes ou que contenham líquidos livres não devem ser dispostos em aterros.

De acordo com a ABNT (1997b) e ABNT (1987e), para que um projeto seja elaborado, e para que ocorra a implantação de um aterro, são necessários estudos de caracterização e classificação de resíduos, e caracterização do local destinado à

implantação do aterro, o qual envolve a caracterização geográfica, topográfica, hidrogeológica e climatológica.

Para que ocorra a obtenção das licenças de instalação e de funcionamento de um aterro industrial, é necessário que o projeto do mesmo seja submetido à aprovação do Órgão de Controle de Poluição Ambiental (PAVAN et al., 1985).

Como ressalta ZULAUF (1977), a disposição de resíduos perigosos em aterros requer, tanto no projeto quanto na operação, maior cuidado e elaboração mais sofisticada, havendo a necessidade de uma preparação prévia do resíduo. MATHEUS e BENTLEY (1983) complementam, que antes de serem aterrados os resíduos são submetidos às preparações que lhe cabem, como a secagem, a neutralização, solidificação, fixação química, encapsulamento, precipitação de cianetos, entre outros.

Deve ser feita, além do monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da redondeza, a inspeção e o monitoramento de toda a extensão do aterro (PAVAN et al., 1985). Também há a necessidade da impermeabilização de sua base, e também de uma cobertura impermeável, para evitar assim a infiltração de águas de chuva e controlar emissões gasosas (JACONIMO et al., 2002).

No aterro classe II são dispostos os resíduos industriais não-perigosos e não-inertes, e também os resíduos domiciliares, e por fim, no aterro classe III são destinados os resíduos que possuem características inertes (ROCCA et al., 1993; MATHEUS e BENTLEY, 1983). De acordo com ROCCA et al. (1993), alguns itens devem compor a infra-estrutura de um aterro, os mais importantes estão descritos a seguir:

- Cerca para isolamento da área barrando acesso de pessoas e animais;
- Placa de sinalização;
- Plantio de arbustos e árvores ao redor do aterro;
- Ter controle de entrada de veículos;
- Balança para pesar veículos que trazem resíduos;
- Laboratório para realização de análises, dentre elas a de certificação do resíduo listado pelo cliente com o que realmente chegou para aterro;

- Pátio de estocagem de resíduos.

A operação do aterro deverá seguir alguns planos como o de registro e controle de recebimento de resíduos, de amostragem de resíduos, de segregação de resíduos, de inspeção e manutenção, de emergência, de encerramento e monitoramento do aquífero, para que seja minimizada a possibilidade de ocorrer danos ao meio ambiente e à saúde pública (ROCCA et al., 1993).

#### 2.1.6.2 Incineração

Segundo a ABNT (1990), a incineração é um processo de tratamento físico-químico que utiliza a destruição térmica sob alta temperatura, sendo esta na faixa de 900°C a 1250°C. A aplicação deste tratamento é utilizado para resíduos de alta periculosidade, objetivando reduzir seu volume, ou que necessitam de destruição total.

Neste método, segundo BOND e STRAUB (1973), ocorre a decomposição térmica via oxidação à alta temperatura da parcela orgânica dos resíduos, ficando duas fases, uma sólida e outra gasosa, reduzindo o volume, peso e as características de periculosidade dos resíduos.

Os tipos de resíduos adequados para a incineração são os resíduos sólidos, pastosos, líquidos e gasosos, resíduos clorados e não-clorados como borra de tinta, agrodefensivos, borras oleosas, farmacêuticos, cosméticos, resíduos de laboratório, e resinas, resíduos inorgânicos contaminados com orgânicos, resíduos ambulatoriais, resíduos tóxicos e muito inflamáveis, e resíduos que apresentam no mínimo 4.700 kcal/kg como seu poder calorífico inferior (ROCCA et al., 1993). Os resíduos não-passíveis de incineração são os radioativos, resíduos totalmente inorgânicos e resíduos hospitalares do centro cirúrgico (BOND e STRAUB, 1973). REALI (1999) complementa que a incineração pode também ser aplicada à disposição final de lodos oriundos da estação de tratamentos de águas potável, mas o custo elevado deste processo o torna inviável.

As instalações de incineradores podem ser projetadas pelo próprio gerador do resíduo, tratando apenas um tipo de resíduo, ou ser projetada em grandes instalações e variados equipamentos para atender a incineração de diversos resíduos (ROCCA et al., 1993).

Dependendo das características dos resíduos e de seu comportamento durante a combustão é que são determinadas as formas adequadas de mistura, estocagem e introdução na zona de queima. Por exemplo, líquidos com baixo ponto de fulgor são destruídos facilmente, mas alguns devem ser introduzidos através de uma corrente de gás quente ou aspergidos diretamente sobre a chama por não conseguirem manter a combustão, podendo surgir o craqueamento que é a formação de outras substâncias (BOND e STRAUB, 1973; BONNER et al., 1981).

Para que seja definido o tipo de incinerador adequado de acordo com o resíduo e para que ocorra um controle da poluição do ar é necessário fazer a caracterização do resíduo. Em relação ao processo industrial é necessário obter as informações sobre quais matérias-primas são empregadas e os produtos fabricados, também deve-se ter o fluxograma do processo industrial com indicações dos pontos de geração dos resíduos (ROCCA et al., 1993). Sobre os resíduos, USEPA (1986) considera importante obter as quantidades, o estado físico, poder calorífico, viscosidade, densidade, corrosividade, e composição química.

Segundo PAVAN et al. (1985), dependendo do tipo de resíduo se define o incinerador adequado:

- Forno Rotativo é usado para resíduos sólidos (granular, homogêneo, irregular, de baixo ponto de fusão como alcatrões, orgânicos com cinzas fundentes, volumosos), líquidos (aquosos contendo orgânicos sólidos, orgânicos), gasosos (orgânicos, se adequadamente introduzidos), sólidos e líquidos (contendo compostos aromáticos halogenados), lamas (orgânicos aquosos, se resíduo não agrupar depois de seco).
- Injeção Líquida é usada para resíduos sólidos (de baixo ponto de fusão como alcatrões), líquidos (aquosos contendo orgânicos sólidos, orgânicos), gasosos (orgânicos,

se adequadamente introduzidos), sólidos e líquidos (contendo compostos aromáticos halogenados, se for líquido).

- Fornos de Câmaras são usados para resíduos sólidos (granular, homogêneo, irregular, de baixo ponto de fusão como alcatrões), líquidos (orgânicos), gasosos (orgânicos, se adequadamente introduzidos), lamas (orgânicos aquosos).

De acordo com ZULAUF (1977), a preparação do resíduo para a queima, a combustão do resíduo, o tratamento de gases na saída, o tratamento de efluentes líquidos e o acondicionamento e disposição final dos resíduos sólidos gerados, são itens de suma importância em um processo de incineração.

### 2.1.6.3 Estabilização e solidificação

Fazendo parte do tratamento físico-químico, a estabilização e a solidificação melhoram as características físicas facilitando o manuseio dos resíduos, diminuem a possibilidade de ocorrer perda de poluentes, e dificultam a solubilidade de constituintes perigosos que possam existir (USEPA, 1989; MALONE et al., 1972). Segundo ROCCA et al. (1993), esse tratamento é recomendado para resíduos perigosos inorgânicos, em solução aquosa com grande quantidade de metais pesados, ou resíduos com 10 a 20% de parte orgânica, sendo que das duas formas em grandes quantidades.

A estabilização define-se como um processo, onde elementos ou compostos tóxicos são fixados em polímeros impermeáveis ou em cristais estáveis através de reações químicas, estabilizando constituintes perigosos dos resíduos em suas formas menos solúveis ou menos tóxicas (CULLINANE et al., 1986). Já, a solidificação consiste de um processo em que ocorre a formação de uma massa sólida e monolítica de resíduo, melhorando suas características físicas e sua estrutura contribuindo assim para um transporte e manuseio facilitados (USEPA, 1989).

De acordo com ROCCA et al. (1993), existem dois tipos de processos de estabilização/solidificação, sendo que quando os resíduos são agregados a materiais como



cimento, cal, silicatos e argilas denomina-se fixação inorgânica, e quando são utilizados polímeros orgânicos tem-se as técnicas de encapsulamento.

Algumas tecnologias disponíveis:

- Processo à Base de Cimento – A queima sob altas temperaturas de uma mistura de cal, argila e outros silicatos origina o cimento (Portland), este é um *clinker* anidro provido de aluminato tricálcico, silicato de cálcio, silicato tricálcico e outros componentes. Quando o cimento é hidratado, adicionando-se água, tem-se um sólido rígido. Na hidratação ocorre a formação de uma membrana em torno das partículas de silicato de cálcio, e em cada grão de cimento aparece o crescimento de fibrilas, estas formam uma matriz onde irão se incorporar os resíduos. Neste sistema deve ser levado em consideração a interferência no processo causada pela presença de determinados compostos, como matéria orgânica, argila, carvão ou lignita, a adição de aditivos, para melhorar as características físicas da mistura, e a impregnação com polímeros, diminuindo a permeabilidade das misturas de resíduos com o cimento (USEPA, 1990).

- Processo à Base de Cal e Materiais Pozolânicos – Estes materiais são providos de partículas silicosas que combinadas com cal, e com adição de água, originam um material com propriedades parecidas com as do concreto. São exemplos de materiais pozolânicos as cinzas e poeiras de fornos de cimento (USEPA, 1990).

- Processo à Base de Cimento e Materiais Pozolânicos – São adicionados ao cimento Portland para reagirem com o hidróxido de cálcio que se encontra na forma livre, ocasionando a resistência física e química do resíduo agrupado (ROCCA et al., 1993).

- Técnica à Base de Polímeros – Betume, asfalto e polietileno são termoplásticos utilizados para solidificar resíduos, quando submetidos a aquecimento e resfriamento amolecem e endurecem respectivamente. É no termoplástico aquecido que é inserido o resíduo também aquecido e seco, onde em seguida a mistura é resfriada e solidificada (USEPA, 1990).

- Técnicas à Base de Polímeros Orgânicos – Uréia formaldeído, poliéster e butadieno são os polímeros orgânicos termofixos utilizados neste processo, onde no caso

da uréia-formaldeído os resíduos secos ou úmidos são misturados com um pré-polímero e adicionados em um catalisador até que ocorra a mistura completa, formando-se assim uma massa esponjosa que irá capturar as partículas sólidas, e que deverá ser seca antes da disposição final (ROCCA et al., 1993).

Devem ser realizados ensaios para verificar a viabilidade da utilização de processos de estabilização/solidificação de resíduos perigosos, os quais envolvem os ensaios de propriedades físicas dos resíduos estabilizados e ensaios de lixiviação dos resíduos estabilizados (USEPA, 1989; CULLINANE et al., 1986).

#### 2.1.6.4 Sistemas *landfarming*

Sendo um sistema de tratamento biológico de resíduos no solo, esta técnica consiste em utilizar propriedades físicas, químicas e a atividade microbiana do solo para realizar a biodegradação, a detoxificação, a transformação e a imobilização dos constituintes dos resíduos tratados. Podem ser tratados por este sistema uma grande variedade de resíduos, incluindo líquidos e resíduos perigosos (ROCCA et al., 1993).

De acordo com PAVAN et al. (1985), neste tratamento os resíduos são dispostos, de maneira controlada, na superfície ou no interior do horizonte superficial do solo, onde sofrem de monitoramento e remanejamento constantes, possibilitando a degradação e as transformações dos resíduos. De acordo com MATHEUS e BENTLEY (1983), para auxiliar na atividade decompositora de microorganismos, são utilizadas técnicas agrícolas, aeração mecânica e adubação química.

A seleção de locais, o projeto, a operação e manejo, o monitoramento e fechamento das unidades, são alguns critérios básicos que devem ser seguidos para a implantação de um sistema *landfarming*, conforme dispõe a ABNT (1997a). Para a adoção deste sistema *landfarming*, alguns requisitos devem ser seguidos, como sondagens do terreno para que se determine o nível do lençol subterrâneo, as camadas constituintes do solo, o grau de permeabilidade do terreno, as análises de pH, umidade, e concentração

de microorganismos, o teor de nutrientes e capacidade de troca iônica do solo, e a distância entre a superfície do solo e o lençol freático que deve ser no mínimo de 3,0 m.

#### 2.1.6.5 Outras alternativas

Existem outros processos considerados por ROCCA et al. (1993), que são utilizados no tratamento de resíduos. Alguns desses métodos são denominados como redução, neutralização, troca iônica, recuperação eletrolítica, extração por solventes, flotação, adsorção, osmose reversa, eletrodialise, e ultrafiltração. A degradação química, como coagulação e precipitação, e biológica, como bioreatores, são outros métodos também aplicados (USEPA, 1990; APHA, 1998).

#### 2.1.7 Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos

De acordo com TEIXEIRA (1999), a diminuição da poluição vem sendo alcançada com a adoção de tecnologias mais limpas, buscando a prevenção da geração de resíduos, ou pelo menos reduzi-los drasticamente.

VALLE (2000) acredita que a opção por utilizar uma tecnologia limpa, na maioria das vezes, requer modificação no processo produtivo ou nos produtos, tendo a necessidade de uma avaliação prévia na parte econômica do empreendimento.

O gerenciamento de resíduos sólidos industriais, segundo JACOMINO et al. (2002), é fundamentado em minimizar, valorizar, reaproveitar e dispor o resíduo. ROCCA et al. (1993), acrescenta que minimizar a geração de resíduos, auxilia no seu gerenciamento, e se baseia em utilizar técnicas que possibilitem a redução do volume e da toxicidade dos resíduos.

A reciclagem, sendo utilizada como um programa de minimização de resíduos, pode ser uma alternativa para controlar o consumo de matérias-primas na construção civil (LEITE, 2001).

## 2.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA REFERENTE A RESÍDUOS SÓLIDOS

A Constituição Federal Brasileira de 1988, Art 23, inciso VI, estabelece que é de competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios a proteção ao meio ambiente e o combate à poluição em qualquer de suas formas. O Art. 24, inciso VI, descreve que é de competência da União, dos Estados e do Distrito Federal legislar corretamente sobre a proteção do meio ambiente e controle da poluição. Neste mesmo artigo, inciso VIII dispõe sobre a responsabilidade por danos ao meio ambiente.

Conforme alerta a Agenda 21 (2002), a quantidade e variedade de resíduos persistentes no meio ambiente crescem a um ritmo acelerado. Essa tendência pode quintuplicar o montante de resíduos gerados até o ano 2025. O Capítulo 21 foi dedicado aos resíduos sólidos, sendo recomendação expressa da Assembléia Geral do Rio-92, por meio da Resolução 44/228 (seção I, §12) na qual afirma que o manejo ambiental saudável dos resíduos está entre as questões mais importantes para a qualidade do meio ambiente.

### 2.2.1 Legislação Federal

Entre as Leis Federais destacam-se:

- Decreto-Lei nº 1413/75 – dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais;
- Decreto nº 76.389/75 – Dispõe sobre as medidas de prevenção e controle da poluição industrial de que trata o Decreto-Lei nº 1413/75;

- Portaria Federal nº 053/79 – da Secretaria de Meio Ambiente – determina que os projetos específicos de tratamento e disposição de resíduos sólidos bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção ficam sujeitos à aprovação do órgão estadual de controle da poluição;
- Lei nº 6803/80 – dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição;
- A 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;
- Decreto nº 97.633/89 – regulamenta o artigo 2º, inciso VIII, da Lei 6938/81;
- Lei nº 7802/89 – dispõe sobre o destino final dos resíduos e embalagens, a inspeção e fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins;
- Portaria 53/97 do Ministério do Interior proíbe a disposição final de resíduos em lixões;
- A 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;

### 2.2.2 Resoluções CONAMA

Dentre as resoluções do CONAMA, destacam-se:

- Resolução 001/86 – estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e diretrizes para uso e implementação de Avaliação de Impacto Ambiental;

- Resolução 006/88 – sobre licenciamento de obras de resíduos sólidos perigosos;
- Resolução 006/91 – dispõe sobre a incineração ou qualquer outra forma de queima de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos;
- Resolução 05/93 – estabelece procedimentos para o gerenciamento de resíduos de saúde, portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários;
- 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 258/99 – determina que empresas fabricantes e importadoras de pneus ficam obrigadas a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis;
- Resolução 263/99 – modifica o Art. 6º da Resolução nº 257/99;
- Resolução 275/01 – estabelece código de cores para diferentes tipos de resíduos na Coleta Seletiva;
- Resolução 283/01 – dispõe sobre tratamento e destinação final dos resíduos de serviços de saúde;
- Resolução 307/02 – estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção civil;
- Resolução 308/02 – licenciamento ambiental de sistema de disposição de resíduos urbanos gerados em Municípios de pequeno porte;
- Resolução 313/02 – dispõe sobre o Inventário de Resíduos Sólidos Industriais;
- Resolução 314/02 – dispõe sobre o Registro de produtos destinados à remediação;

- Resolução 316/02 – define procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos;

### 2.2.3 Legislação Estadual

Para o Estado do Paraná são aplicadas as seguintes Leis Estaduais, as quais se referem aos resíduos sólidos, transporte e sua disposição.

- Resolução SEMA n° 031, de 24 de agosto de 1998 – Dispõe sobre o licenciamento ambiental no estado do Paraná;
- Resolução 006/01 – CEMA, de 02 de maio de 2001 – Delibera sobre a importação de resíduos sólidos industriais inclusive para co-processamento;
- Lei n° 12.493/99 – Lei Estadual sobre Resíduos regulamentada pelo Decreto n° 6674/02 – estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e adota outras providências (PARANÁ, 1990).

Segundo os Princípios da Lei Estadual de Resíduos (1999) cita-se:

- A geração de resíduos sólidos, no território do Estado do Paraná, deverá ser minimizada através da adoção de processos de baixa geração de resíduos e da reutilização e/ou reciclagem de resíduos sólidos, dando-se prioridade à reutilização e/ou reciclagem a despeito de outras formas de tratamento e disposição final, exceto nos casos em que não exista tecnologia viável;
- Os resíduos sólidos gerados no território do Estado do Paraná somente terão autorização de transporte para outros Estados da Federação, após autorização ou declaração de aceite emitida pela autoridade ambiental competente dos Estados receptores

dos resíduos – os resíduos sólidos gerados nos outros Estados da Federação somente serão aceitos no Estado do Paraná, desde que previamente aprovados pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA, e Instituto Ambiental do Paraná – IAP;

- Os resíduos sólidos gerados em outros países somente serão aceitos no Estado do Paraná, desde que atendidos os critérios estabelecidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA e demais Normas Federais bem como o disposto no inciso III deste artigo;

- As atividades geradoras de resíduos sólidos, de qualquer natureza, são responsáveis pelo seu acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final, pelo passivo ambiental oriundo da desativação de sua fonte geradora, bem como pela recuperação de áreas degradadas.

#### 2.2.4 Normas Técnicas Elaboradas pela ABNT

- NBR 7500 – Transporte de cargas perigosas – simbologia, (2005);
- NBR 7501 – Transporte de cargas perigosas – terminologia, (2005);
- NBR 7503 – Fichas de emergência para o transporte de cargas perigosas, (2005);
- NBR 8.418/NR 842 – Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos – Procedimentos, (1983);
- NBR 8.419/NR 843 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Procedimento, (1992);
- NBR 8.843 – Tratamento do lixo em aeroportos – Procedimento, (1996);
- NBR 8.849 – Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos – Procedimento, (1985);
- NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação, (2004);
- NBR 10.005 – Lixiviação de Resíduos, (2004);



- NBR 10.006 – Solubilização de Resíduos, (2004);
- NBR 10.007 – Amostragem de Resíduos, (2004);
- NBR 10.157 – Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação – Procedimento, (1987);
- NBR 10.703 – Degradação do Solo – Terminologia, (1989);
- NBR 11.174/NR 1.264 – Armazenamento de resíduos classes II – não inertes e III – inertes, (1990);
- NBR 11.175/NR 1.265 – Incineração de resíduos sólidos perigosos – Padrões de desempenho – Procedimento, (1990);
- NBR 12235/NB 1.183 – Armazenamento de resíduos sólidos perigosos, (1992);
- NBR 12.807 – Resíduos de serviço de saúde – Terminologia, (1993);
- NBR 12.808 – Resíduos de serviço de saúde – Classificação, (1993);
- NBR 12.809 – Manuseio de resíduos de serviço de saúde – Procedimento; (1993);
- NBR 13.221 – Transporte terrestre de resíduos, (2005);
- NBR 13.894 – Tratamento no solo (*landfarming*) – Procedimento, (1997);
- NBR 13.895 – Construção de poços de monitoramento e amostragem – Procedimento, (1997);
- NBR 13.896 – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação – Procedimento, (1997);
- NBR 13.968 – Embalagem rígida vazia de agrotóxico – Procedimento de lavagem, (1997);
- NBR 14.283 – Resíduos em solos – Determinação da biodegradação pelo método respirométrico – Procedimento, (1999);
- NBR 14.719 – Embalagem rígida vazia de agrotóxico – Destinação final da embalagem lavada - Procedimento, (2001).

