



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

**Centro de Ciências e Tecnologias**

**Faculdade de Engenharia**

**Ubiratan Amorim da Silva**


**Implantação de células experimentais para a avaliação de  
codisposição de resíduos sólidos de serviço de saúde e resíduos  
sólidos domiciliares: resultados preliminares**

Rio de Janeiro

2011

Ubiratan Amorim da Silva

**Implantação de células experimentais para a avaliação de codisposição de  
resíduos sólidos de serviço de saúde e resíduos sólidos domiciliares:  
resultados preliminares**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Controle da Poluição Urbana e Industrial

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniele Maia Bila

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juacyara Carbonelli Campos

Rio de Janeiro

2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC / B

S586 Silva, Ubiratan Amorim da.  
Implantação de células experimentais para a avaliação de  
codisposição de resíduos sólidos de serviço de saúde e  
resíduos sólidos domiciliares: resultados preliminares /  
Ubiratan Amorim da Silva. - 2011.  
102 f.

Orientadora: Daniele Maia Bila.  
Coorientadora: Juacyara Carbonelli Campos  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio  
de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Resíduos sólidos hospitalares – Teses. 2. Resíduos  
sólidos domiciliares – Teses. 3. Engenharia Ambiental. I.  
Bila, Daniele Maia. II. Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro. III. Título.

CDU 502:628.4[032+046]

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Ubiratan Amorim da Silva

**Implantação de células experimentais para a avaliação de codisposição de  
resíduos sólidos de serviço de saúde e resíduos sólidos domiciliares:  
resultados preliminares**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Controle da Poluição Urbana e Industrial

Aprovado em: 24 de fevereiro de 2011.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. João Alberto Ferreira  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniele Maia Bila (Orientadora)  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juacyara Carbonelli Campos (Coorientadora)  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fabiana Valéria da Fonseca Araújo  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2011

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar a Deus, aos meus mestres e amigos espirituais e à minha família.

À Dra. Daniele Maia Bila e a Dra Juacyara Carbonelli Campos pela orientação, profissionalismo e competência.

Ao Dr. João Alberto Ferreira pelas sugestões e colaboração durante a implantação do projeto

A equipe do Laboratório de Engenharia Sanitária da UERJ: Rita de Cássia Pinheiro Fernandes, João Antônio da Costa Pires, Jair Cardoso Lima, Rafael Gundim Silva e Anderson Silva Netto pela paciência e colaboração na realização das análises físico – químicas e toxicológicas dos efluentes.

À Companhia Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB e à Diretoria Industrial, e em particular aos profissionais André Marques, José Henrique Penido Monteiro, Mauro Wanderley Lima e João Carlos Xavier de Brito.

Ao pessoal do Centro de Pesquisas Aplicadas da COMLURB e da Usina de Jacarepaguá: Antônio Fernando Novaes de Magalhães (Gerente de Departamento da IGP), Bianca Ramalho Quintaes (Gerente de Divisão da IPM), João Carlos Ribeiro (Gerente de Divisão da IPF), Carlos Augusto da Costa e Silva, Marcos André Giovannini, Eliseu Ferreira da Costa, André Luiz Moreira Henriques, Ruy Magalhães Martins dos Santos, Wandercy Pedro da Silva, Wilson Barbosa Abreu, Alencar Lúcio de Oliveira Sobrinho, Temístocles Correa de Oliveira, Jonas Escossia da Veiga e a toda a equipe que conosco lutou e se esforçou para a implementação de todo o trabalho.

A Sérgio de Oliveira Cordeiro pelos trabalhos gráficos e de editoração.

A Carla Assad pelos dados fornecidos e aos demais funcionários da Divisão de Coleta Hospitalar da COMLURB.

Ao corpo docente e a toda turma de 2009, bem como ao pessoal administrativo do PEAMB e a todos que direta e indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho, o meu muito obrigado.

## RESUMO

SILVA, Ubiratan Amorim da. *Implantação de células experimentais para a avaliação de codisposição de resíduos sólidos de serviço de saúde e resíduos sólidos domiciliares: resultados preliminares*. 2011. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

O tratamento e o destino final dos resíduos sólidos de serviços de saúde são assuntos que têm gerado controvérsias no tocante às alternativas tecnológicas disponíveis e aos riscos para a saúde pública e ao meio ambiente. O presente trabalho consistiu na caracterização físico-química e toxicológica de lixiviados de resíduos de serviços de saúde e de lixo domiciliar coletados pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) na cidade do Rio de Janeiro e teve por objetivo subsidiar a discussão com relação à questão da necessidade de tratamento e disposição final diferenciada para os resíduos de serviços de saúde. Os resultados obtidos ilustram uma biodegradabilidade não tão elevada dos lixiviados das Células experimentais C1, C2 e C3, onde C1 contém 100% de RSD, C2 100% de RSS e C3 98% de RSD em mistura com 2% de RSS. Percolados oriundos de aterros sanitários novos se caracterizam normalmente por valores elevados de biodegradabilidade. No entanto, os resultados mostram um baixo nível de biodegradabilidade dos lixiviados das Células experimentais C1, C2 e C3. Os parâmetros físico-químicos analisados indicam que os microorganismos encontram-se ainda na fase de adaptação ao meio. Os resultados mostraram mais similaridades do que diferenças no lixiviado gerados da disposição de RSD, RSS e sua codisposição durante um período de 60 dias de operação das células experimentais.

Palavras-chave: Codisposição; Resíduos sólidos de serviços de saúde; Resíduos sólidos domiciliares; Parâmetros físico-químicos e toxicológicos.

## ABSTRACT

The treatment and final disposal of hospital solid wastes have been subjects of controversies related to the available technological alternatives and to the risks to the environment and public health. The present work evaluates the physico-chemical and toxicological characterization of leachate of healthcare solid wastes (HSW) and municipal household solid wastes (MSW) collected by the municipal service of waste collection (Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB), in Rio de Janeiro city and the aim was to support the discussion about the need of a differential treatment and final disposal of hospital wastes. The solid wastes were disposed as follows: C1 contains 100% of MSW, C2 contains 100% of HSW and C3 contains 98% of MSW mixed with 2% of de HSW. Leachates generated from new sanitary landfills are characterized by high levels of biodegradability. However, the results showed a low biodegradability level in the leachate from the experimental cells C1, C2 and C3. The physico-chemical results also indicate that microorganisms are still at the stage of adaptation to the environment. The results has shown more similarities than differences in the leachate generated from the disposal of MSW, HSW and their codisposal during a period of 60 days of experimental cells operation.

Keywords: Codisposition; Healthcare solid waste; Household solid waste; Physico-chemical and toxicological parameters.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Série Histórica da Matéria Orgânica Putrescível dos RSD da AP 4.....	29
Figura 2	– Série Histórica do Papel/ papelão dos RSD da AP 4.....	29
Figura 3	– Fases de estabilização dos resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros. Fonte: Pohland e Harper (1986).....	46
Figura 4	– Inter-relações entre Toxicologia Ambiental e diversas áreas