### 2.2.5 Legislação municipal

- Decreto n° 453/92 – dispõe sobre o licenciamento ambiental no Município de Curitiba;
- Decreto n° 838/97 – institui o relatório ambiental prévio.

## 2.3 AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE

### 2.3.1 Definição de Toxicidade

Segundo GOLDSTEIN (1988), toxicidade é definida como sendo os resultados nocivos à saúde provenientes do sistema composto por substâncias químicas e substâncias próprias do organismo, que se evidenciam sobre organismos vivos. Logo, na toxicidade o objetivo de análise é o organismo, onde é determinado o efeito causado por uma substância química ou uma mistura, levando em consideração o tempo de exposição e a concentração (ZAGATTO; BERTOLETTI; GOLDSTEIN, 1988).

A toxicidade dos efluentes pode não ser detectada por todos os organismos (CETESB, 1990a). Segundo BEHRENS (1995), é aconselhável avaliar o efeito da toxicidade de determinado efluente no mínimo à duas espécies representativas da biota aquática para que se possa estimar o impacto do efluente ao corpo receptor.

Os tratamentos de efluentes convencionais são eficientes para a redução da toxicidade de substâncias isoladas, porém não atuam no efeito conjunto desses contaminantes, dificultando o controle efetivo dessas substâncias (BERTOLETTI, 1989).

ECKENFELDER (1989), descreve que o carvão ativado, utilizado para tratamentos de poluentes, satura primeiramente com a DQO do que atuando para a redução da toxicidade do meio.

### 2.3.2 Fatores de Concentração de Contaminantes Tóxicos

De acordo com BARROSO e CORDEIRO (2001), metais como cobre, níquel, chumbo, cádmio, cromo, manganês e alumínio causam efeitos tóxicos em lodos de estação de tratamento de águas potável - ETA. Segundo COSTA et al. (2003), foi observado que o sedimento de ETAs, devido a presença de metais, é extremamente tóxico ao microcrustáceo *Daphnia magna*.

A Tabela 1 relaciona a concentração de algumas substâncias que causam efeitos tóxicos agudos a organismos aquáticos, comparados com padrões de emissão da Legislação Estadual de São Paulo.

TABELA 1 - CONCENTRAÇÃO DE ALGUMAS SUBSTÂNCIAS QUE CAUSAM EFEITOS TÓXICOS AGUDOS A ORGANISMOS AQUÁTICOS E COMPARAÇÃO COM PADRÕES DE EMISSÃO

SUBSTÂNCIAS	Concentração que causa efeito agudo (mg/L)	Padrão de emissão (mg/L) Decreto 8468/76 Artigo 18
Alumínio	3,9	-
Bário	410,0	5,0
Boro	133,0	5,0
Cádmio	0,065	0,2
Chumbo	0,45	0,5
Cianeto	0,10	0,2
Cloreto	1.470,0	-
Cobalto	1,10	-
Cobre	0,009	1,0
CromoVI	0,037	0,1
Estanho	55,0	4,0
Fenol	62,0	0,5
Ferro	9,6	15,0
Fluoreto	128,0	10,0
Manganês	9,8	1,0
Mercurio	0,01	2,0
Níquel	2,6	2,0
Nitrogênio Amoniacal	85,1	-
Prata	0,0009	0,02
Selênio	0,43	0,02
Sulfeto	0,02	-
Surfactantes	3,0	-
Zinco	0,5	5,0
Compostos Orgânicos Clorados	0,01	-
Compostos Orgânicos não Especificados	1,0	-

FONTE: CETESB (1990b)

Segundo GOLDSTEIN (1988) devido à grande quantidade de substâncias que são lançadas no ambiente aquático através de atividades indústrias, deveriam ser estabelecidos padrões de lançamento a um número maior de substâncias para se realizar um controle efetivo de poluição das águas. Na Tabela 2, estão descritas algumas substâncias encontradas em efluentes de papel e celulose do processo Kraft e sua concentração letal para peixes, sendo que para muitas dessas substâncias não são determinados os padrões de lançamento.

TABELA 2 - TOXICIDADE PARA PEIXES DE ALGUMAS SUBSTÂNCIAS IDENTIFICADAS EM EFLUENTES DE INDÚSTRIAS DE PAPEL E CELULOSE, PROCESSO KRAFT

SUBSTÂNCIAS	CL50 – 96 h (%)
Ácidos resínicos:	
Abiético	0,7
Dehidroabiético	1,1
Isopimárico	0,4
Palústrico	0,5
Ácidos resínicos clorados:	
Ácido monoclorodehidroabiético	0,6
Ácido diclorodehidroabiético	0,6
Ácidos graxos insaturados:	
Oléico	< 9
Linoleico	< 9
Linolênico	< 9
Palmitoleico	< 9
Derivados de ácidos graxos insaturados:	
Ácido epoxiesteárico	1,5
Ácido dicloroesteárico	1,5
Álcoois diterpenos:	
Pimarol	0,3
Isopimarol	0,3
Fenóis clorados:	
Tricloroguaiacol	0,72
Tetracloroguaiacol	0,32
Voláteis:	
Ácido sulfídrico	0,3-0,7
Metil-mercaptana	0,5-0,9
Sulfeto de sódio	1,0-1,8
Hidróxido de sódio	10-27
Carbonato de sódio	33-58
Catecóis clorados:	
Tetraclorocatecol	0,8
Diclorocatecol	2,9

FONTE: MCKEAN (1980)

### 2.3.3 Metodologia de Controle de Agentes Tóxicos

O controle e a avaliação de agentes tóxicos existentes em efluentes líquidos têm sido feito abordando substâncias específicas, ou através do efluente como um todo (MONITOR, 1986).

### 2.3.3.1 Controle através de substâncias específicas

Esta metodologia se aplica a partir das determinações de padrões de lançamento de substâncias estabelecidas pela legislação, sendo esta composta pelo Decreto 8468/76, art. 18 e pela Resolução CONAMA 357/05.

Para que o controle de poluição das águas seja eficaz, levando-se em consideração as inúmeras substâncias que são emitidas aos corpos d'água pelas indústrias, torna-se insuficiente a listagem de poluentes disposta pela legislação (CETESB, 1990b).

Estabelecer padrões de lançamento para cada substância presente nos efluentes, identificá-los e detectá-los, é analítica e economicamente inviável, pois os poluentes tóxicos presentes nos efluentes possuem características complexas, além disso, as atividades biológicas, proporcionadas pela biota aquática, podem relacionar-se com outros componentes, tornando-se impossível a identificação de uma única substância como responsável por um determinado efeito (MONITOR, 1986).

### 2.3.3.2 Controle do efluente como um todo

Segundo BEHRENS (1995), este método consiste em controlar a toxicidade como uma única variável. Trata-se da realização de testes de toxicidade, onde organismos aquáticos, representativos dos corpos d'água onde são lançados os efluentes, são submetidos a várias concentrações do efluente. Os efeitos causados sobre os organismos-teste são analisados, efeitos estes que já traduzem o resultado final das ações aditivas, antagônicas e sinérgicas das substâncias biodisponíveis que os compõem (ZAGATTO; BERTOLETTI; GOLDSTEIN, 1988).

A Tabela 3 mostra as vantagens e desvantagens do controle de agentes tóxicos através de substância específica e do efluente como um todo.

TABELA 3 - COMPARAÇÃO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS METODOLOGIAS DE CONTROLE DE AGENTES TÓXICOS

MÉTODO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Controle Através de substância Específica	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Engenheiros familiarizados com o projeto para remoção de substâncias específicas;</li> <li>-As informações são precisas;</li> <li>-Contém informações sobre toxicologia;</li> <li>-No caso de efluentes simples as análises químicas são mais baratas do que os biotestes;</li> <li>-Possibilidade das substâncias com características específicas (carcinogênicas, bioacumuláveis) poderem ser controladas diretamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Impossibilidade de se identificar todas as substâncias tóxicas dos despejos complexos, sendo inviável o controle pelos padrões de emissão;</li> <li>-Não se conhece a biodisponibilidade;</li> <li>-Muito onerosa a análise química;</li> <li>-As interações entre os agentes tóxicos não são conhecidas;</li> <li>-Não mede os efeitos ecológicos.</li> </ul>
Controle Através do Efluente como um todo	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Possibilidade de ser avaliada a toxicidade conjunta de todos os constituintes de um efluente de natureza complexa;</li> <li>-Não se requer conhecimento detalhado da composição química do efluente;</li> <li>-Possibilidade de se avaliar a variação do efeito tóxico através de um único parâmetro, a sua toxicidade;</li> <li>-Possibilidade de também se avaliar a biodisponibilidade e as interações entre os constituintes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-A dificuldade para projetistas dimensionar sistemas de tratamento;</li> <li>-Os tóxicos específicos são desconhecidos, como a indicação de carcinogenicidade e bioacumulação;</li> <li>-A toxicidade pode variar nas condições ambientais;</li> <li>-Não se tem informações sobre saúde humana;</li> <li>-São poucas as informações sobre redução de toxicidade nos sistemas de tratamento;</li> <li>-Os resultados podem ser inadequados em relação à populações naturais e aspectos do ecossistema.</li> </ul>

FONTE: PAWLOWSKY (1994)

#### 2.3.4 Organismos mais Utilizados em Testes de Toxicidade

Segundo a ABNT (2004e), para que os testes de toxicidade forneçam resultados confiáveis, que traduzam realmente o estado do efluente, é necessário que o cultivo e a manutenção de organismos-teste sejam feitos de maneira adequada..

De acordo com o IAP (1997), a localização dentro da estrutura e funcionamento das biocenoses, a distribuição da espécie, o conhecimento da biologia, hábitos nutricionais e fisiologia, a estabilidade genética e uniformidade das populações, a

manutenção e cultivo em laboratório, a disponibilidade ao longo do ano, a sensibilidade constante e o tipo de teste, são alguns critérios para a seleção de organismos.

GOLDSTEIN e ZAGATTO (1991), acrescentam que dentre os organismos recomendados, as *Daphnia magna* tem sido amplamente utilizadas nos testes de toxicidade, por serem de fácil manutenção em laboratórios e sensíveis a diferentes grupos de agentes químicos. A CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental utiliza, como microcrustáceo, a *Daphnia similis* em testes de toxicidade (GOLDSTEIN, 1988). Já, o microcrustáceo utilizado pelo Instituto Ambiental do Paraná – IAP é a *Daphnia magna* (IAP, 1997).

#### 2.3.4.1 Microcrustáceos – *Daphnia magna*

Utilizada como organismos - testes e também conhecidas como pulga d' água, as *Daphnia* compõem o zooplâncton como consumidores primários e secundários, os microcrustáceos fazem a ligação entre níveis inferiores e superiores da cadeia alimentar. São facilmente encontradas em lagos e represas de águas continentais (FRELLO, 1998).

Segundo KNIE e LOPES (2004), as *Daphnia magna* possuem tamanho médio de 5 a 6 mm e alimentam-se através da filtração de material orgânico particulado, principalmente de algas unicelulares.

Tendo-se a *Daphnia sp*, *Atenia sp*, *Ceriodaphnia sp*, *Mysidopsis bahiau* como exemplos de outros microcrustáceos utilizados (ISO, 1993b).

#### 2.3.4.2 Bactérias – *Vibrio fischeri*

Segundo KNIE e LOPES (2004), os ensaios com as bactérias *Vibrio fischeri* foram utilizados desde os anos 70 para determinar a toxicidade de solos e sedimentos, além de meios aquáticos.



A bactéria marinha *Vibrio fischeri*, anaeróbica facultativa é utilizada em testes de toxicidade (ISO, 1996).

De acordo com KNIE e LOPES (2004), quando estas bactérias se encontram em condições ambientais favoráveis elas emitem luz naturalmente, desde que a concentração de oxigênio do meio esteja acima de 0,5 mg/L.

#### 2.3.4.3 Peixes

Fazem parte da comunidade nectônica. Como organismos consumidores, constituem o nível superior da cadeia alimentar. Destacam-se como exemplos o *Poecilia reticulada*, *Hemigrannus marginatus*, *Brachydanio rerio*, e *Cheirodon notomelas* (ISO, 1993a).

#### 2.3.4.4 Algas

Compondo o fitoplâncton como produtores primários, as algas transformam a matéria inorgânica em matéria orgânica, e são capazes de responder a efeitos tóxicos de várias substâncias. Pode-se destacar a *Chorella vulgaris*, *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus*, *Skeletonema costatum*, como exemplos destas algas (ISO, 1989).

#### 2.3.5 Testes de Toxicidade

Os testes de toxicidade possuem como objetivo avaliar os danos causados a organismos aquáticos, onde organismos representativos da biota aquática são submetidos a várias concentrações de uma ou mais substâncias poluidoras, durante um determinado período de tempo (PAWLOWSKY, 1994).

Quase sempre são realizados testes com três organismos, sendo estes os produtores primários, os consumidores primários e os consumidores secundários, pois, dependendo da concentração e da composição do poluente químico, pode ocorrer que estes, além de serem tóxicos para todos os organismos, apresentem toxicidade para apenas uma ou outra espécie (BEHRENS, 1995).

#### 2.3.5.1 Aplicação dos testes de toxicidade

Em geral, os testes de toxicidade são utilizados para se detectar e controlar poluentes tóxicos que estejam presentes nos efluentes industriais (CETESB, 1990a). Os testes adotados devem ser bem definidos e padronizados, para que se possa realizar o mesmo nível de controle de toxicidade, em diferentes corpos receptores e em efluentes com os mais diversos poluentes (BERTOLETTI, 1989).

Estes testes são aplicados também para avaliar a sensibilidade relativa de organismos aquáticos para um determinado agente tóxico, para determinar a qualidade de água e as concentrações seguras de agentes químicos para preservação da vida aquática, além de avaliar a fertilidade potencial das águas e a eficiência de diferentes métodos de tratamento para efluentes industriais em termos toxicológicos (METCALF & EDDY, 2003).

#### 2.3.5.2 Métodos para avaliar a toxicidade

Inicialmente, o laboratório no qual os ensaios de toxicidade são realizados, opta pela utilização de métodos rápidos e de baixo custo, e dependendo da necessidade de dados mais precisos, são aplicados testes complementares (CETESB, 1990b).

As normas da CETESB, ABNT, EPA, ISO e as normas DIN dispõe alguns métodos padronizados disponíveis para avaliar a toxicidade.

No controle de emissões, o mais adequado é conhecer a toxicidade do efluente final, isto é, aquele que é despejado no corpo receptor, sendo ele já submetido a tratamento ou não (MONITOR, 1986). Para se conhecer a eficiência da remoção de toxicidade através de um sistema de tratamento de efluentes, é necessário ter resultados da toxicidade antes e após o tratamento (METCALF & EDDY, 2003).

Usualmente, o teste inicial a ser aplicado é com *Daphnia similis* ou *Daphnia magna*, sendo este um organismo que apresenta grande sensibilidade a uma elevada diversidade de poluentes, este teste pode ser efetuado com rapidez e avalia a toxicidade aguda (CETESB, 1990a).

KIMBALL e LEVIN (1988) acreditam que com o monitoramento através de testes biológicos, pode-se ter um controle direto dos corpos hídricos, onde, inicialmente é realizada a avaliação da toxicidade aguda, sub-aguda ou crônica com organismos e células, e em seguida é levado em consideração as populações ou o ecossistema global para comprovar as transformações dos poluentes tóxicos na água, ao longo do tempo.

#### 2.3.5.3 Testes de toxicidade aguda

O efeito agudo é definido como sendo uma resposta severa e com rapidez dos organismos aquáticos a um estímulo que pode se manifestar num período de até 96 horas, causando quase sempre a letalidade, sendo que pode ocorrer à alguns microcrustáceos a imobilidade (CETESB, 1990b).

Os resultados de um efeito agudo, para microcrustáceos, causado por agentes tóxicos são dados através da concentração efetiva inicial mediana (CE(I)50), determinada por método estatístico, onde a concentração do poluente causa imobilidade a 50% dos organismos em um período de 24 a 96 horas de exposição. A unidade da CE(I)50 é em porcentagem quando se tratar de efluentes líquidos e águas, e em miligramas por litro para substâncias químicas. Também, o resultado do efeito tóxico pode ser expresso em fator de toxicidade (FT), o qual corresponde a menor diluição da amostra na qual não se

observa imobilidade maior que 10% dos organismos – teste, sendo representado por um número inteiro. Por fim, a forma qualitativa também pode ser usada, sendo que, para amostras sem diluição o resultado deve ser expresso como tóxico ou não tóxico (ABNT, 2004e).

Normalmente, estes efeitos são observados quando efluentes são despejados ao corpo hídrico sem passar por tratamento, causando letalidade a organismos pertencentes a diferentes níveis tróficos (BASSOI; NIETO; TREMAROLI, 1990).

De acordo com a ABNT (2004e), os testes em laboratório são realizados utilizando amostras, que através de diluições, apresentam várias concentrações de poluentes onde os organismos são submetidos.

#### 2.3.5.4 Testes de toxicidade crônica

O efeito crônico é definido como sendo a resposta a um estímulo que continua por um longo tempo, onde esses períodos podem durar parte ou todo o ciclo de vida dos organismos aquáticos (ZAGATTO et al., 1992).

Geralmente, os efeitos crônicos são subletais e são observados no ambiente quando as concentrações do agente tóxico permitem a sobrevivência dos organismos, mas no entanto, causam distúrbios em suas funções biológicas, tais como na reprodução, desenvolvimento de ovos, crescimento e maturação (GOLDSTEIN, 1988). Esses efeitos são detectados e mensurados nos testes de toxicidade crônica, onde o seu resultado é dado pela concentração máxima do agente tóxico que não causa o efeito observado no teste (CENO), isto é, a maior concentração do poluente tóxico que não cause efeito deletério estatisticamente significativo, na sobrevivência e reprodução dos organismos-teste, durante um tempo de sete dias de exposição (CETESB, 1990b).

Os efeitos crônicos podem surgir quando os organismos são submetidos, por um longo período, a baixas concentrações de poluentes tóxicos que se encontram em efluentes líquidos, sendo estes tratados ou não (ZAGATTO et al., 1992).

#### 2.3.5.5 Escolha da água de diluição

Para a realização dos testes de toxicidade com microcrustáceos, deve ser utilizada água de diluição natural de boa qualidade, que apresente características conforme a descrição da ABNT (2004e), onde possa ocorrer a sobrevivência e a reprodução dos organismos aquáticos. Já, para as bactérias a água de diluição é constituída por uma solução de NaCl 2% a qual proporciona condições de vida às bactérias (KNIE e LOPES, 2004).

#### 2.3.5.6 Coleta de amostras

BASSOI, NIETO e TREMAROLI (1990) acreditam que a amostragem dos efluentes é de suma importância, pois a avaliação das características, e dos efeitos potenciais do efluente baseiam-se em informações obtidas pela amostra.

Como as vazões nas indústrias podem variar em decorrência de mudanças de ciclo de atividades, ocasionando alterações nas concentrações de substâncias e nos volumes de águas, a decisão quanto ao tipo de amostragem, se composta ou simples, dependerá do conhecimento prévio do processo industrial, do tratamento adotado e também dos objetivos que terão os resultados dos testes de toxicidade (CETESB, 1990b).

De acordo com BASSOI, NIETO e TREMAROLI (1990) quando se pretende avaliar a toxicidade do efluente, geralmente é utilizada a amostra composta de tempos variáveis, pois esta aproxima os resultados dos testes a valores médios de toxicidade. As amostras simples traduzirão desde valores mínimos até máximos de toxicidade dos efluentes, tratados ou não, dependendo da frequência e periodicidade da coleta. Essa amostragem é adotada quando se requer um custo mais baixo, pois não necessita de muitos equipamentos, sendo que a operação é facilitada e o tempo gasto é curto. Os efluentes que mais utilizam este tipo de amostragem são os lançados em regime

intermitente, os provenientes de tratamento com tempo de detenção maior que quatorze dias, e os efluentes onde a variação da toxicidade é conhecida (CETESB, 1990b).

Quando o despejo não flui continuamente, como é o caso de descargas de tanques, quando as características dos despejos são constantes e quando é necessário determinar se uma amostra composta mascara condições extremas de um descarte, a ABNT (1987f), recomenda que se utilize a amostragem simples, sendo esta coletada manual ou automaticamente.

#### 2.3.5.7 Preservação das amostras

De acordo com a ABNT (1987g), a armazenagem das amostras deve ser de maneira adequada não ocasionando alterações nas características da mesma, sendo que para preservá-la não deverão ser usados produtos químicos.

Independente do tipo da amostra, se esta é composta ou simples, devem ser acondicionadas em frascos limpos de polietileno, polipropileno ou de vidro de borossilicato (CETESB, 1990b). Segundo BASSOI, NIETO e TREMAROLI (1990) o volume deverá ser de acordo com a necessidade que o teste exige, por exemplo, para microcrustáceos é de 1 litro e para peixes é de 20 litros, sendo que o frasco deverá ser totalmente preenchido com a amostra para evitar a entrada de ar.

A análise deve ser realizada num período que não exceda 12 horas contadas a partir do início da coleta, caso não seja possível, a amostra deverá ser mantida em temperatura inferior a 10°C, sem congelamento, no entanto, se o teste não for realizado em 48 horas, a amostra deve ser congelada a -18 °C por até 60 dias (ABNT, 2004e).

### 2.3.6 Aplicação dos Resultados dos Testes de Toxicidade

Como estabelece a ABNT (2004e) quando o resultado for expresso em fator de toxicidade (FT), este representará, para o microcrustáceo *Daphnia magna*, o menor valor de diluição da amostra na qual não se observa imobilidade maior que 10% nos organismos expostos, e deve ser determinado através da observação direta da mobilidade dos organismos.

Segundo KNIE e LOPES (2004), para as bactérias luminescentes, o FT é o primeiro valor do fator de diluição onde a porcentagem de inibição da luminescência é inferior a 20%.

O fator de toxicidade (FT) é representado por um número inteiro, o qual corresponde a menor diluição da amostra que não cause efeito tóxico aos organismos. Uma forma de diluição seria utilizar proporções de 1 : 2 (50% de amostra e 50% de água de diluição), 1 : 4 (25% de amostra e 75% de água de diluição), 1 : 8 (12,5% de amostra e 87,5% de água de diluição), e assim sucessivamente até a última diluição desejada.

#### 2.3.6.1 Unidades tóxicas

Segundo BASSOI, NIETO e TREMAROLI (1990) quanto menor os valores de CE50, CL50, que exprimem a toxicidade aguda, e CENO, que exprime a toxicidade crônica, maior é a toxicidade do meio, sendo estes valores numéricos de toxicidade aguda e crônica expressos por uma relação inversa (CETESB, 1990b) .

De acordo com ZAGATTO et al. (1992), para o cálculo da carga tóxica, é conveniente transformar esses valores em unidade tóxica aguda (Uta) e unidade tóxica crônica (Utc) da seguinte maneira:

$$Uta = 100 / CE50 \text{ ou } CL50 \quad (01)$$

$$Utc = 100 / CENO \quad (02)$$

Assim, a toxicidade aumentará quando o valor numérico de UT for maior.

#### 2.3.6.2 Carga tóxica

É definida como sendo a contribuição tóxica de cada efluente para um corpo receptor. A carga tóxica é obtida através do resultado da multiplicação da vazão do efluente pela sua unidade de toxicidade, sendo que um valor máximo de vazão pode ser usado, à nível de cálculo, para simular situações críticas, no entanto é recomendado a utilização de uma vazão média. O resultado da carga tóxica é expresso em UT litros por segundo (PAWLOWSKY, 1994).

A carga tóxica pode ser expressa pela equação 03:

$$\text{Carga tóxica} = \text{UT} \times \text{vazão do efluente (UT L/s)} \quad (03)$$

#### 2.3.7 Avaliação de Risco

Segundo PAWLOWSKY (1994), a determinação das concentrações seguras de poluentes químicos que podem ser despejadas no meio ambiente aquático, sem causar danos aos organismos, é um procedimento que faz parte da avaliação de risco.

O risco imposto ao meio ambiente por um agente químico, é avaliado cientificamente através da probabilidade da ocorrência de danos ao meio, devido as concentrações do poluente sendo estas conhecidas ou estimadas (GOLDSTEIN, 1988).



### 2.3.7.1 Estimativas do potencial de impacto ambiental

Essa avaliação informará se o corpo receptor do efluente gerado sofrerá impacto, a gravidade do impacto, e se esse nível de gravidade é aceito ou não (PAWLOWSKY, 1994).

De acordo com a Resolução da Secretaria do Meio Ambiente - SMA-3 (2000), “considerando eventuais interações entre as substâncias no efluente, este não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com as relações que fixam a toxicidade permissível”.

Através da equação 04 pode ser calculada a diluição ou concentração do efluente no corpo receptor, em percentagem:

$$\text{D.E.R. ou CER} = \left( \frac{Q_E}{Q_E + Q_{7,10}} \right) \times 100 \quad (04)$$

Onde:

D.E.R. = diluição do efluente no corpo receptor, em %

CER = concentração do efluente no corpo receptor, em %

$Q_E$  = vazão média do efluente em litros por segundo

$Q_{7,10}$  = Vazão mínima anual do rio, média de sete dias consecutivos, com probabilidade de dez anos de retorno, em litros por segundo.

De acordo com CETESB (1990b) para prevenir efeitos agudos, sendo que foi determinado experimentalmente que ao nível de 1/3 da CL50 ou CE50 praticamente não existam efeitos tóxicos, a estimativa de impacto é dada por:

$$\text{CER} \leq (\text{CE50 ou CL50}) / 3 \quad (05)$$

Segundo BASSOI, NIETO e TREMAROLI (1990) a estimativa de impacto, para prevenir efeitos crônicos é obtida com resultados estimados através de testes agudos e através de testes crônicos, sendo que a relação entre a CL50 ou CE50 e CENO é de 1/10, onde possibilita a utilização da primeira hipótese disponível.

As expressões das duas hipóteses estão representadas como segue:

$$CER \leq (CE50 \text{ ou } CL50) / 10 \quad (\text{primeira hipótese}) \quad (06)$$

$$CER \leq CENO \quad (\text{segunda hipótese}) \quad (07)$$

A Resolução SMA-3 (2000), acrescenta :

$$D.E.R \leq (CE50 \text{ ou } CL50) / 100 \quad (08)$$

$$D.E.R. \leq CENO / 10 \quad (09)$$

Algumas considerações foram feitas, de acordo com a Resolução SMA-3 (2000), para a estimativa do potencial de impacto ambiental :

- Ocorrer mistura completa entre o efluente e o corpo receptor;
- Utilização de três espécies de organismos aquáticos no mínimo;
- Não variar a toxicidade do efluente no decorrer do tempo;
- Em ambientes marinhos e estuarianos, a D.E.R. deverá ser estimada com base no estudo de dispersão do efluente no corpo receptor.

Como a sensibilidade entre os organismos, e a variação de toxicidade de um efluente pode sofrer variações na escala de dez vezes, um fator de correção pode ser adicionado, para que sejam desconsideradas as exigências citadas acima. Logo, as expressões seriam as seguintes:

$$CER \leq (CE50 \text{ ou } CL50) / 300 \quad (\text{para evitar efeitos tóxicos agudos}) \quad (10)$$

$$CER \leq (CE50 \text{ ou } CL50) / 1000 \quad (\text{para evitar efeitos tóxicos crônicos}) \quad (11)$$

$$\text{CER} \leq \text{CENO} / 100 \text{ (para evitar efeitos tóxicos crônicos)} \quad (12)$$

Certamente, quando forem utilizados mais de três espécies de organismos-teste, quando for avaliada a variação de toxicidade, e saber como ocorre a dispersão do efluente no corpo receptor, os níveis de incerteza da estimativa são reduzidos (CETESB, 1990b).

### 2.3.8 Redução de Toxicidade

PAWLOWSKY (1994) relata que por meio de tratamentos convencionais chega-se a uma significativa redução da toxicidade nos efluentes. Mesmo assim pode surgir a toxicidade remanescente, a qual pode estar em desacordo com os parâmetros de qualidade da água, ocasionando danos a vida aquática. Então, a toxicidade do efluente deve sofrer uma redução, a níveis admissíveis pelos órgãos de controle através de tecnologias disponíveis (CETESB, 1990b).

Segundo BASSOI, NIETO e TREMAROLI (1990) algumas medidas podem ser adotadas para que ocorra uma diminuição na toxicidade em uma indústria, entre elas estão as alterações de matérias-primas utilizadas, de produtos auxiliares e na mudança de processo.

Um estudo de redução de toxicidade mais recente foi realizado na Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, como trabalho de conclusão de curso em 1999. Neste trabalho foi avaliada a capacidade de redução da toxicidade de um reator anaeróbio de fluxo ascendente, com manta de lodo, aplicado no tratamento de dejetos de suínos. Os resultados obtidos mostraram que os dejetos de suínos são altamente tóxicos, apresentando uma CL50 média de 10% para peixes e 30% para *Daphnia magna*, e mesmo ocorrendo uma eficiente remoção de DQO, o reator mostrou-se pouco eficiente quando analisado através dos ensaios de toxicidade (ALVES, 1999).

Na Tabela 4, estão relatados alguns estudos realizados para a redução de toxicidade, onde são mostrados os resultados obtidos de acordo com o tipo de tratamento utilizado e tipo de despejo .

TABELA 4 - ESTUDOS DE REDUÇÃO DE TOXICIDADE

RELATOR	TIPO DE TRATAMENTO	TIPO DE DESPEJO	RESULTADOS OBTIDOS
Lankford et al	Tratamento biológico através da remoção da DBO <sub>5</sub>	Onze despejos contendo tóxicos orgânicos	Em seis casos a toxicidade foi reduzida, em três casos não houve mudanças e em dois casos a biodegradação aumentou a toxicidade à organismos aquáticos
Neiheisel et al	Tratamento biológico	Despejos de estações de tratamento de esgoto. Um tipo contendo despejos domésticos e comercial e outro tipo contendo doméstico, comercial e industrial	Ocorreu maior redução de toxicidade na estação que recebia grande quantidade de despejos industriais, e nas estações com pouco despejo industrial não ocorreu redução de toxicidade
Bertoletti	Neutralização aplicando bioteste agudo com <i>Daphnia similis</i>	Despejos industriais	Resultados expressos em CE50 após o ajuste do pH: -Em 38% dos casos a toxicidade não sofreu alteração; -Em 52% dos casos houve redução de 32% a 99% na toxicidade
Sprague	A) Lodos ativados B) Bioteste agudo com <i>Daphnia magna</i>	Despejos de industrias químicas orgânicas	A) Remoção elevada, de DBO com 91% e DQO com 78% B) Redução de 93% na toxicidade. No entanto, quando os efluentes foram analisados separadamente, ainda apresentavam efeito tóxico aos organismos testados

FONTE: PAWLOWSKY (1994)

## 2.3.9 Critérios para a Emissão de Efluentes Tóxicos

### 2.3.9.1 Mistura imediata

Quando o efluente, logo após ser despejado no rio, se dispersa totalmente nas águas atingindo rapidamente as margens do corpo receptor, denomina-se de mistura completa. Nesta situação, é estabelecido um limite máximo admissível de toxicidade no efluente, para evitar efeitos agudos ou crônicos a organismos aquáticos que por ali passarem (CETESB, 1990b).

A concentração do efluente no corpo receptor (CER) deverá ser menor ou igual a concentração de efeito agudo (CE50) dividido por dez, ou menor ou igual a concentração que não deve causar efeitos crônicos (CENO). Considerações estas estabelecidas para águas de classe 2 e 3 na Resolução CONAMA 357/05.

### 2.3.9.2 Mistura incompleta

A mistura incompleta se dá quando lançado o efluente no corpo receptor, após a diluição inicial, ocorre a dispersão lenta e não uniforme ao longo da extensão do rio, podendo esse efluente se concentrar em regiões de remanso ou acompanhar apenas uma das margens do rio (CETESB, 1990b).

Quando ocorre este tipo de mistura, é necessário estabelecer uma zona de mistura, onde esta é definida como sendo a área do corpo receptor ou volume d'água, situado imediatamente à jusante do despejo, onde é permitido, desde que não cause efeitos agudos, que os padrões de lançamento para manter a qualidade da água excedam seu valor (CETESB, 1990a).

A partir dos limites da zona de mistura, todos os parâmetros estabelecidos pelos órgãos de controle devem ser obedecidos, respeitando também o valor de concentração do efluente no rio (CETESB, 1990b).

### 2.3.9.3 Ausência da toxicidade

De acordo com BASSOI, NIETO e TREMAROLI (1990) esse critério é adotado diretamente para o efluente, sendo que o órgão de controle responsável pela região, dependendo das características do efluente ou do corpo receptor, estabeleça que não se admite toxicidade crônica no efluente, antes de este ser lançado no ambiente.

### 2.3.10 Bioacumulação e Biomagnificação

Os processos de bioacumulação e biomagnificação potencializam os efeitos tóxicos de algumas substâncias, sendo que estas vão se acumulando nos organismos vivos (MORIARTY, 1983).

A bioacumulação define-se como sendo um processo onde organismos vivos acumulam, ao longo de seu tempo de vida, quantidades progressivamente maiores de substâncias tóxicas. As substâncias são absorvidas diretamente do meio ambiente, pois estas possuem maior facilidade em serem absorvidas pelos organismos vivos do que serem liberadas pelos mesmos para o meio (RAND e PETROCELLI, 1985).

De acordo com MORIARTY (1983) quanto maior o tempo de exposição do ser vivo ao poluente, maior será a concentração desta substância tóxica acumulada no organismo.

Entende-se por biomagnificação a transferência de algumas substâncias diretamente ao longo da cadeia alimentar de um organismo para outro, fazendo com que grandes quantidades de agentes tóxicos sejam depositados em seres que estão no topo da cadeia alimentar. Este processo pode ocasionar danos a saúde dos seres humanos (RAND e PETROCELLI, 1985).

Por exemplo, esses dois processos podem ser observados quando o mercúrio é encontrado no meio ambiente aquático, onde este é levado ao sedimento de fundo de rios

e lagos. Estando num ambiente anaeróbio, é metilado por bactérias produzindo metilmercúrio, e retornando a fase líquida do ambiente, pois é solúvel e muito tóxico, onde é absorvido pela biota, desde o plâncton até organismos maiores. Assim, peixes de grande porte, os quais são o receptáculo preferível do metilmercúrio, apresentarão em seu tecido adiposo concentrações elevadas de mercúrio, proporcionando prováveis danos a saúde dos seres humanos que os ingerirem (BRAGA, 2001).

### 2.3.11 Estudos Desenvolvidos nos Testes Biológicos

Em um estudo de teste de toxicidade foi realizado na Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Instituto de Química, em 1998, foi feita a avaliação do ensaio de toxicidade com a alga *Scenedesmus subspicatus*, no efluente de uma indústria de pectina, sendo que os estudos preliminares com as algas visaram avaliar os diferentes métodos padronizados do ensaio de toxicidade recomendados por órgão internacionais, como a International Organization for Standardization - ISO 8692. Nesse sentido foram comparados distintos métodos para a determinação da concentração da alga, as melhores condições de inóculo para o ensaio. Os resultados demonstraram que apesar da importância do ensaio de toxicidade com algas, este apresenta limitações quando se deseja avaliar amostras escuras (REGINATTO, 1998).

Alguns pesquisadores realizaram estudos em métodos de testes biológicos, como mostra a Tabela 5.

TABELA 5 - ESTUDOS REALIZADOS EM MÉTODOS DE TESTES BIOLÓGICOS

RELATOR	ESTUDO REALIZADO
Hall e Miranda	Mostraram que é importante selecionar problemas para o controle de toxicidade em efluentes municipais e industriais que não contribuam para a toxicidade residual.
Munkittrick et al	Compararam a sensibilidade dos testes pelo Microtox para animais e verificaram que o Microtox era mais sensível para produtos químicos orgânicos puros individuais e menos sensível para inorgânicos.
Anderson e King	Apresentaram resultados estatísticos de controle de qualidade de dez laboratórios nos EUA que fazem testes crônicos de curta duração com organismos de água doce e salgada. A precisão foi similar ou melhor que os testes químicos convencionais.
Taraldsen e King	Demonstraram o uso de macrófita aquática <i>Lemna minor</i> para avaliar tóxicos individualmente além da toxicidade de efluentes de estações de tratamento de despejos domésticos e industriais. A macrófita apresenta vantagens sobre a alga <i>Salanastrum</i> , pois a solução efluente pode ser renovada diariamente, possibilitando avaliar a variabilidade, e a macrófita é mais sensível a herbicidas do que a <i>Ceriodaphnia</i> .
Eagleson et al	O relatório representa um dos maiores conjuntos de dados para validar os resultados de laboratório como estimativa das condições de toxicidade no corpo receptor. Em 88% de 43 comparações, os testes de toxicidade de laboratório com <i>Ceriodaphnia dubia</i> corretamente previram a toxicidade no corpo receptor.
Birge et al	Estudos de comparação toxicológica e levantamentos feitos num rio de Kentucky (U.S.A.) que recebe o efluente de uma estação de tratamento de esgotos. Ficou demonstrada a boa correlação entre a sobrevivência de embriolarvas de <i>Pimephales promdas</i> e os microinvertebrados do rio. Concluíram que o teste com as embriolarvas era equivalente as espécies sensíveis de macroinvertebrados.
Way e Williams	Reportaram o uso de <i>Lemna minor</i> e seis tipos de sementes para avaliar sua eficácia no biomonitoramento de efluentes industriais.

FONTE: PAWLOWSKY (1994)

## 2.4 LEGISLAÇÃO REFERENTE À TOXICIDADE

No Brasil, a referência legal para o controle de toxicidade consta na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 357/2005, a qual classifica os corpos d'água em doces, salinas e salobras, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA, 2005).



Em suas considerações a Resolução CONAMA 357/05 dispõe sobre toxicidade, como segue:

O Parágrafo único do Art. 7º diz que “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”.

O Art. 8º descreve em seu § 3º que “A qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos, quando apropriado, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas”.

Ainda, o Art. 34 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”.

A Lei Federal de Recursos Hídricos 9433 (BRASIL, 1997), descreve em seu Art. 22 que:

“Será considerado na cobrança pelo lançamento de esgotos e demais resíduos em corpos hídricos: o volume lançado e seu regime de variação e as características físico químicas, biológicas e de toxicidade”.

Vários estados estabelecem critérios e padrões de toxicidade para lançamento de efluentes, citados como segue:

A Portaria 017/02 dispõe sobre a toxicidade como parâmetro de caracterização dos efluentes de diferentes origens impondo limites de lançamento para o estado de Santa Catarina (FATMA, 2002).

O Art. 1º diz 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.

Já o Art. 2º descreve que “A toxicidade do efluente, bem como do corpo receptor, será determinada em laboratório por testes ecotoxicológicos padronizados, cujos resultados são expressos em FD (Fator de Diluição)”, determinando o procedimento de análise. Cabe lembrar que a definição de FD, estabelecido em um parágrafo único por esta Portaria, e de FT (Fator de Toxicidade) conforme a ABNT (2004e), correspondem a primeira de uma série de diluições que não cause efeito tóxico agudo aos organismos teste.

Com os resultados de toxicidade, pode-se avaliar o efeito tóxico que o extrato solubilizado de cada amostra e drenados dos aterros causariam ao corpo receptor caso o atingissem. Segundo a FATMA (2002), Portaria nº 017/02, a percentagem do efluente no corpo receptor (PER), a qual corresponde a concentração do efluente no corpo receptor (CER), deverá ser menor ou igual ao fator de toxicidade (FT) expressa em percentagem dividido por 2, para que não cause efeito agudo, evitando assim impacto ao meio aquático.

O Art. 5º, também desta Portaria, estabelece os limites máximos de toxicidade para efluentes, utilizando *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri* como organismos bioindicadores de toxicidade, conforme mostra a Tabela 6.

TABELA 6 - LIMITES MÁXIMOS DE TOXICIDADE PARA EFLUENTES DE DIFERENTES ORIGENS ESTABELECIDOS PELA PORTARIA 017/02 DA FATMA

CATEGORIA DO EFLUENTE	SUBCATEGORIA	LIMITE DE TOXICIDADE AGUDA PARA <i>Daphnia magna</i>		LIMITE DE TOXICIDADE AGUDA PARA <i>Vibrio fischeri</i>	
		FDd	FDd (%)	FDbl	FDbl (%)
Metal mecânica	Siderurgia	4	25	6	16,66
	Metalurgia	4	25	6	16,66
	Galvanoplastia	16	6,25	8	12,5
Alimentícia	Frigoríficos, Abatedouros, Laticínios, Cerealistas, Bebidas, Fecularias, Alimentos	2	50	4	25
Esgotos Domésticos e/ou Hospitalares		1	100	4	25
Resíduos Urbanos	Efluentes de Aterros Sanitários	8	12,5	16	6,25
Papel e Celulose		2	50	4	25
Couros, Peles e Produtos Similares		4	25	6	16,66
Têxtil	Beneficiamento de Fibras Naturais e Sintéticas, Confecção e Tinturaria	2	50	2	50
Química	Agroquímica, Petroquímica, Produtos Químicos não Especificados ou não Classificados	2	50	4	25
Farmacêutica		2	50	4	25

FONTE: PORTARIA 017/02 DA FATMA

NOTA: FDd: fator de diluição para *Daphnia magna*

FDbl: fator de diluição para *Vibrio fischeri*

FDd (%) e FDbl (%): porcentagem de amostra na solução teste

O IAP – Instituto Ambiental do Paraná possui uma Proposta de Resolução, a qual irá regulamentar os limites de toxicidade para o lançamento de efluentes. Em suas

considerações iniciais serão citadas que “As substâncias presentes nos efluentes não poderão causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos, alterações no comportamento e fisiologia dos organismos aquáticos no corpo receptor, determinado em laboratório por testes ecotoxicológicos padronizados”.

A Resolução da Secretaria do Meio Ambiente - SMA-3, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo em 25/02/2000 estabelece:

“Art. 1º - Além de atenderem ao disposto na Lei 997/76, que institui o Sistema de Prevenção e Controle de Poluição do Meio Ambiente, com regulamentação aprovada pelo Decreto 8468/76 (Art. 18) e, considerando eventuais interações entre as substâncias no efluente este não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor”.

Para esta Resolução, as relações que determinam a toxicidade permissível são:

$$D.E.R \leq (CE50 \text{ ou } CL50)/100 \text{ ou}$$

$$D.E.R \leq CENO/10$$

onde:

D.E.R = diluição do efluente no corpo receptor, em %;

CE50 = concentração do efluente que causa efeito agudo (imobilidade) a 50% dos organismos aquáticos, em um determinado período de tempo, em %;

CL50 = concentração do efluente que causa efeito agudo (letalidade) a 50% dos organismos aquáticos, em um determinado período de tempo, em %;

CENO = concentração do efluente que não causa efeito crônico observável, em %.

Ainda, nos parágrafos 1º e 2º desta Resolução dispõe:

§ 1º - “Os organismos utilizados nos testes de toxicidade, assim como os métodos de ensaio, serão definidos pela CETESB, através de normas técnicas específicas”.

§ 2º - “Os limites de toxicidade são estabelecidos para cada efluente, podendo ser reavaliados pela CETESB, desde que a entidade responsável pela emissão apresente

estudos sobre toxicidade do efluente a pelo menos três espécies de organismos aquáticos, variabilidade da toxicidade ao longo do tempo e, dispersão do efluente no corpo receptor” (SMA, 2000).

A FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental, considera a Lei Estadual 11520/00 que institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 2000). O Art. 129 diz:

“Art. 129 - Nenhum descarte de resíduo poderá conferir ao corpo receptor características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida”.

A FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente, no Estado do Rio de Janeiro, estabeleceu critérios e padrões de toxicidade para efluentes industriais através da Norma Técnica 213.R-4. Onde, esta descreve que “não é permitido o lançamento de efluentes líquidos industriais no corpo receptor, com um numero de Unidades de Toxicidade Superior a 8 ( $UT < 8$ ), obtido em testes de toxicidade aguda realizados com peixes *Brachydanio rerio*, conforme a capacidade de diluição do rio nas condições especificadas” (PRONOL, 1990; NIEWEGLOWSKI e SILVA, 1999).

Ainda, a NT 213.R – 4 da FEEMA dispõe (PRONOL,1990):

“não é permitido o lançamento contínuo, em rios, de efluentes líquidos industriais com um número de unidades de toxicidade aguda do efluente superior a 8 e inferior a 2”.

Como também, em seus critérios específicos:

“7.2 – No caso de lançamento de efluentes líquidos industriais em reservatórios, lagos, baías, estuários, águas oceânicas, águas subterrâneas e de lançamentos em batelada, poderão ser estabelecidas exigências adicionais para cada caso específico”.

“7.4 – Poderão ser feitas exigências em relação às estruturas de lançamento de efluentes líquidos industriais, visando evitar, na zona de mistura, condições de toxicidade aguda ou que atuem como barreira à migração e a livre movimentação da biota aquática”.

Na Alemanha, em 1976 entrou em vigor a lei federal de taxação do lançamento de efluentes, onde o poluidor é obrigado a pagar uma taxa para cada parâmetro individual

que se apresentar fora dos limites estabelecidos. Em relação a toxicidade, a qual as exigências legais se referem ao parâmetro de toxicidade para peixes com FT igual a 2, a taxa aumenta à medida que a toxicidade exceda os limites estipulados (KNIE e LOPES, 2004). Sendo que para lançamento de efluentes de 60 ramos industriais, são determinados limites de toxicidade (NIEWEGLOWSKI e SILVA, 1999).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 RESÍDUOS

Foram utilizadas dezoito amostras de resíduos pré-classificados, sendo dezessete como classe II A- não inertes e uma como classe II B- inertes. Também, quatro amostras de drenado dos aterros de resíduos classe II A e classe II B foram submetidas à análises. As amostras foram cedidas por uma unidade de disposição final de resíduos, onde a destinação final é de acordo com a tipologia e classificação dos resíduos. Além disso, o laudo de classificação de cada resíduo fornecido, contendo os resultados dos testes de lixiviação e de solubilização realizados pelo laboratório da unidade foram disponibilizados.

As amostras de resíduos, as quais se apresentavam no estado sólido ou pastoso, foram acondicionadas em frascos de polietileno, devidamente tampados com tampa de mesmo material e rotulados, onde neste constava o tipo de resíduo.

A massa disponível de resíduo variou de 700 a 1500 g, tendo sido preservados com refrigeração a 4°C e estocados por um período de 7 a 14 dias contados a partir do recebimento das amostras.

As amostras do drenado receberam o mesmo acondicionamento que os resíduos, tendo sido mantidas congeladas em temperatura abaixo de -18°C por aproximadamente duas semanas, podendo ficar no máximo por 60 dias.

##### 3.1.1 Descrição dos Resíduos Sólidos Industriais e Drenados dos Aterros

A tipologia e a classificação dos resíduos analisados estão descritos na Tabela 7, conforme o laudo fornecido pela unidade de destinação final. A classificação destes

resíduos foi realizada antes de entrar em vigor a NBR 10004/04, então, as classes foram nomeadas como classe II e III.

TABELA 7 - LISTA DAS AMOSTRAS CEDIDAS PELA UNIDADE DE DESTINAÇÃO FINAL, CLASSIFICAÇÃO CONFORME A NBR 10004/87 E ORIGEM DOS RESÍDUOS

RESÍDUO N°	CLASSIFICAÇÃO	ORIGEM
01	Classe II	Borra de fosfato. Lodo proveniente da estação de tratamento de efluentes de um processo de fosfatização.
02	Classe II	Lodo biológico oriundo do tratamento de efluentes do processo de curtimento de couro.
03	Classe II	Lodo de estação de tratamento de efluentes proveniente do processo de saponificação e neutralização.
04	Classe II	Lodo galvânico oriundo de processo de galvanoplastia.
05	Classe II	Lodo de estação de tratamento de efluentes gerado na indústria de alimentos.
06	Classe II	Lodo de estação de tratamento de efluentes vindo do processo de tingimento de fios de poliéster com corantes à base de água.
07	Classe II	Terra e areia contaminada com óleo proveniente da lavagem de equipamentos de terraplanagem.
08	Classe III	Lodo de estação de tratamento de efluentes gerado na indústria têxtil.
09	Classe II	Lodo de rampa de lavagem de veículos.
10	Classe II	Lodo de estação de tratamento de efluentes gerados na produção de cosméticos.
11	Classe II	Resina endurecida originada das sobras do processo de fabricação de resinas para impregnação de papel.
12	Classe II	Resíduo originado no processo de carbonização de pinus spp.
13	Classe II	Lodo de estação de tratamento de efluentes do processo de obtenção de resina de nó de pinho.
14	Classe II	Escória de siderúrgica coletado no lastro da estrada de ferro.
15	Classe II	Escória de siderúrgica coletado no pátio de escória.
16	Classe II	Lodo de estação de tratamento de efluentes de cervejaria.
17	Classe II	Terra infusória, oriunda do processo de filtração de cerveja.
18	Classe II	Lodo do tratamento de efluente gerado na pintura dos assentos de automóveis.

FONTE: LAUDO DE CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE DE DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS

Os drenados analisados foram identificados da seguinte forma:

- Efluente 01 – Drenado dos Aterros Classe IIA e Classe IIB. Este drenado foi coletado quando o dia apresentava-se chuvoso.
- Efluente 02 – Drenado dos Aterros Classe IIA e Classe IIB. Na coleta deste drenado o tempo apresentava-se bom e com sol.



- Efluente 03 – Drenado dos Aterros Classe IIA e Classe IIB. Na coleta deste drenado o tempo apresentava-se bom e com sol.
- Efluente 04 – Drenado dos Aterros Classe IIA e Classe IIB. Este drenado foi coletado com o tempo nublado, mas sem chuva.

### 3.2 TESTE DE LIXIVIAÇÃO

No Departamento de Tecnologia Ambiental – IAP, foram realizados testes de lixiviação nos resíduos 11, 12, 13, 14 e 15, em duplicata, de acordo com a NBR 10005 de 1987. Na data da realização destas análises, de fevereiro a setembro de 2004, ainda estava em vigor as Normas de Classificação de 1987, a qual foi revogada após 30 de novembro de 2004, o que justifica a realização dos ensaios baseados nas normas editadas em 1987.

Somente cinco amostras foram submetidas ao ensaio devido ao custo elevado das análises e ao fato de que os resíduos já estavam pré-classificados como classe II A e classe II B. Cabe ressaltar que o ensaio de lixiviação é realizado para verificar se o resíduo é classe I - perigoso.

As amostras de resíduos 14 e 15, as quais apresentavam aparência de rocha, foram trituradas com o auxílio de um grau de ferro e passadas em peneira de 9,5 mm antes da pesagem. Já, as amostras 11, 12, e 13, as quais também possuíam aspecto sólido, não precisaram ser trituradas por apresentarem a granulometria menor que 9,5 mm, estando de acordo com a norma do ensaio.

Com o auxílio de uma espátula, as amostras 11, 12, 13, 14 e 15 foram transferidas para papel alumínio e pesadas 100 g de cada, com balança analítica de precisão. Logo após a pesagem, o resíduo foi transferido para um copo de béquer de 2000 mL e adicionado 1600 mL de água destilada, posteriormente foi submetido à agitação, em Jar-Test, com baixa velocidade por um período de 24 horas. O pH foi medido no início da

agitação e na seqüência em blocos de tempos de 15 minutos, 30 minutos e 60 minutos, devendo permanecer em 5,0 ( $\pm$  0,2).

Nas amostras 12, 13, 14 e 15 foi adicionado ácido acético glacial 0,5 N, até que ocorresse a estabilização do pH em um conjunto de medidas de tempos de 15 minutos, 30 minutos e 60 minutos. Para estas quatro amostras foram feitos três conjuntos de medidas de pH, onde no terceiro ocorreu a estabilização, tendo um gasto total de ácido acético glacial 0,5 N para a amostra 12 de 210 mL, para a amostra 13 de 30 mL, e para as duas últimas amostras um gasto de 20 mL. Passadas as 24 horas de agitação, esta foi cessada e adicionou-se 190 mL de água destilada na amostra 12, também, 370 mL na amostra 13 e 380 mL de água destilada nas amostras 14 e 15.

Para a amostra 11 o pH não necessitou de correção, tendo um total de dois conjuntos de medidas, onde no final de 24 horas de agitação adicionou-se a esta amostra 400 mL de água destilada.

Das cinco amostras retirou-se o sobrenadante por sucção, o qual foi submetido a filtração com membrana filtrante de 0,45  $\mu$ m de porosidade.

O volume de 1000 mL do filtrado foi acondicionado em frasco de polietileno e preservado com a adição de 5 mL de ácido nítrico concentrado para futura análise de metais.

### 3.3 TESTE DE SOLUBILIZAÇÃO

No Departamento de Tecnologia Ambiental – IAP, foram realizados os testes de solubilização das dezoito amostras, em duplicata, de acordo com a NBR 10006 (ABNT, 1987c). Pelo mesmo motivo do ensaio de lixiviação ser baseado na NBR de 1987, também para o ensaio de solubilização, realizado de fevereiro a setembro de 2004, ainda estava em vigor as Normas de Classificação de 1987, que permaneceu até 30 de

novembro de 2004, o que justifica a realização do ensaio baseado na norma editada em 1987.

No ensaio de solubilização, com o auxílio de uma espátula, o resíduo no estado sólido ou pastoso foi colocado em papel alumínio e pesado 250 g, com balança analítica de precisão. Logo após a pesagem, o resíduo foi transferido para um copo de béquer de 2000 mL e adicionado 1000 mL de água destilada, posteriormente foi submetido à agitação, em Jar-Test, com baixa velocidade por um período de 5 minutos. Vencido esse tempo, o béquer foi tampado e deixado em repouso por 7 dias. Passado esse período, o sobrenadante da amostra retirado por sucção, passou por um pré-filtro utilizando membrana filtrante com porosidade de 12,5 µm de diâmetro, e em seguida a solução resultante foi submetida novamente a filtração com membrana filtrante de 0,45 µm de porosidade, originando o extrato solubilizado.

O volume de 800 mL de extrato solubilizado foi acondicionado em frasco de polietileno e preservado com a adição de 5 mL de ácido nítrico concentrado para futura análise de metais. Em outros dois frascos de polietileno, foi colocado o volume de 100 mL de extrato solubilizado, em cada frasco, e estes encaminhados à análise de toxicidade aguda, sendo que um frasco para o microcrustáceo *Daphnia magna* e outro para a bactéria *Vibrio fischeri*.

### 3.4 DETERMINAÇÃO DE METAIS

De acordo com o laudo de classificação realizado pela unidade de destinação final dos resíduos, os metais encontrados no extrato solubilizado e lixiviado dos resíduos, foram novamente determinados pelo Laboratório de Absorção Atômica do Instituto Ambiental do Paraná, com o intuito de comparação de resultados obtidos por dois laboratórios diferentes.

Os metais como alumínio, sódio, zinco e ferro, cuja presença foi comum em quase todas as amostras, foram determinados novamente. Além destes, dependendo da tipologia da amostra, metais como bário, cádmio, cromo, cobre, manganês e chumbo também foram solicitados ao laboratório.

A técnica aplicável para a determinação de metais foi Espectrofotometria de Absorção Atômica, na qual primeiramente realizou-se o preparo do branco, onde 25 mL de água destilada foi transferida para um erlenmeyer de 300 mL, seguindo o mesmo tratamento dado à amostra. Na seqüência, 25 mL da amostra foi medida com pipeta volumétrica e transferida para um erlenmeyer de 300 mL. Após a adição, de 2 mL de ácido sulfúrico e 5 mL de ácido nítrico concentrados, o erlenmeyer foi levado para uma chapa de aquecimento com a finalidade de evaporar a solução, sem ocorrer fervura, até o desprendimento de fumaças brancas, sendo estas compostas de anidrido sulfúrico. Quando a solução atingiu temperatura ambiente, após ser retirada da chapa, adicionou-se com pipeta graduada 5 mL de ácido nítrico concentrado. Este processo sofreu repetição até o surgimento de um resíduo límpido, sendo este transferido para um balão volumétrico de 25 mL e completado seu volume com água destilada até a marca de aferição do balão.

Nesta etapa, para a determinação de alumínio, foi adicionado na solução 1 mL de nitrato de potássio 13%. A solução foi homogeneizada e filtrada com papel filtro faixa preta, para ocorrer a separação de compostos insolúveis, recebendo o filtrado em balão volumétrico de 25 mL. Posteriormente os balões contendo as soluções foram levados para a leitura no espectrofotômetro.

A análise espectrofotométrica foi iniciada com a construção da curva de calibração, utilizando-se o branco e padrões, sendo que os padrões são preparados a partir da solução intermediária de 50 mg/L (Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Na, e Zn) e 50 mg/L (Al e Ba). Em seguida o aparelho foi zerado aspirando-se na chama água destilada e deionizada. As concentrações padrões de trabalho foram repassadas ao equipamento e aspirado o branco e padrões em ordem crescente de concentração, após a leitura do último

padrão, o equipamento imprimiu automaticamente a curva de calibração. Na seqüência as amostras foram aspiradas e o resultado em mg/L emitido automaticamente.

Na Tabela 8, são apresentados os valores dos limites de detecção para cada elemento químico de acordo com o Espectrofotômetro de Absorção Atômica utilizado pelo laboratório do Instituto Ambiental do Paraná para analisar metais.

TABELA 8 - LIMITES DE DETECÇÃO OBTIDOS ATRAVÉS DO ESPECTROFOTÔMETRO DE ABSORÇÃO ATÔMICA AA-20 PLUS - VARIAN

ELEMENTO	LIMITE DE DETECÇÃO (mg/L)
Al	0,40
Ba	0,60
Cd	0,01
Cu	0,03
Cr	0,10
Fe	0,06
Mn	0,03
Na	0,01
Pb	0,04
Zn	0,10

FONTE: PROCEDIMENTO TÉCNICO PARA DETERMINAÇÃO DE METAIS - IAP (2002)

### 3.5 TESTE DE TOXICIDADE AGUDA COM *Daphnia magna*

O método utilizado para a avaliação da toxicidade aguda com *Daphnia magna* foi de acordo com a ABNT (2004e), a qual é baseada na ISO 6341(E) e DIN 38412(30)(11).

Este teste consiste em expor indivíduos jovens do microcústáceo *Daphnia magna* a várias diluições do agente-teste por um período de 48 horas, onde o efeito tóxico agudo é determinado através da perda de movimento dos organismos.



*Daphnia magna* com embriões.

#### FIGURA 1 – MICROCRUSTÁCEO

Os solubilizados das dezoito amostras de resíduos e as quatro amostras de drenados do aterro, na impossibilidade de iniciar o ensaio em 48 horas, foram congelados e mantidos a temperatura inferior a 18°C negativos por no máximo 60 dias.

A manutenção das culturas do organismo-teste foi realizada no mínimo uma vez por semana pela renovação da água de cultivo, onde esta é constituída por dez soluções, descritas na Tabela 9. No entanto, para a utilização desta água recém preparada foram registrados os valores de oxigênio dissolvido, pH e dureza total, onde, respectivamente o pH deveria apresentar valores entre 7,0 e 8,0 e a dureza total estar entre 175mg CaCO<sub>3</sub>/L e 225 mg CaCO<sub>3</sub>/L.

TABELA 9 - SOLUÇÕES PARA PREPARO DA ÁGUA DE CULTIVO E DE DILUIÇÃO

SOLUÇÃO	REAGENTE	QUANTIDADE (mg)	PREPARO
1	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	73500	Dissolver em 1 litro de água bidestilada
2	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	123300	Dissolver em 1 litro de água bidestilada
3	KCl	5800	Dissolver em 1 litro de água bidestilada
4	NaHCO <sub>3</sub>	64800	Dissolver em 1 litro de água bidestilada
	MCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	7210	
	LiCl	6120	
	RbCl	1420	
5	SrCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	3040	Dissolver em 1 litro de água bidestilada
	CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	335	
	ZnCl <sub>2</sub>	260	
	CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	200	
	NaNO <sub>3</sub>	548	
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	5719	
	NaBr	32	
6	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	126	Dissolver em 1 litro de água bidestilada
	NH <sub>4</sub> VO <sub>3</sub>	1,15	
	KI	6,5	
	NaSe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,38	
7	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	21465	Dissolver em 1 litro de água bidestilada, deixando em agitação até o clareamento da solução
8	Na <sub>2</sub> EDTA.7H <sub>2</sub> O	500	Dissolver em 1 litro de água bidestilada.
	FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	199,1	Preparar as soluções separadamente, cada uma em 500 mL de água bidestilada. Misturar as duas soluções e autoclavar imediatamente a 12°C por 15 min.
9	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	286	Dissolver em 1 litro de água bidestilada
	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	368	
10	Hidrocloreto de Tiamina	750	Dissolver em 1 litro de água bidestilada.
	Cianocabalamina	10	Congelar em volume adequado para uso.
	D (+) Biotina	7,5	

FONTE: ABNT (2004e)

Os lotes de organismos eram formados por 25 adultos para cada litro de água, e mantidos em recipientes de 2000 mL a temperatura de 22°C. Na alimentação destes indivíduos utilizou-se algas verdes frescas *Scenedesmus subspicatus*.

Mensalmente a sensibilidade dos organismos foi avaliada utilizando dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) como substância de referência. Os resultados obtidos foram satisfatórios, liberando assim os lotes de *Daphnia magna* para a realização dos testes de toxicidade.

Para esta análise os indivíduos jovens com 6 a 24 horas de idade foram separados dos adultos através do uso de uma rede de aço-inox 1 mm acoplada a um cilindro de vidro. Após a separação, os indivíduos adultos foram transferidos para um béquer contendo água de cultivo e os organismos jovens, contidos em uma peneira após filtrados, foram colocados em um recipiente menor com pouca água de cultivo e 1 mL de alimento.

Para estabelecer o número de diluições necessárias em cada amostra, utilizou-se de informações conhecidas da amostra e da experiência dos profissionais do Laboratório de Ecotoxicologia do Instituto Ambiental do Paraná.

As análises para cada diluição e controle foram realizadas em duplicata, em dois béqueres de 50 mL, sendo que o controle é constituído somente com água de diluição e com organismos-teste.

Para que não haja interferência nos resultados, a amostra deve apresentar o pH entre 5,0 a 9,0, então quando necessário fez-se a correção com a utilização de HCl ou NaOH 1N.

Dando seqüência ao ensaio, nos primeiros dois béqueres foram adicionados 25 mL de amostra pura, posteriormente, em um balão volumétrico de 100 mL adicionou-se 50 mL de amostra pura e 50 mL de água de diluição, a qual é composta pelas soluções 1, 2, 3 e 4 descritas na Tabela 9. Desta primeira diluição retirou-se 50 mL da solução distribuindo 25 mL em cada béquer. O balão volumétrico contendo o restante da solução foi completado com água de diluição, agitado e novamente retirou-se 50 mL. Esta seqüência repetiu-se até que fossem atingidas todas as diluições necessárias para cada amostra.

Após introduzir 10 *Daphnia magna* jovens em cada recipiente de teste, incluindo o controle, o ensaio foi coberto com papel e mantido em temperatura de 20°C por 48 horas.

Passado o tempo de exposição dos agentes-testes, foi observado e registrado o número de organismos móveis em cada recipiente. A expressão dos resultados foi dada



em fator de toxicidade, representado pelo menor valor de diluição da amostra na qual não se observa imobilidade maior que 10% nos organismos expostos.

Para preparar 100 litros de água de cultivo, são adicionadas as soluções descritas na Tabela 9, misturada uma a uma, conforme as quantidades citadas na Tabela 10. Para a saturação de oxigênio, solubilização total dos sais e estabilização do pH, a água deve ser aerada pelo menos 12 horas antes da sua utilização.

TABELA 10 - VOLUME DAS SOLUÇÕES PARA PREPARO DA ÁGUA DE CULTIVO

SOLUÇÃO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VOLUME (mL)	130	32,4	10	10	10	50	20	500	50	10

FONTE: ABNT (2004e)

Para preparar a água de diluição são utilizadas as soluções do meio básico, de 1 a 4 conforme a Tabela 9, nas mesmas proporções e condições do preparo da água de cultura. A adição das soluções está descrita na Tabela 11.

TABELA 11 – VOLUME DAS SOLUÇÕES PARA PREPARO DA ÁGUA DE DILUIÇÃO

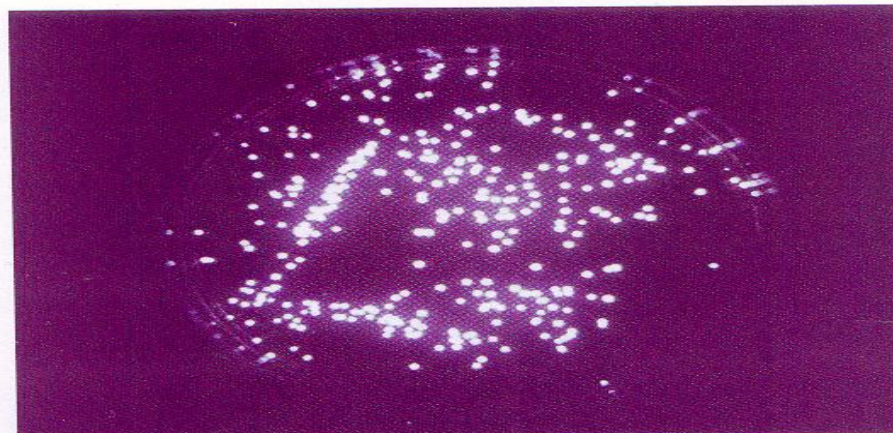
SOLUÇÃO	1	2	3	4
VOLUME (mL)	130	32,4	10	10

FONTE: ABNT (2004e)

### 3.6 TESTE DE INIBIÇÃO DA EMISSÃO DA LUMINISCÊNCIA EM *Vibrio fischeri*

O método utilizado para a avaliação da toxicidade aguda com *Vibrio fischeri* foi de acordo com o Manual de Métodos para Avaliação da Toxicidade do Instituto Ambiental do Paraná, o qual é baseado em normas da ISO 11348-1 e do DIN 38412-34.

Este ensaio consiste em detectar a concentração do agente-teste que causa inibição na produção de luz naturalmente emitida pela bactéria marinha *Vibrio fischeri*.



Colônias de fotobactérias *Vibrio fischeri*

## FIGURA 2 – BACTÉRIAS

As dezoito amostras de solubilizado e as quatro amostras de drenado do aterro submetidas ao teste, foram preservadas a  $-20^{\circ}\text{C}$  por no máximo 60 dias.

Antecedendo às análises, o pH das amostras foi corrigido para  $7,0 \pm 0,2$ , quando necessário, utilizando-se ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH) 1N.

As cepas da bactéria *Vibrio Fischeri*, adquiridas comercialmente congeladas em frascos com volume de 0,1 mL, as quais foram utilizadas nos ensaios, foram mantidas preservadas em freezer a temperatura de  $-70^{\circ}\text{C}$ .

Para a realização do teste, as várias diluições do agente teste foram adicionadas nas suspensões com a mesma quantidade da bactéria, sendo efetuadas medidas de quantidade de luz, antes e após a adição da amostra diluída, em diferentes intervalos de tempo (15 e 30 minutos). A quantidade de luz perdida nas diferentes concentrações do agente teste é calculada. Como representação do resultado que significa a extensão do efeito do agente teste sobre os organismos, utiliza-se o fator de toxicidade para *Vibrio fischeri* (FTbl) no caso de amostras ambientais.

### 3.6.1 Método de Bioensaios de Toxicidade Aguda com Bactérias Luminescentes *Vibrio fischeri*

Para o método de bioensaios de toxicidade aguda com bactérias luminescentes *Vibrio fischeri*, a primeira etapa foi descongelar a solução de reconstituição, a qual deve estar alíquotada em frascos contendo 12 mL, e deixá-la no termobloco à temperatura de 15°C por 15 minutos para que ocorra o equilíbrio térmico.

Na seqüência, a amostra bruta foi salinizada com a adição de 0,2 g de NaCl em 10 mL de amostra. Este procedimento se fez necessário para que o agente-teste proporcionasse condições de vida à bactéria marinha. Em seguida, as diluições da amostra foram realizadas.

Após a estabilização térmica da solução de reconstituição, descongelou-se em banho-maria a temperatura ambiente o frasco contendo 0,1 mL de bactérias e foi adicionado neste 0,5 mL da solução de reconstituição. O frasco foi agitado levemente e deixado no termobloco por 15 minutos. Passado este período, denominado de ressuspensão, a totalidade da suspensão de bactérias do frasco foi transferida para o restante da solução de reconstituição e colocada no termobloco por mais 15 minutos. Posteriormente, transferiu-se 0,5 mL da suspensão de bactérias para as cubetas de leitura em intervalos de 30 segundos. Ao término de 15 minutos, contados a partir da colocação da suspensão de bactérias na primeira cubeta, iniciou-se a leitura da luminescência das bactérias em intervalos de 30 segundos. A seqüência para leitura da bactéria e acréscimo de 0,5 mL da diluição da solução-teste correspondente foi mantida até a última diluição, com o tempo total determinado para esta etapa de 30 minutos. Passado este período, a leitura final da luminescência das bactérias foi realizada em intervalos de 30 segundos.

O resultado fornecido é o menor valor de diluição do agente-teste, onde houve inibição da produção de luminescência menor ou igual a 20% com relação ao controle.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

As dezoito amostras fornecidas pela unidade de destinação final de resíduos industriais vieram providas de laudo e classificadas como classe II e classe III, conforme a NBR 10004/87, pois esta ainda estava em vigor na data da elaboração dos laudos. A origem e a classificação dos resíduos estão apresentados na Tabela 7.

Para o laudo de classificação das amostras fornecidas pela unidade de destinação final dos resíduos, assim como para os resultados das análises realizadas no IAP, ainda vigoravam as NBR's de classificação do ano de 1987, o que justifica o uso das duas versões das NBR's para a exposição e discussão dos resultados dispostos neste trabalho. Assim, os resultados serão comparados com os limites estabelecidos pelas NBR's de 1987 e de 2004, sendo que a nomeação das classes nas tabelas 12, 13, 15 e 16 manterá a nomeação da NBR 10004/87 (classe II e classe III), e na discussão destas tabelas será utilizado a nomeação das classes conforme a NBR 10004/04 (classe II A e classe II B). Então, a nomeação de classe II A (NBR 10004/04) corresponde a classe II (NBR 10004/87) e classe II B (NBR 10004/04) corresponde a classe III (NBR 10004/87).

#### **4.1.1 Análises do Extrato Lixiviado**

Para comparar e conferir os resultados de classificação dos resíduos, realizados pelo laboratório da unidade de destinação final dos mesmos, foram realizados testes de lixiviação no laboratório do Instituto Ambiental do Paraná - Departamento de Tecnologia Ambiental em cinco amostras, em duplicata, de acordo com a NBR 10005 de 1987. As amostras 11, 12, 13, 14 e 15, submetidas ao teste pertenciam a um lote de resíduos doados, sendo que este lote foi escolhido aleatoriamente.

Devido ao alto custo das análises e ao fato de que as dezoito amostras doadas pela unidade de destinação final de resíduos vieram providas de laudo e classificadas como classe II (II A) e classe III (II B), as amostras restantes não foram submetidas ao ensaio de lixiviação, que é utilizado para verificar se o resíduo é classe I - perigoso.

Na Tabela 12 são apresentados os resultados das concentrações de metais encontrados no extrato lixiviado. Os metais analisados como o alumínio, bário, cádmio, cobre, cromo, ferro, manganês, sódio, chumbo, e zinco, foram escolhidos de acordo com os listados nos laudos de classificação fornecidos pela unidade de destinação final de resíduos, sendo que esta empresa determina quais parâmetros serão analisados a partir de um estudo prévio, baseado nas entradas e saídas do processo da indústria geradora do resíduo a ser destinado aos aterros.

TABELA 12- RESULTADOS DAS ANÁLISES DE METAIS NO EXTRATO LIXIVIADO

REFERÊNCIAS	CLASSE	METAIS (mg/L)									
		Al	Ba	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Na	Pb	Zn
<b>NBR10004/2004</b> (Limite máximo)	IIA ou IIB	NE	70,0	0,5	NE	5,0	NE	NE	NE	1,0	NE
<b>NBR10004/1987</b> (Limite máximo)	II ou III	NE	100,0	0,5	NE	5,0	NE	NE	NE	5,0	NE
<b>Limite de Detecção</b>	NE	0,40	0,60	0,01	0,03	0,10	0,06	0,03	0,01	0,04	0,10
<b>Resíduo 11</b>	II ou III	<LD	NA	NA	0,08	<LD	0,28	0,05	6,66	0,06	0,31
<b>Resíduo 12</b>	II ou III	<LD	NA	NA	0,17	<LD	0,07	25,90	4,64	0,13	0,22
<b>Resíduo 13</b>	II ou III	0,40	NA	NA	<LD	<LD	0,23	0,68	5,70	0,05	0,42
<b>Resíduo 14</b>	II ou III	NA	3,30	<LD	NA	<LD	NA	NA	NA	0,04	NA
<b>Resíduo 15</b>	II ou III	NA	3,46	<LD	NA	<LD	NA	NA	NA	<LD	NA

NE: não existente

NA: não analisado

LD: limite de detecção do método analítico utilizado

NBR 10004/04: classe IIA – não inertes e classe IIB – inertes

NBR 10004/87: classe II – não inertes e classe III – inertes

Composta por resina endurecida, a amostra 11 é originada conforme mostra a Tabela 7. Dentre os metais analisados nesta amostra, o alumínio e o cromo apresentaram-se com teores menores que o limite de detecção do método, respectivamente 0,40 mg/L e

0,10 mg/L. Já os metais detectados foram o cobre com valor de 0,08 mg/L, o ferro com valor de 0,28 mg/L, o manganês com valor de 0,05 mg/L, o sódio com valor de 6,66 mg/L, o chumbo com valor de 0,06 mg/L e o zinco com 0,31 mg/L. Estes valores confirmam que o resíduo 11 não é classificado como classe I - perigoso, então podendo ser classe II A- não inerte ou classe II B- inerte, dependendo do resultado encontrado na análise do extrato solubilizado.

No resíduo 12, originado conforme Tabela 7, o alumínio apresentou valor menor que detectado pela análise, ou seja, menor que 0,40 mg/L e o cromo com valor menor que 0,10 mg/L. Foram encontrados o cobre com 0,17 mg/L, ferro com 0,07 mg/L, manganês com 25,90 mg/L, sódio com 4,64 mg/L, chumbo com 0,13 mg/L e zinco com 0,22 mg/L, valores estes que confirmam a classificação do resíduo 12 como classe II A- não inerte ou classe II B- inerte, dependendo do ensaio de solubilização.

No resíduo 13, originado conforme Tabela 7, os metais com valores menores que os detectados pela análise foram o cobre, com valor menor que 0,03 mg/L e o cromo com valor menor que 0,10 mg/L. No entanto, o alumínio com 0,40 mg/L, o ferro com 0,23 mg/L, manganês com 0,68 mg/L, sódio com 5,70 mg/L, chumbo com 0,05 mg/L e zinco com 0,42 mg/L, caracterizaram a amostra como sendo classe II A- não inerte ou classe II B- inerte, dependendo do ensaio de solubilização.

As amostras 14 e 15, conforme Tabela 7, são escória de siderúrgica. A amostra 14 apresentou para o cádmio valor menor que 0,01 mg/L e para o cromo valor menor que 0,10 mg/L, sendo estes valores menores que os limites detectados pela análise. No entanto, esta mesma amostra apresentou 3,30 mg/L de bário e 0,04 mg/L de chumbo, caracterizando esta amostra como não sendo da classe I - perigosa. A amostra 15, além do cádmio com valor menor que 0,01 mg/L e cromo com valor menor que 0,10 mg/L, também o chumbo apresentou valor menor que 0,04 mg/L, valores estes menores que o limite de detecção da análise. Esta amostra apresentou bário com 3,46 mg/L o que a caracterizou como não sendo classe I - perigoso.

Em concordância com o laudo de classificação fornecido pela empresa de destinação final dos resíduos, foram encontradas nestas amostras concentrações de metais abaixo dos limites que os classificariam como classe I- perigosos. No caso de comparação entre os limites estabelecidos pela NBR 10004/87, em vigor até 30 de novembro de 2004, e a NBR 10004/04 verifica-se que a classificação como não sendo classe I, nos resíduos 11, 12, 13, 14 e 15 é mantida, pois mesmo para parâmetros como bário, onde o limite passou de 100 mg/L para 70 mg/L, e chumbo onde o limite passou de 5,0 mg/L para 1,0 mg/L, ficando mais baixos na Norma NBR 10004/04, a quantidade de metais encontrado nas análises dos resíduos é bem inferior.

Na Tabela 13 estão contidos os resultados dos parâmetros analisados pela unidade de disposição final e descritos no laudo de classificação de resíduos sólidos, os quais acompanharam as amostras. Neste caso, verifica-se a compatibilidade dos resultados dos laudos com os encontrados na Tabela 12.

TABELA 13 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS NO EXTRATO LIXIVIADO DESCRITOS NO LAUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS, ELABORADO PELA UNIDADE DE DISPOSIÇÃO FINAL

REFERÊNCIA	CLASSE	PARÂMETROS (mg/L)									
		Al	Ba	Cd	Cu	Cr	Fe	Fluoreto	Na	Pb	Zn
<b>NBR10004/2004</b> <b>(Limite máximo)</b>	IIA ou IIB	NE	70,0	0,5	NE	5,0	NE	150	NE	1,0	NE
<b>NBR10004/1987</b> <b>(Limite máximo)</b>	II ou III	NE	100,0	0,5	NE	5,0	NE	150	NE	5,0	NE
<b>Limite de Detecção</b>	NE	NE	0,4	0,01	0,1	0,1	NE	0,1	NE	0,2	0,008
<b>Resíduo 01</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	2,45	NA	<LD	53,30
<b>Resíduo 02</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	<LD	0,41	NA	<LD	NA	<LD	0,42
<b>Resíduo 03</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	0,15	<LD	NA	0,11	NA	<LD	0,14
<b>Resíduo 04</b>	II ou III	NA	NA	NA	NA	2,0	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Resíduo 05</b>	II ou III	NA	1,0	0,027	NA	<LD	NA	0,18	NA	0,53	NA
<b>Resíduo 06</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	0,13	NA	<LD	0,17
<b>Resíduo 07</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	0,17	NA	<LD	0,10
<b>Resíduo 08</b>	II ou III	NA	1,0	0,018	NA	0,6	NA	0,80	NA	0,28	NA
<b>Resíduo 09</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	1,82	NA	<LD	0,40
<b>Resíduo 10</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	0,4	<LD	NA	0,46	NA	0,60	0,009
<b>Resíduo 11</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	0,12	NA	<LD	0,46
<b>Resíduo 12</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	0,16	<LD	NA	NA	NA	<LD	0,13
<b>Resíduo 13</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	NA	NA	<LD	0,20
<b>Resíduo 14</b>	II ou III	NA	2,90	<LD	<LD	<LD	NA	NA	NA	<LD	NA
<b>Resíduo 15</b>	II ou III	NA	2,86	<LD	<LD	<LD	NA	NA	NA	<LD	NA
<b>Resíduo 16</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	0,92	NA	<LD	0,34
<b>Resíduo 17</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	2,11	NA	<LD	0,11
<b>Resíduo 18</b>	II ou III	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	0,53	NA	<LD	0,03

NE: não existente

NA: não analisado

LD: limite de detecção do método analítico utilizado

NBR 10004/04: classe IIA – não inertes e classe IIB – inertes

NBR 10004/87: classe II – não inertes e classe III – inertes

Na hipótese de que a lixiviação dos resíduos contidos na Tabela 13, ocorressem no meio ambiente, pode-se verificar pelos padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 357/2005, conforme a Tabela 14, que apenas o cromo no resíduo 04 com 2,0 mg/L e no resíduo 08 com 0,6 mg/L, o chumbo no resíduo 05 com 0,53 mg/L e no resíduo 10 com 0,6 mg/L e o zinco no resíduo 01 com 53,30 mg/L estariam acima dos limites determinados pela legislação.



TABELA 14 - TEORES MÁXIMOS DE ALGUMAS SUBSTÂNCIAS PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES ESTABELECIDOS PELA LEGISLAÇÃO NACIONAL – CONAMA 357/2005

SUBSTÂNCIA	LANÇAMENTO (mg/L)
Bário	5,0
Cádmio	0,2
Chumbo	0,5
Cobre	1,0
Cromo total	0,5
Ferro	15,0
Fluoretos	10,0
Manganês	1,0
Zinco	5,0

FONTE: RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005 – Art. 34

#### 4.1.2 Análises do extrato solubilizado

A solubilização foi realizada em todas as amostras, em duplicata, de acordo com a ABNT (1987c), pois esta ainda estava em vigor na data da realização das análises. O extrato solubilizado foi submetido à análise de metais para, assim, a classe de cada resíduo ser determinada. Cabe ressaltar que a concentração de metais no extrato solubilizado, de acordo com a ABNT (2004a), (anexo G), é o fator determinante da classe do resíduo. Assim, se pelo menos um dos valores for superior ao limite estabelecido pela norma, o resíduo é classificado como classe II A- não inerte. O resíduo é classificado como classe II B- inerte se todos os resultados dos parâmetros apresentarem valor igual ou menor que o limite especificado pela norma. Na Tabela 15 estão reunidos os resultados de cada amostra analisada.

TABELA 15 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE METAIS NO EXTRATO SOLUBILIZADO

REFERÊNCIA	CLASSE	METAIS (mg/L)									
		Al	Ba	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Na	Pb	Zn
<b>NBR10004/2004(Limite máximo)</b>	IIA ou IIB	0,20	0,7	0,005	2,0	0,05	0,30	0,10	200,0	0,01	5,0
<b>NBR10004/1987(Limite máximo)</b>	II ou III	0,20	1,0	0,005	1,0	0,05	0,30	0,10	200,0	0,05	5,0
<b>Limite de Detecção</b>	NE	0,40	0,60	0,01	0,03	0,10	0,06	0,03	0,01	0,04	0,10
<b>Resíduo 01</b>	II	<b>0,53</b>	NA	NA	NA	NA	<LD	<b>19,15</b>	<b>378,0</b>	NA	<b>61,25</b>
<b>Resíduo 02</b>	II	<LD	NA	NA	NA	<b>2,22</b>	<b>0,80</b>	0,06	144,0	NA	<LD
<b>Resíduo 03</b>	III	NA	NA	NA	0,27	NA	0,06	<LD	69,40	NA	<LD
<b>Resíduo 04</b>	II	<LD	NA	NA	NA	NA	0,06	<b>1,24</b>	<b>1125,0</b>	NA	0,54
<b>Resíduo 05</b>	II	<LD	NA	NA	<LD	<LD	<b>5,90</b>	<LD	117,85	<LD	0,17
<b>Resíduo 06</b>	II	<LD	NA	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	<b>273,4</b>	<LD	<LD
<b>Resíduo 07</b>	II	<LD	NA	NA	<LD	<LD	<b>0,31</b>	<b>0,57</b>	9,78	<LD	<LD
<b>Resíduo 08</b>	II	<b>0,53</b>	<LD	NA	<LD	<LD	<b>0,37</b>	NA	24,71	<LD	<LD
<b>Resíduo 09</b>	II	<LD	NA	NA	<LD	<LD	0,11	<b>0,72</b>	7,99	<LD	<LD
<b>Resíduo 10</b>	II	<b>16,00</b>	NA	NA	0,09	<LD	0,17	<LD	22,74	<LD	<LD
<b>Resíduo 11</b>	II	<LD	NA	NA	<LD	<LD	<b>0,62</b>	0,08	25,56	<LD	1,29
<b>Resíduo 12</b>	II	<LD	NA	NA	NA	<LD	<b>0,36</b>	<LD	10,63	<LD	<LD
<b>Resíduo 13</b>	II	<LD	NA	NA	NA	<LD	<b>1,54</b>	0,10	18,62	<LD	<LD
<b>Resíduo 14</b>	II	<LD	<b>2,02</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	4,85	<LD	<LD
<b>Resíduo 15</b>	II	<LD	<b>1,33</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	4,39	<LD	<LD
<b>Resíduo 16</b>	III	NA	NA	NA	<LD	NA	0,16	0,04	52,95	NA	<LD
<b>Resíduo 17</b>	II	<LD	NA	NA	0,03	<LD	<b>10,05</b>	<b>0,19</b>	22,59	<LD	0,16
<b>Resíduo 18</b>	II	NA	NA	NA	NA	NA	<b>0,54</b>	NA	NA	NA	<LD

NE: não existente

NA: não analisado

LD: limite de detecção do método analítico utilizado

NBR 10004/04: classe IIA – não inertes e classe IIB – inertes

NBR 10004/87: classe II – não inertes e classe III – inertes

O resíduo 01, denominado de borra de fosfato conforme Tabela 7, apresentou ferro com valor menor que 0,06 mg/L. No entanto, as concentrações de alumínio com 0,53 mg/L, manganês com 19,15 mg/L, sódio com 378,0 mg/L e zinco com 61,25 mg/L, estão todas acima dos limites máximos estabelecidos pela NBR 10004/87. Assim, o resíduo 01 é classificado como classe II A- não inerte.

O resíduo 02, com origem conforme Tabela 7, foi classificado como classe II A- não inerte por apresentar cromo com 2,22 mg/L e ferro com 0,80 mg/L, concentrações estas que estão acima dos limites estabelecidos pela norma de classificação. Os valores de

manganês com 0,06 mg/L e sódio com 144,0 mg/L, estão abaixo dos limites estabelecidos pela norma. Já, o alumínio com valor menor que 0,40 mg/L e o zinco com valor menor que 0,10 mg/L estão abaixo dos limites detectados pelo método analítico utilizado.

O resíduo 03 originado conforme Tabela 7, foi considerado como classe II B- inerte, pois apresentou 0,27 mg/L de cobre, 0,06 mg/L de ferro, menos de 0,03 mg/L de manganês, 69,40 mg/L de sódio e menos de 0,10 mg/L de zinco, sendo que estes valores estão todos abaixo dos limites estabelecidos pela norma.

Já com concentrações de 1,24 mg/L de manganês e 1125 mg/L de sódio, estando estas acima dos limites, o lodo galvânico denominado de resíduo 04 foi classificado como classe II A- não inerte. Este mesmo resíduo apresentou menos de 0,40 mg/L de alumínio, estando abaixo do valor detectado pela análise. Também, 0,06 mg/L de ferro e 0,54 mg/L de zinco, valores estes abaixo dos limites estabelecidos pela norma.

O resíduo 05, descrito conforme a Tabela 7, apresentou 5,90 mg/L de ferro, com este valor estando acima do limite especificado pela norma, o resíduo é classificado como classe II A- não inerte. Já, os outros metais analisados apresentaram valores abaixo dos limites, sendo eles o cobre com menos de 0,03 mg/L, o manganês com menos de 0,03 mg/L o sódio com 117,85 mg/L e o zinco com 0,17 mg/L. Ainda o alumínio com menos de 0,40 mg/L e o cromo com menos de 0,10 mg/L estão abaixo dos valores detectados pela análise.

No resíduo 06, originado conforme Tabela 7, somente o sódio com 273,4 mg/L apresentou-se acima do limite especificado pela norma, motivo este que o classifica como classe II A- não inerte. Já, o alumínio com menos de 0,40 mg/L, o cromo com menos de 0,10 mg/L, e o chumbo com menos de 0,04 mg/L estão abaixo dos limites de detecção da análise. Também, o cobre com menos de 0,03 mg/L, o ferro com menos de 0,06 mg/L, o manganês com menos de 0,03 mg/L, e o zinco com menos de 0,10 mg/L estão abaixo dos limites estabelecidos pela norma.

O resíduo 07, com composição descrita na tabela 7, é classificado como classe II A- não inerte por apresentar ferro com 0,31 mg/L e manganês com 0,57 mg/L, valores

estes acima dos limites estabelecidos pela norma. Os metais que ficaram abaixo dos limites detectados pela análise foram o alumínio com menos de 0,40 mg/L, o cromo com menos de 0,10 mg/L e o chumbo com menos de 0,04 mg/L. Já, o cobre com menos de 0,03 mg/L, o sódio com 9,78 mg/L, e o zinco com menos de 0,10 mg/L ficaram abaixo dos limites determinados pela norma.

O resíduo 08, originado conforme a Tabela 7, foi classificado como classe II A- não inerte por apresentar 0,53 mg/L de alumínio e 0,37 mg/L de ferro, valores estes que se encontram acima dos limites especificados pela norma. Já, os metais que se encontram abaixo dos limites são o bário com menos de 0,60 mg/L, o cobre com menos de 0,03 mg/L, o sódio com 24,71 mg/L, e o zinco com menos de 0,10 mg/L. O cromo com menos de 0,10 mg/L e o chumbo com menos de 0,04 mg/L estão abaixo dos limites detectados pela análise.

O resíduo 09, o qual sua origem é apresentada na Tabela 7, foi classificado como classe II A- não inerte por apresentar 0,72 mg/L de manganês, valor este acima dos limites estabelecidos pela norma. Também presentes na amostra, mas com valores abaixo dos limites, foram o cobre com menos de 0,03 mg/L, o ferro com 0,11 mg/L, o sódio com 7,99 mg/L, e o zinco com menos de 0,10 mg/L. Já o alumínio com menos de 0,40 mg/L, o cromo com menos de 0,10 mg/L e o chumbo com menos de 0,04 mg/L estão abaixo dos limites detectados pela análise.

O resíduo 10, cuja origem é apresentada na Tabela 7, foi classificado como classe II A- não inerte por apresentar 16 mg/L de alumínio, valor este que excede o limite estabelecido pela norma. No entanto, a presença de metais como cobre com 0,09 mg/L, ferro com 0,17 mg/L, manganês com menos de 0,03 mg/L, sódio com 22,74 mg/L, e zinco com menos de 0,10 mg/L, ficaram abaixo dos limites estabelecidos pela norma. Já o cromo com menos de 0,10 mg/L e o chumbo com menos de 0,04 mg/L estão abaixo dos limites detectados pela análise.

O resíduo 11, cuja composição é descrita pela Tabela 7, foi classificado como classe II A- não inerte pela presença de 0,62 mg/L de ferro em seu extrato solubilizado.

Também foram encontrados menos de 0,03 mg/L de cobre, manganês com 0,08 mg/L, sódio com 25,56 mg/L, e 1,29 mg/L de zinco, metais estes que estavam abaixo dos limites estabelecidos pela norma. Ainda, menos de 0,40 mg/L de alumínio, menos de 0,10 mg/L de cromo e menos de 0,04 mg/L de chumbo foram encontrados mas apresentaram valores abaixo dos detectados pela análise.

O resíduo 12, originado conforme mostra a Tabela 7, foi classificado como classe II A- não inerte por apresentar ferro acima do limite estabelecido pela norma com 0,36 mg/L. O alumínio com menos de 0,40 mg/L, o cromo com menos de 0,10 mg/L, e o chumbo com menos de 0,04 mg/L estavam abaixo dos valores detectados pela análise. Já, o manganês com menos de 0,03 mg/L, o sódio com 10,63 mg/L, e o zinco com menos de 0,10 mg/L, foram metais que estavam abaixo dos limites determinados pela norma, mas presentes no extrato solubilizado.

O resíduo 13, cuja origem está descrita na Tabela 7, foi classificado como classe II A- não inerte por apresentar 1,54 mg/L de ferro em seu extrato solubilizado. Já o alumínio com menos de 0,40 mg/L, o cromo com menos de 0,10 mg/L, e o chumbo com menos de 0,04 mg/L estavam abaixo dos limites detectados pela análise. Também, o manganês com 0,10 mg/L, o sódio com 18,62 mg/L, e o zinco com menos de 0,10 mg/L foram encontrados com valores abaixo dos limites estabelecidos pela norma.

O resíduo 14, originado conforme apresentado na Tabela 7, apresentou 2,02 mg/L de bário em seu extrato solubilizado, metal este encontrado acima do limite, classificando assim a amostra como classe II A- não inerte. Os metais encontrados com valores abaixo dos limites detectados pela análise foram o alumínio com menos de 0,40 mg/L, o cádmio com menos de 0,01 mg/L, o cromo com menos de 0,10 mg/L e o chumbo com menos de 0,04 mg/L. Já o cobre com menos de 0,03 mg/L, o ferro com menos de 0,06 mg/L, o manganês com menos de 0,03 mg/L, o sódio com 4,85 mg/L e o zinco com menos de 0,10 mg/L estavam abaixo dos limites determinados pela norma.

O resíduo 15, cuja origem é mostrada na Tabela 7, apresentou 1,33 mg/L de bário, como este valor está acima do limite é determinada para esta amostra classe II A-

não inerte. Os metais encontrados com valores abaixo dos limites detectados pela análise foram o alumínio com menos de 0,40 mg/L, o cádmio com menos de 0,01 mg/L, o cromo com menos de 0,10 mg/L, e o chumbo com menos de 0,04 mg/L. Já o cobre com menos de 0,03 mg/L, o ferro com menos de 0,06 mg/L, o manganês com menos de 0,03 mg/L, o sódio com 4,39 mg/L, e o zinco com menos de 0,10 mg/L estavam abaixo dos limites estabelecidos pela norma.

O resíduo 16, cuja origem é descrita na Tabela 7, é classificado como II B - inerte, por apresentar todos os metais analisados com concentrações abaixo dos limites especificados pela norma. São eles o cobre com menos de 0,03 mg/L, o ferro com 0,16 mg/L, o manganês com 0,04 mg/L, o sódio com 52,95 mg/L, e o zinco com menos de 0,10 mg/L.

O resíduo 17, originado conforme mostra a Tabela 7, foi classificada como classe II A- não inerte por apresentar, em seu extrato solubilizado, 10,05 mg/L de ferro e 0,19 mg/L de manganês. Estas concentrações se encontram acima dos limites estabelecidos pela norma, no entanto, foi detectado 0,03 mg/L de cobre, 22,59 mg/L de sódio, e 0,16 mg/L de zinco, que estão abaixo dos limites. Também, menos de 0,40 mg/L de alumínio, menos de 0,10 mg/L de cromo, e menos de 0,04 mg/L de chumbo foram encontrados com valores menores que os detectados pela análise.

O resíduo 18, cuja origem é apresentada na Tabela 7, apresentou em seu extrato solubilizado 0,54 mg/L de ferro, valor acima do limite, sendo assim, este resíduo é classificado como classe II A- não inerte. Além do metal citado, também foi detectado neste resíduo menos de 0,10 mg/L de zinco.

Pode-se observar que a maioria dos resíduos foram classificados como classe IIA, devido a presença de um ou mais parâmetros com valores acima dos limites especificados pela NBR 10004/04, norma de classificação. No entanto, apenas as amostras 03 e 16 foram classificadas como classe IIB, por apresentarem todos os valores dos parâmetros abaixo dos limites.

Comparando os limites estabelecidos pela ABNT (1987a), em vigor até novembro de 2004, e a ABNT (2004a), observa-se que dos parâmetros analisados, o bário passou de 1,0 mg/L para 0,7 mg/L, o cobre passou de 1,0 mg/L para 2,0 mg/L e o chumbo passou de 0,05 mg/L para 0,01 mg/L. De acordo com esta consideração, a alteração destes limites não significou mudança de classe para os resíduos 01, 02, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17 e 18, classificados como classe II A, pois estes não dependeram das concentrações detectadas de bário, cobre e chumbo para determinar a classe. No entanto, para os resíduos 03 e 16, os quais foram classificados como classe II B, o chumbo poderia ser o parâmetro decisivo para a confirmação ou não da classe estabelecida para estes resíduos, pois, levando-se em consideração esta possibilidade, o chumbo deveria ser analisado com limite de quantificação menor que 0,04 mg/L pelo fato de que o limite máximo passou de 0,05 mg/L para 0,01 mg/L, sendo este um valor bem menor que o limite detectado pela análise.

Na Tabela 15, observa-se que o limite máximo determinado pela NBR 10004/87 para alumínio, é de 0,20 mg/L, sendo este valor menor que 0,40 mg/L que é o mínimo detectado pela análise. Também esta verificação ocorreu para o cádmio, onde a NBR 10004/87 estabelece limite máximo de 0,005 mg/L e o limite de quantificação da análise é 0,01 mg/L, e para o cromo onde a NBR 10004/87 estabelece o limite máximo de 0,05 mg/L e o mínimo detectado pela análise é um valor maior que 0,10 mg/L. Se a classificação de algum dos resíduos dependesse dos valores obtidos para estes metais a análise deveria ser repetida com valores de detecção menores.

Na Tabela 16 estão dispostos os resultados dos parâmetros analisados no extrato solubilizado contidos nos laudos de classificação de resíduos sólidos da unidade de destinação final.

TABELA 16 – RESULTADOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS NO EXTRATO SOLUBILIZADO DESCRITOS NO LAUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, ELABORADO PELA UNIDADE DE DESTINAÇÃO FINAL

REFERÊN- CIA	CLASSE	PARÂMETROS (mg/L)														
		Al	Ba	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Na	Pb	Zn	Cloretos	Fluoreto	Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Nitra- to	Sulfato
<b>NBR10004/2004</b>	IIA ou IIB	0,20	0,70	0,005	2,0	0,05	0,30	0,10	200,0	0,01	5,0	250,0	1,5	NE	10,0	250,0
<b>NBR10004/1987</b>	II ou III	0,20	1,0	0,005	1,0	0,05	0,30	0,10	200,0	0,05	5,0	250,0	1,5	500,0	10,0	400,0
<b>LD</b>	NE	0,15	0,1	0,005	0,025	0,025	0,05	0,02	0,05	0,05	0,002	0,5	0,1	1,0	1,0	1,0
<b>Resíduo 01</b>	II	<b>0,950</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	<b>0,71</b>	<b>11,28</b>	<b>304,0</b>	<LD	<b>75,20</b>	14,75	<b>3,39</b>	<b>5000,0</b>	<b>394,60</b>	3,39
<b>Resíduo 02</b>	II	<b>4,31</b>	<LD	<LD	<LD	<b>0,91</b>	<b>6,56</b>	<b>0,73</b>	<b>915,0</b>	<LD	0,30	<b>998,89</b>	0,22	150,0	<b>13,98</b>	<b>432,3</b>
<b>Resíduo 03</b>	II	<LD	<LD	<LD	0,04	<LD	<b>2,22</b>	<b>0,37</b>	1,41	<LD	0,15	117,35	<b>2,21</b>	<b>1102,2</b>	<LD	27,9
<b>Resíduo 04</b>	II	NA	NA	NA	NA	<b>2,5</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Resíduo 05</b>	II	<b>0,36</b>	<LD	<b>0,006</b>	<LD	<LD	0,18	0,09	25,0	<b>0,42</b>	0,01	41,8	0,89	22,0	1,16	18,0
<b>Resíduo 06</b>	II	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,23	<LD	169,0	<LD	0,02	12,27	0,16	<LD	5,58	<b>480,35</b>
<b>Resíduo 07</b>	II	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<b>432,4</b>	<b>0,12</b>	34,8	<LD	0,03	4,65	0,88	56,0	<LD	6,66
<b>Resíduo 08</b>	III	0,17	<LD	<LD	<LD	<LD	0,1	0,08	17,0	<LD	0,01	56,0	0,83	83,3	5,0	50,0
<b>Resíduo 09</b>	II	<b>0,28</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	<b>0,54</b>	<b>1,42</b>	5,94	<LD	0,05	<LD	<b>3,54</b>	255,0	2,43	22,02
<b>Resíduo 10</b>	II	<b>1,61</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	<LD	18,20	<LD	0,009	<b>527,17</b>	0,54	<b>1200,0</b>	<LD	12,83
<b>Resíduo 11</b>	II	0,20	<LD	<LD	<LD	<LD	<b>1,00</b>	<b>0,18</b>	51,0	<LD	0,12	<b>559,86</b>	0,15	46,0	5,40	<b>610,30</b>
<b>Resíduo 12</b>	II	<LD	NA	NA	NA	<LD	<b>0,48</b>	<LD	17,50	<LD	<LD	<LD	0,13	NA	NA	NA
<b>Resíduo 13</b>	II	<LD	NA	NA	NA	<LD	<b>1,36</b>	<LD	28,60	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	NA	NA
<b>Resíduo 14</b>	II	<LD	<b>1,98</b>	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	3,84	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	NA
<b>Resíduo 15</b>	II	<LD	<b>1,50</b>	NA	<LD	<LD	<LD	<LD	4,36	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	NA	NA
<b>Resíduo 16</b>	II	<LD	<LD	<b>0,11</b>	0,027	<LD	<b>1,79</b>	<LD	8,03	<LD	0,29	24,94	1,05	68,60	1,61	28,69
<b>Resíduo 17</b>	II	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<b>8,84</b>	<b>0,15</b>	4,80	<LD	0,06	12,11	<b>2,03</b>	<b>560,0</b>	<b>11,54</b>	281,80
<b>Resíduo 18</b>	II	NA	NA	NA	NA	NA	<b>0,53</b>	NA	NA	NA	0,05	NA	<b>2,30</b>	NA	NA	NA

NE: não existente; NA: não analisado

LD: limite de detecção do método analítico utilizado

NBR 10004/04 (limite máximo): classe IIA – não inertes e classe IIB – inertes

NBR 10004/87 (limite máximo): classe II – não inertes e classe III – inertes



Quando é realizada a comparação das classes obtidas na Tabela 15 com as fornecidas pelos laudos de classificação da unidade de destinação final de resíduos, descritos na Tabela 16, observa-se a compatibilidade quase absoluta entre os resultados, salvo três resíduos onde a classe difere. Provavelmente, esta diferença é devida a não homogeneidade da amostra, sendo que esta pode ter sido coletada em um determinado ponto e enviado para a classificação no laboratório da unidade de destinação final, e em outro ponto para a classificação realizada pelo laboratório do IAP. Salienta-se também que a qualidade dos resultados pode ser influenciada diretamente pelos procedimentos de coleta adotados, sendo aceitável esta incompatibilidade de classificação das amostras 03, 08 e 16 com seus laudos.

Considerando a possibilidade de que a solubilização dos resíduos relacionados na Tabela 16, ocorressem no meio ambiente, pode-se verificar pelos padrões de lançamento de efluentes estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, já descritos na Tabela 14, que o extrato solubilizado do resíduo 01 com 11,28 mg/L de manganês e com 75,20 mg/L de zinco, do resíduo 02 com 0,91 mg/L de cromo, do resíduo 04 com 2,5 mg/L de cromo, do resíduo 07 com 432,4 mg/L de ferro, e também do resíduo 09 com 1,42 mg/L de manganês, estariam com valores acima dos limites para lançamento.

#### 4.2 BIOENSAIOS COM MICROCRUSTÁCEO (*Daphnia magna*) E COM BACTÉRIAS (*Vibrio fischeri*)

Os testes de toxicidade foram aplicados no extrato solubilizado das dezoito amostras de resíduos, como também em quatro coletas de drenados dos aterros classe IIA e classe IIB. Pode-se dizer que a diversidade na tipologia das amostras foi atingida, pois desejava-se ter dados de toxicidade de vários ramos diferentes do setor industrial.

Para este estudo, optou-se em realizar testes de toxicidade com o microcrustáceo *Daphnia magna* e bactéria *Vibrio fischeri*, pois estes organismos são considerados como

padrão internacional para testes de toxicidade aguda, pois os resultados obtidos em ensaios realizados no Brasil, por exemplo, podem ser comparados com os obtidos na Alemanha, além de apresentarem sensibilidade à um grande número de poluentes tóxicos. No entanto, as espécies utilizadas no Estado de São Paulo são os peixes como *Cheirodon notomelas* e *Hemigrammus marginatus* e os microcrustáceos *Daphnia similis* (CETESB, 1990b).

O Fator de Toxicidade (FT) representa o menor valor de diluição da amostra na qual não se observa mais que 10% dos organismos imóveis para microcrustáceos. Já para as bactérias, o FT representa o primeiro valor de diluição onde a inibição da luminescência é menor ou igual a 20% em relação ao controle.

Quando o resultado de toxicidade, que é dado em FT, apresentar valor maior que 1 a amostra apresenta toxicidade aguda, mas, se este valor for igual a 1 a amostra não é tóxica, pois não precisou ser diluída para não ocorrer efeito tóxico aos organismos.

Na Tabela 17 são apresentados os resultados das análises de toxicidade.

TABELA 17 - RESULTADOS DOS TESTES DE TOXICIDADE AGUDA NO EXTRATO SOLUBILIZADO

AMOSTRA	FATOR DE TOXICIDADE	
	Bactéria <i>Vibrio fischeri</i>	Microcrustáceo <i>Daphnia magna</i>
Resíduo 01	16	128
Resíduo 02	128	4
Resíduo 03	32	16
Resíduo 04	2	2
Resíduo 05	32	32
Resíduo 06	8	1
Resíduo 07	8	2
Resíduo 08	64	4
Resíduo 09	16	2
Resíduo 10	64	128
Resíduo 11	256	128
Resíduo 12	4	8
Resíduo 13	16	4
Resíduo 14	2	4
Resíduo 15	2	4
Resíduo 16	2	8
Resíduo 17	32	8
Resíduo 18	32	4

De acordo com esta análise pode-se verificar que todas as amostras apresentaram toxicidade para as bactérias, no entanto, para os microcrustáceos apenas a amostra 06 não foi considerada tóxica por apresentar FT igual a 1.

Verifica-se, também, que algumas amostras causam o efeito tóxico maior para as bactérias como os resíduos 02, 03, 06, 07, 08, 09, 11, 13, 17 e 18. Outras, como os resíduos 01, 10, 12, 14, 15 e 16, para os microcrustáceos e outras como os resíduos 04 e 05 apresentam a mesma toxicidade a ambos os organismos. Isto demonstra a diferença de sensibilidade entre os organismos bioindicadores de toxicidade.

Os dados descritos na Tabela 17 foram analisados com base na Portaria N° 017/02 da Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina – FATMA (Tabela 6), órgão fiscalizador do Estado de Santa Catarina. Utiliza-se desta Portaria porque atualmente, o Instituto Ambiental do Paraná – IAP, não possui regulamentado os limites de toxicidade para lançamento de efluentes. Ainda, para esta análise considerou-se o extrato solubilizado dos resíduos como sendo um efluente.

Comparando os resultados da Tabela 17 com os limites estabelecidos pela Portaria 017/02 da FATMA, descritos na Tabela 6, pode-se verificar quais dos extratos solubilizados dos resíduos analisados estariam com os padrões de toxicidade fora dos limites para lançamento.

O resíduo 01, originado conforme descreve a Tabela 7, de acordo com a Portaria da FATMA se enquadra na categoria de indústria metal mecânica e subcategoria de galvanoplastia. O limite máximo de toxicidade aguda, estabelecido para esta classificação, é de FT igual a 16 para a *Daphnia magna* e de 8 para *Vibrio fischeri*, sendo que em seu extrato solubilizado foi determinado pela análise FT igual a 128 para *D. magna* e 16 para *V. fischeri*. Com isso verifica-se que a amostra apresentou toxicidade acima dos limites para os dois organismos testados. Em termos de porcentagem, para a *D. magna* onde deveria ter 6,25% de efluente somente com 0,78% de efluente não ocorreu efeito significativo, e para a bactéria onde deveria ter 12,5% de efluente, constatou-se que somente com 6,25% de efluente não causaria efeito significativo.

Também se enquadrando na categoria de indústria metal mecânica e subcategoria galvanoplastia, o resíduo 04 teve em seu extrato solubilizado FT igual a 2 para *D. magna* e para *V. fischeri*. Como o limite estabelecido pela Portaria para o primeiro organismo é de FT igual a 16 e para o segundo FT igual a 8, a amostra esta dentro dos limites de toxicidade.

Os resíduos 14 e 15, diferem um do outro em seus pontos de coleta, onde o primeiro foi coletado no lastro de uma estrada de ferro e o segundo foi coletado no pátio de escórias da própria siderúrgica. No entanto, os resultados de FT em seus extratos solubilizados apresentaram-se iguais, sendo que para *D. magna* o FT foi 4 e para *V. fischeri* o FT foi de 2. Ao comparar estes resultados com os da categoria metal mecânica e subcategoria como siderurgia, onde os resíduos 14 e 15 são enquadrados, de acordo com a Portaria da FATMA, verifica-se que os valores se encontram dentro dos limites para os dois organismos testados, pois, os limites máximos de FT determinados pela Portaria, são de 4 para *D. magna* e 6 para *V. fischeri*.

Enquadra-se na categoria metal mecânica e subcategoria como metalúrgica, o resíduo 07. Para este resíduo, os valores de FT encontrados no extrato solubilizado foram de 2 para *D. magna* e de 8 para *V. fischeri*, valores estes que quando comparados com os limites determinados pela Portaria, de 4 para *D. magna* e 6 para *V. fischeri*, apresentam-se abaixo para *D. magna* e acima para *V. fischeri*.

Já o resíduo 02, se enquadra na categoria de efluentes de couro. Para a *D. magna* o limite de FT estabelecido pela Portaria e o valor de FT encontrado pela análise no extrato solubilizado foi o mesmo, sendo FT igual a 4. Mas, para a bactéria, onde o limite de FT é igual a 6, o valor encontrado pela análise foi de FT igual a 128. Assim, esta amostra apresentou-se dentro do limite quando testada com a *D. magna* e acima do limite para a bactéria *V. fischeri*. Para a bactéria, de acordo com o limite, deveria apresentar 16,66% de efluente sem causar efeito tóxico e, somente com 0,78% de efluente esse efeito foi observado.

O resíduo 03, se enquadra na categoria química, de acordo com a Portaria da FATMA. Imposto por esta, o limite de FT para *D. magna* é igual a 2 e para *V. fischeri* é igual a 4, no entanto, segundo as análises, no extrato solubilizado o FT encontrado para *D. magna* foi de 16 e para *V. fischeri* foi de 32. Então, para os dois organismos o FT foi superior aos limites estabelecidos.

Além do resíduo 03, os resíduos 10, 12 e 13 também fazem parte da categoria de indústria química. O resíduo 10 apresentou em seu extrato solubilizado FT igual a 128 para *D. magna* e 64 para *V. fischeri*, valores estes que se encontram superiores aos determinados pela Portaria para esta categoria. No caso do resíduo 12, os resultados de FT encontrados para a *D. magna* de 8 e para *V. fischeri* de 4, estão acima dos limites máximos determinados pela Portaria. E para o resíduo 13, o FT encontrado no extrato solubilizado para a *D. magna* de 4 e para *V. fischeri* de 16, também estão acima dos limites máximos.

Na categoria de indústria alimentícia, onde o limite de FT para a *D. magna* é 2 e para *V. fischeri* é 4, são enquadrados os resíduos 05, 16 e 17. O resíduo 05 apresentou em seu extrato solubilizado FT igual a 32 para *D. magna* e para *V. fischeri*, portanto, quando comparado com o limite imposto para esta categoria, os valores estão superiores para os dois organismos testados. Já para o resíduo 16, o FT encontrado no extrato solubilizado para a *D. magna* foi 8 e para *V. fischeri* foi 2, então pode-se dizer que FT está acima do limite no caso de *D. magna* e abaixo no caso de *V. fischeri*. Ainda nesta categoria, o resíduo 17 apresentou em seu extrato solubilizado FT para *D. magna* igual a 8 e para *V. fischeri* igual a 32, comparando estes valores com os limites máximos verifica-se que para os dois organismos o FT está acima.

Os resíduos 06, 08 e 18, fazem parte da categoria de efluentes da indústria têxtil, sendo que para esta categoria os limites estabelecidos são de 2 para *D. magna* e 2 para *V. fischeri*. O resíduo 06, apresentou em seu extrato solubilizado FT para *D. magna* igual a 1 e para *V. fischeri* igual a 8, valores estes que comparados com os limites estão abaixo no caso de *D. magna* e acima no caso de *V. fischeri*. No caso do resíduo 08, os valores de FT

encontrados no extrato solubilizado foram de 4 para *D. magna* e de 64 para *V. fischeri*, estando superiores aos impostos pela Portaria. Já, o resíduo 18 apresentou em seu extrato solubilizado FT para *D. magna* de 4 e para *V. fischeri* de 32, valores que se encontram acima dos limites quando comparados com a Portaria da FATMA.

O resíduo 11, se enquadra na categoria de efluentes de papel e celulose, onde os limites de FT para *D. magna* é de 2 e para *V. fischeri* é de 4, de acordo com a Portaria. No extrato solubilizado deste resíduo foram encontrados valores de FT para *D. magna* de 128 e para *V. fischeri* de 256, valores estes que se encontram acima dos limites máximos de toxicidade estabelecidos.

O resíduo 09, faz parte das categorias de efluentes não definidas, tendo como limites máximos de toxicidade para *D. magna* FT igual a 8 e para *V. fischeri* FT igual a 8. Estes valores, quando comparados com os obtidos no extrato solubilizado do resíduo, os quais foram para *D. magna* FT igual a 2 e para *V. fischeri* FT igual a 16, ficaram abaixo no caso de *D. magna* e acima no caso de *V. fischeri*.

De acordo com a Portaria 017/02 da FATMA, somente o extrato solubilizado dos resíduos 04, 14 e 15, dos dezoito analisados, estão dentro dos limites de toxicidade para lançamento.

A maioria dos resíduos analisados, nomeados como 02, 03, 06, 07, 08, 09, 11, 13, 17 e 18, demonstrou maior toxicidade para o ensaio realizado com as bactérias, devido a estes organismos apresentarem maior sensibilidade às concentrações e combinações químicas existentes nas amostras em questão, conforme observado na Figura 01.

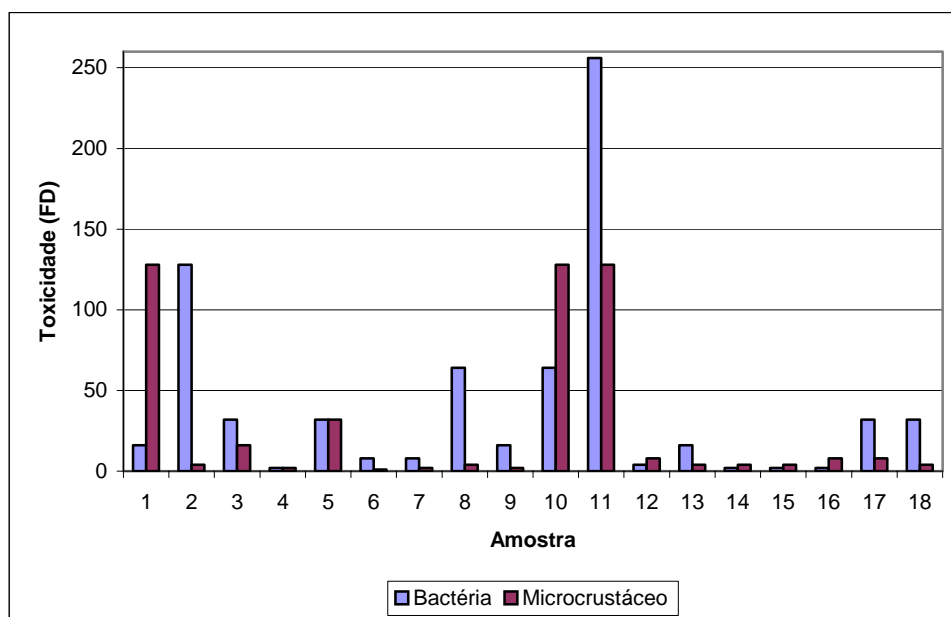


FIGURA 3 - TOXICIDADE AGUDA DE BACTÉRIAS E MICROCRUSTÁCEOS EM FUNÇÃO DAS AMOSTRAS ANALISADAS

Observa-se também que o maior efeito tóxico, para ambos os organismos testados, ocorreu no resíduo 11, originado no processo de fabricação de resina, com um fator de toxicidade de 256 para a bactéria luminescente e com um fator de toxicidade de 128 para o microcrustáceo. Isto se deve a presença de uma quantidade maior de substâncias tóxicas na amostra e a interação entre elas. Cabe ressaltar que a sensibilidade mais elevada se deu para as bactérias, comparando com a sensibilidade do outro organismo teste.

O comportamento no sistema aquático de alguns metais, como chumbo, cádmio, cobre, cromo e zinco, se traduz por acumularem-se nos sedimentos, sendo que os dois primeiros podem também adsorver-se a sólidos em suspensão (FATMA, 1999). No item 2.3.2 (Tabela 1), estão descritas as concentrações de algumas substâncias, estabelecidas pela Legislação de São Paulo, que causam efeitos tóxicos agudos a organismos aquáticos.

Na Tabela 18 estão apresentados os resultados dos testes de toxicidade aguda realizados com o drenado dos aterros classe IIA e classe IIB.

TABELA 18 - RESULTADOS DOS TESTES DE TOXICIDADE NO DRENADO DO ATERRO CLASSE IIA E CLASSE IIB

DATA DA COLETA	CONDIÇÕES DO TEMPO	FATOR DE TOXICIDADE	
		Bactéria <i>Vibrio fischeri</i>	Microcrustáceo <i>Daphnia magna</i>
13/09/04	Com chuva	256	128
16/09/04	Sem chuva	256	64
20/09/04	Com sol	256	64
24/09/04	Dia nublado	256	64

Constatou-se através dos ensaios com os drenados dos aterros que o efeito tóxico do somatório dos resíduos, onde encontram-se diferentes substâncias, é muito maior que a toxicidade individual de cada resíduo. Os efluentes se mostram bastante tóxicos para ambos os organismos testados, no entanto, as bactérias apresentaram mais sensibilidade para todas as amostras, as quais foram coletadas em datas e condições do tempo variadas.

Os drenados dos aterros classe IIA - não inertes e classe IIB - inertes, se comparados com a Portaria 017/02 da FATMA, se enquadram nas categorias de efluentes não definidas, onde ficam estabelecidos limites de toxicidade, descritos em um parágrafo único, de FT igual a 8 para *D. magna* e para *V. fischeri*. Estes drenados apresentaram para *D. magna* valores de FT igual a 128, quando coletado em dia chuvoso, e FT igual a 64 nas outras três coletas quando não chovia. Já, os valores encontrados para *V. fischeri* foram de FT igual a 256, independente da data e condições do tempo da coleta. Comparando estes valores com os limites estabelecidos pela FATMA (2002), verifica-se que todos se encontram bem superiores.

Com os resultados de toxicidade chegando à um FT igual a 256, tanto no extrato solubilizado dos resíduos quanto no drenado dos aterros, verifica-se a necessidade de estabelecer limites de toxicidade para lançamento de efluentes. Ainda, como os drenados dos aterros onde estes resíduos foram dispostos, apresentaram-se bastante tóxicos, conforme verificado pela Tabela 18, ocorre a necessidade da aplicação de tratamentos para a redução da toxicidade. O grande problema seria a tratabilidade destes drenados, pois segundo PAWLOWSKY (1994) é extremamente complicado utilizar processos biológicos diretamente para estes despejos, surgindo a necessidade de uma difícil e cara



detoxificação prévia como tratamentos físico-químicos por coagulação/floculação, carvão ativado, processos oxidativos (ozônio, ultravioleta, dióxido de cloro, etc.), processos por membranas, entre outros, para reduzir a toxicidade aguda a limites aceitáveis. Sendo estes tanto para a *D. magna* quanto para a *V. fischeri* o FT igual a 8.

Este procedimento, fará com que o custo de disposição final em aterros aumente consideravelmente. Assim, o caminho mais adequado seria minimizar a geração de drenados muito tóxicos ou limitar a toxicidade do resíduo original.

Uma das alternativas seria estabelecer padrões de toxicidade para o extrato solubilizado dos resíduos, evitando com isto que resíduos altamente tóxicos fossem dispostos no aterro classe IIA ou IIB, mas sim, no aterro classe I. Assim, diminuiria a geração e o volume de drenados muito tóxicos a serem submetidos à detoxificação, conseqüentemente baixando o custo da disposição. Então, o caminho mais adequado seria minimizar a geração de drenados muito tóxicos, sendo que para isto, a realização de bioensaios no extrato solubilizado dos resíduos, poderia ser acrescentado na ABNT (2004a), como parâmetros adicionais aos físico-químicos. Outra possibilidade seria a mudança e modernização de processos dentro das indústrias, utilizando produtos que venham a gerar resíduos menos tóxicos, o que ocasionaria a geração de extrato solubilizado com baixa toxicidade, evitando assim a detoxificação dos drenados e o aumento nos custos para dispor o resíduo.

Caso este drenado contaminasse uma área, a toxicidade poderia ser detectada com a aplicação de bioensaios. Segundo KNIE e LOPES (2004), um aterro industrial na Alemanha foi submetido a um monitoramento, para averiguar uma suspeita de contaminação, envolvendo análises do solo e da água subterrânea através de bioensaios.

Ao tratar de discutir os resultados encontrados no presente trabalho não somente com a Portaria 017/02 da FATMA, mas também com dados de trabalhos já realizados neste assunto, LOPES (2005) esclarece que “não existe praticamente nenhum trabalho realizado nesta área, ou seja, dados de toxicidade no solubilizado dos resíduos sólidos industriais como também nos drenados de aterros industriais”.

Ainda, acrescentam NIEWEGLOWSKI e SILVA (1999) que não é possível correlacionar o efeito tóxico de uma substância individual com um efluente que apresente em sua composição esta substância, pois a toxicidade é uma resposta da interação sinérgica ou antagônica das substâncias, e cada amostra é praticamente única em sua composição, sendo que o efeito tóxico medido refere-se a interação das inúmeras substâncias existentes na amostra.

## 5 CONCLUSÃO

Foi concluído que o objetivo principal do trabalho foi atingido, pois foi possível conhecer o nível tóxico, conforme apresentado na Tabela 17, do extrato solubilizado dos resíduos, de diversos ramos industriais, classificados como classe IIA e IIB, onde o fator de toxicidade variou de 1 a 128 para *D. magna* e de 2 a 256 para *V. fischeri*.

Ainda, pela elevada toxicidade encontrada no drenado dos aterros classe IIA e IIB com fator de toxicidade de 256 para *V. fischeri* e variando de 64 a 128 para *D. magna*, conforme apresentado na Tabela 18, onde ocorre uma mistura de resíduos contendo substâncias potencialmente tóxicas, verificou-se que a toxicidade deste não pode ser comparada com a toxicidade de um poluente individual, pois o efeito tóxico refere-se a ações antagônicas e sinérgicas das substâncias.

Assim, deverá ser estabelecido limites de toxicidade para cada extrato solubilizado individual, de acordo com seu ramo industrial, como também para os drenados dos aterros de resíduos como se fossem substâncias novas e únicas em sua composição.

Também, ficou demonstrado através das análises de lixiviação (Tabela 13) dos resíduos 02, 03, 06, 07, 09, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, e de solubilização (Tabela 16) dos resíduos 03, 05, 06, 08, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, que efluentes líquidos que atendem aos padrões de lançamento, não estão isentos de causar efeito tóxico, ao corpo receptor, conforme apresentou a Tabela 17, para os resíduos 01, 02, 03, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 16, 17 e 18.

As informações obtidas pelo estudo de extratos solubilizados usando análises de metais e ensaios de toxicidade reforçam a idéia de que esses devem ser utilizados em conjunto para garantir o nível de segurança quanto ao padrão de qualidade das águas, disposto na Resolução CONAMA 357/05, considerando que as substâncias presentes nos efluentes não causariam efeito tóxico no meio aquático, também, de acordo com a Portaria 017/02 da FATMA, somente o extrato solubilizado dos resíduos 04, 14 e 15, dos

dezoito analisados, estão dentro dos limites de toxicidade para lançamento, para os dois organismos bioindicadores de toxicidade (*D. magna* e *V. fischeri*).

Como a legislação exige controle, e através dos dados de FT, apresentados na Tabela 18, constatou-se a existência da toxicidade bastante elevada no drenado do aterro classe IIA ou IIB, onde os resíduos são dispostos. Então, ocorre a necessidade de se tratar os drenados já que estes poderão causar efeito tóxico ao corpo receptor.

Em termos de sensibilidade, os dois organismos teste utilizados se mostraram praticamente similares, sendo que a bactéria *Vibrio fischeri* foi mais sensível para 10 amostras de extrato solubilizado (02, 03, 06, 07, 08, 09, 11, 13, 17 e 18) e para todas as amostras de drenados, e a *Daphnia magna* para 06 amostras de extrato solubilizados (01, 10, 12, 14, 15 e 16). Nos extratos solubilizados dos resíduos 04 (FT=2) e 05 (FT=32), a sensibilidade foi a mesma para os dois organismos teste.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Em função do exposto anteriormente, algumas recomendações consideradas importantes estão citadas a seguir:

Rever os critérios de classificação dos resíduos sólidos industriais, incorporando testes de bioensaios, com pelo menos dois organismos bioindicadores de toxicidade, no extrato solubilizado. Onde, para todo resíduo de classe II A - não inerte e classe II B - inerte, limites máximos de toxicidade seriam estabelecidos, podendo para isso ter como base a Portaria 017/02 da FATMA. Assim, se o resíduo apresentasse valores de FT na faixa dos limites estabelecidos, seria classificado como classe II A ou classe II B, no entanto, se os valores de FT fossem superiores aos limites determinados, o resíduo seria classificado como classe I - perigoso, sendo que somente o drenado deste aterro passaria por tratamento de detoxificação. Com isto, seria reduzida a geração e o volume de drenados muito tóxicos, os quais necessitariam de tratamentos de decomposição de toxicidade, sendo que estes, são complicados e possuem custos bastante elevados;

Como sugestões para futuras pesquisas poderiam ser realizados um número maior de análises, para confirmar os resultados de FT característicos de cada ramo industrial, e para melhor estabelecer possíveis padrões limitantes. Também, estabelecer limites de toxicidade para os drenados dos aterros realizando análises em um grande número de amostras de drenados.

Além da possibilidade de determinar limites de toxicidade para outros organismos teste, como peixes e algas, como também realizar bioensaios com organismos bioindicadores de toxicidade característicos dos ecossistemas paranaenses.

## 7 REFERÊNCIAS

ALVES, E. F. C. *Avaliação da capacidade de redução de toxicidade de um reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo aplicado no tratamento de dejetos de suínos*. Florianópolis, 1999. 35f. Dissertação – Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina.

Agenda 21. *Seminários Macrorregionais da Agenda 21 – Paraná: Os desafios por uma cidadania planetária*. Curitiba, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004: Classificação de Resíduos*. Rio de Janeiro: 1987a. p. 63.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004: Classificação de Resíduos*. Rio de Janeiro: 2004a. p. 71.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10005: Lixiviação de Resíduos - Procedimento*. Rio de Janeiro: 1987b. p. 07.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10005: Lixiviação de Resíduos - Procedimento*. Rio de Janeiro: 2004b. p. 16.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10006: Solubilização de Resíduos - Procedimento*. Rio de Janeiro: 1987c. p. 02.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10006: Solubilização de Resíduos - Procedimento*. Rio de Janeiro: 2004c. p. 03.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10007: Amostragem de Resíduos - Procedimento*. Rio de Janeiro: 1987d. p. 25.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10007: Amostragem de Resíduos - Procedimento*. Rio de Janeiro: 2004d. p. 21.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10157: Aterros de Resíduos Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação – Procedimento*. Rio de Janeiro: 1987e. p. 22.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11175/NB 1265: Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos – Padrões de Desempenho – Procedimento*. Rio de Janeiro:1990. p. 05.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12713: Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Aguda – Método de Ensaio com daphnia spp (Cladocera, Crustácea)*. Rio de Janeiro: 2004e. p. 17.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13221: Transporte de Resíduos*. Rio de Janeiro: 2003. p. 09.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13894: Tratamento no Solo (landfarming) - Procedimento*. Rio de Janeiro: 1997a. p. 10.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13896: Aterros de Resíduos não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação – Procedimento*. Rio de Janeiro: 1997b. p. 17.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8418 / NB 842: Apresentação de Projetos de Aterros de Resíduos Industriais Perigosos - Procedimento*. Rio de Janeiro: 1983. p. 09.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419 / NB 843: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos - Procedimento*. Rio de Janeiro: 1992. p. 09.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9897: Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores – Procedimento*. Rio de Janeiro: 1987f. p. 23.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9898: Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores - Procedimento*. Rio de Janeiro: 1987g. p. 34.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Metais e Sólidos: Aspectos Legais dos Resíduos de Estação de Tratamento de água. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

BASSOI, L. J.; NIETO, R.; TREMAROLI, D. *Implementação de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB, 1990. p. 7.

BEHRENS, A. Avaliação da toxicidade aguda (FD) em efluentes industriais – galvanoplastia. Curitiba, 1995. 37f. Monografia (Bacharelado em Biologia) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

BERTOLETTI, E. Tratabilidade e toxicidade de efluentes industriais. In: *Revista Engenharia Sanitária*, v. 28, n. 1, p. 38-41, 1989.

BOND, R. G.; STRAUB, C. P. *Handbook of environmental control : solid waste*. Cleveland: Editora CRC, 1973.

BONNER, T. et al. *Hazardous waste incineration engineering* – Monsanto Research Corporation, New Jersey, U. S. A., 1981.

BRAGA, M. C. B. *Surface Water Quality Modeling of Mercury Contamination*. Londres, 2001. 182f. PhD Thesis – Imperial College of Science, Technology and Medicine.

BRASIL. Legislação Federal – projetos de lei. Legislação brasileira de resíduos sólidos e ambiental correlata. Brasília: Senado Federal, 2001, v.4, p.582.

BRASIL. Lei Federal n. 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n. 8001 de março de 1990, que modificou a Lei n. 7990 de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial*. Brasília, 08 jan. 1997.

BRASIL. Lei Estadual n. 11520, de 03 de agosto de 2000. Institui o código estadual do meio ambiente do estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. *Diário Oficial*, Rio Grande do Sul, 03 ago. 2000.

BRASIL. Lei Estadual n. 12.493, de 22 de janeiro de 1999. Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e adota outras providências. *Diário Oficial*, Curitiba, 05 fev. 1999. p. 9.

COMISSÃO PERMANENTE DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA – PRONOL. *NT – 213.R-4: Critérios e Padrões para Controle da Toxicidade em Efluentes Líquidos Industriais*. Rio de Janeiro: 1990. p. 07.



COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. *Ensaio biológicos com organismos aquáticos e sua aplicação*. São Paulo: CETESB, 1990a. p. 50.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. *Procedimentos para utilização de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB, 1990b. p. 17.

CONAMA 357/05. *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

COSTA, A. B. da.; LIMA, L. R.; LOBO, E. A.; BRENTANO, D. M. Avaliação Física, Química e Toxicológica do Sedimento produzido em Estações de Tratamento de Água (ETAs) para Abastecimento Público. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville. *Anais...* Joinville: ABES, 2003. 1 CD-ROM.

CULLINANE, M. et. al. *Handbook for stabilization/ solidification of hazardous waste*. Mississippi. EPA, 1986.

ECKENFELDER, W. W. Toxicity reduction and priority pollutant removal for industrial wastewaters. In: *Revista Water Sewage and Effluent*, v. 9, n. 2, p. 13-19, 1989.

FRELLO, C. E. *Avaliação da toxicidade aguda do agrotóxico carbofuran utilizando reativos biológicos: Poecilia reticulata e Daphnia magna*. Florianópolis, 1998. 96f. Dissertação - Mestrado em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA - FATMA. *Relevância de parâmetros de qualidade das águas aplicados à águas correntes. Parte I*. Florianópolis: FATMA/GTZ, 1999. p. 108.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA - FATMA. *Portaria nº 017/02 de 18 de abril de 2002*. Limites Máximos de Toxicidade Aguda para Efluentes de Diferentes Origens.

GOLDSTEIN, E. G. Testes de toxicidade de efluentes industriais. In: *Revista Ambiente*, v. 2, n. 2, p. 33-38, 1988.

GOLDSTEIN, E. G.; ZAGATTO, P. A. Toxicidade em águas do estado de São Paulo. In: *Revista Ambiente*, v. 5, n. 1, p. 13-20, 1991.

GROKE, M. P. Resíduos sólidos industriais em São Paulo. In: *Revista Tratamento de Superfície*, n. 89, p. 50-51, 1998.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. *Manual de métodos para avaliação de toxicidade*. Curitiba: IAP, 1997. p. 101.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. *Procedimento técnico para determinação de metais*. Curitiba: IAP, 2002. p. 07.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Fresh Water Algal Growth Inhibition Test with Scenedesmus subspicatus and Selenastrum capricornutum*. ISO 6341: Geneve, 1989.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Water Quality Determination of the Acute Lethal Toxicity of Substances to a Freshwater Fish Brachydanio rerio (Hamilton-Buchanan) (teleostei, Cyprinidae) – P1 – Statistic Method*. ISO-Draft International Standard-ISO/DIN – 7346-1. Geneve, 1993a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Water Quality-Determination of the Mobility of Daphnia magna Straus (Cladocera, Cruatácea)*. ISO 6341. Geneve, 1993b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Determination of the inhibitory Effect of Water Samples on the Light Emission of Vibrio fischeri (Luminescent bacteria test)*. Documento N134, ISO/TC 147/SC 5,10. Geneve, Mar. 1996.

JACOMINO, V. M. F. et al. *Controle Ambiental das Indústrias de Ferro-Gussa em Altos-Fornos a Carvão Vegetal*. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002. p. 181-197.

KIMBALL, K. D.; LEVIN, S. A. Limitations of laboratory bioassays: The need for ecosystem – level testing. In: *BioScience*, v. 35, n. 1, p. 165-171, 1988.

KNIE, J. L. W.; LOPES, E. W. B. *Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações*. Florianópolis: FATMA / GTZ, p. 289, 2004.

LEITE, M. B. *Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição*. Porto Alegre, 2001. 236f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LOPES, E. W. B. *Interpretação de resultados: trabalhos realizados com aplicação de bioensaios em extratos solubilizados de resíduos e drenados de aterros*. Mensagem recebida por: [ewblopes@fatma.sc.gov.br](mailto:ewblopes@fatma.sc.gov.br) em: 15 maio 2005.

MALONE, P. G. et. al. *Guide to the disposal of chemically stabilized and solidified waste*. Mississippi. EPA, 1972.

MATHEUS, P. J. & BENTLEY, J. *Characterization, collection treatment and final disposal of toxic sludges*. São Paulo, CETESB PROCOP, 1983.

McKEAN, W. Pulp and paper industry. In: GUTHRIE, F. E. & PREEY, J. J. *Introduction to environmental toxicology*. North Holland, Elsevier, 1980.

METCALF, L. & EDDY, H. P. *Wastewater engineering treatment in reuse*. 4.ed. Mcgraw Hill: Boston, 2003.

MONITOR. Controlling toxicity: An integrated strategy. In: *Journal WPCF*, v. 58, n. 1, p. 6-17, 1986.

MORIARTY, F. *Ecotoxicology: The Study of Pollutants in Ecosystems*. Academic Press: New York, 1983.

NIEWEGLOWSKI, A. M. A.; SILVA, E. M. de F. M. da. Importância dos Parâmetros Ecotoxicológicos em Estudos Ambientais. In: *MANUAL DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS*, Curitiba: SUREHMA, 1999. p. 06.

PARANÁ. *Secretaria de estado do desenvolvimento urbano e do meio ambiente. Coordenadoria de estudos e defesa do meio ambiente*. Coletânea de Legislação Ambiental Federal e Estadual. Curitiba: 1990.

PAVAN, L. A. F. et al. *Resíduos Sólidos Industriais*. São Paulo: CETESB, p. 182, 1985.

PAWLOWSKY, U. *Tratabilidade de Efluentes de Fabricação de Herbicidas*. Curitiba, 1994. 318f. Tese para Concurso Público de Professores Titular do Controle de Poluição Hídrica Industrial – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

RAND, G. M.; PETROCELLI, S. R. *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Methods and Applications*. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1985.

REALI, M. A. P. Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs. In: REALI, M. A. P. (coord.) *Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de ETA*. Rio de Janeiro: ABES / PROSAB, p. 21-39, 1999.

REGINATTO, V. *Avaliação do ensaio de toxicidade com a alga Scenedesmus subspicatus para o estudo de efluentes industriais*. Campinas, 1998. 138f. Tese de Doutorado – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas.

ROCCA, A. C. C. et al. *Resíduos Sólidos Industriais*. São Paulo: CETESB, 1993.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - SMA. Resolução SMA-3, de 22 de fevereiro de 2000. O Secretário do Meio Ambiente, em face da deliberação da Diretoria Plena da CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental que aprovou a necessidade de implementar o controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no Estado de São Paulo. *Diário Oficial*, São Paulo, 25 fev. 2000. p. 24.

STANDARD METHODS: *For the Examination of Water and Wastewater*. 20. ed. USA: American Public Health Association, APHA, 1998.

TEIXEIRA, J. M. V. Tecnologias limpas. In: *Revista Tratamento de Superfície*, n. 97, p. 08, 1999.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Test Methods for Evaluating Solid Waste: SITE Field Manual Physical/Chemical Methods*. EPA.SW-846. Office of Solid Waste and Emergency Response: Washington – DC, 1986.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Stabilization / Solidification of CERCLA and RCRA Wastes - Physical Tests, Chemical Testing Procedures, Technology Screening, and Field Activities*. EPA/625/6-89/022 Office of Research and Development: Washington, DC, 1989.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Handbook: Treatment of Hazardous Wastes-Contaminated Soils*. EPA/540/2-90/002. Risk Reduction Engineering Laboratory: Cincinnati – OH, 1990.

VALLE, C. E. *Como se Preparar para as Normas ISO 14000: Qualidade Ambiental - O Desafio de Ser Competitivo Protegendo o Meio Ambiente*. São Paulo: Editora Pioneira, 2000.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E.; GOLDSTEIN, E. G. Toxicidade de efluentes industriais da bacia do rio Piracicaba. In: *Revista Ambiente*, v. 2, n. 1, p. 39-42, 1988.

ZAGATTO, P. A. et al. Avaliação de toxicidade em sistema de tratamento biológico de afluentes líquidos. In: *Revista SABESP*, n. 166, p. 01-06, 1992.

ZULAUF, W. E. *Resíduos Sólidos Industriais*. In: SEMINÁRIO DE UTILIDADES, 2., 1977, São Paulo. CETESB-ABLP. p. 07.

ANEXO 1 – LIMITE MÁXIMO DE POLUENTE NO EXTRATO LIXIVIADO  
E EXTRATO SOLUBILIZADO CONFORME A NBR 10004/87

CONCENTRAÇÃO – LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO OBTIDO NO TESTE DE LIXIVIAÇÃO  
 CONFORME A LISTAGEM Nº 7 (ANEXO G) DA NBR 10004/87

POLUENTE	LIMITE MÁXIMO NO LIXIVIADO (mg/l)
Arsênio	5,0
Bário	100,0
Cádmio	0,5
Chumbo	5,0
Cromo total	5,0
Fluoreto	150,0
Mercúrio	0,1
Prata	5,0
Selênio	1,0
Aldrin	0,003
Clordano	0,03
DDT	0,1
Dieldrin	0,003
Endrin	0,02
Epóxi-heptacloro	0,01
Heptacloro	0,01
Hexaclorobenzeno	0,001
Lindano	0,3
Metoxicloro	3,0
Pentaclorofenol	1,0
Toxafeno	0,5
Organofosforados e carbamatos	10,0

FONTE: NBR 10004/87 – CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS

NOTA: A listagem nº7 da NBR 10004/87 não se restringem apenas aos poluentes citados nesta tabela.

PADRÕES PARA O TESTE DE SOLUBILIZAÇÃO  
CONFORME A LISTAGEM Nº 8 (ANEXO H) DA NBR 10004/87

POLUENTE	LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO SOLUBILIZADO (mg/l)
Arsênio	0,05
Bário	1,0
Cádmio	0,005
Chumbo	0,05
Cianeto	0,1
Cromo total	0,05
Fenol	0,001
Fluoreto	1,5
Merúrio	0,001
Nitrato (mg N/l)	10,0
Prata	0,05
Selênio	0,01
Aldrin	$3,0 \times 10^{-5}$
Clordano	$3,0 \times 10^{-4}$
DDT	$1,0 \times 10^{-3}$
Dieldrin	$3,0 \times 10^{-5}$
Endrin	$2,0 \times 10^{-4}$
Epóxi-heptacloro	$1,0 \times 10^{-4}$
Alumínio	0,2
Cloreto	250,0
Cobre	1,0
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	500,0
Ferro	0,3
Manganês	0,1
Sódio	200,0
Surfactantes (tensoativos)	0,2
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /l)	400,0
Zinco	5,0

FONTE: NBR 10004/87 – CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS

NOTA: A listagem nº8 da NBR 10004/87 não se restringem apenas aos poluentes citados nesta tabela.



ANEXO 2 – LIMITE MÁXIMO DE POLUENTE NO EXTRATO LIXIVIADO  
E EXTRATO SOLUBILIZADO CONFORME A NBR 10004/04

CONCENTRAÇÃO – LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO OBTIDO NO TESTE DE LIXIVIAÇÃO  
CONFORME A NBR 10004/04

POLUENTE	LIMITE MÁXIMO NO LIXIVIADO (mg/l)
Arsênio	1,0
Bário	70,0
Cádmio	0,5
Chumbo	1,0
Cromo total	5,0
Fluoreto	150,0
Mercúrio	0,1
Prata	5,0
Selênio	1,0
Aldrin	0,003
Clordano	0,02
DDT	0,2
Dieldrin	0,003
Endrin	0,06
Epóxi-heptacloro	0,003
Heptacloro	0,01
Hexaclorobenzeno	0,001
Lindano	0,2
Metoxicloro	2,0
Pentaclorofenol	0,9
Toxafeno	0,5

FONTE: NBR 10004/04 – CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS

NOTA: Os limites máximos no extrato lixiviado descritos na NBR 10004/04 não se restringem para apenas os poluentes citados nesta tabela.

PADRÕES PARA O TESTE DE SOLUBILIZAÇÃO  
CONFORME A NBR 10004/04

POLUENTE	LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO SOLUBILIZADO (mg/l)
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Cádmio	0,005
Chumbo	0,01
Cianeto	0,07
Cromo total	0,05
Fenol	0,01
Fluoreto	1,5
Merúrio	0,001
Nitrato (mg N/l)	10,0
Prata	0,05
Selênio	0,01
Aldrin	$3,0 \times 10^{-5}$
Clordano	$2,0 \times 10^{-4}$
DDT	$2,0 \times 10^{-3}$
Endrin	$6,0 \times 10^{-4}$
Epóxi-heptacloro	$3,0 \times 10^{-5}$
Alumínio	0,2
Cloreto	250,0
Cobre	2,0
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	Não consta
Ferro	0,3
Manganês	0,1
Sódio	200,0
Surfactantes (tensoativos)	0,5
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> /l)	250,0
Zinco	5,0

FONTE: NBR 10004/04 – CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS

NOTA: Os limites máximos no extrato solubilizado descritos na NBR 10004/04 não se restringem para apenas os poluentes citados nesta tabela.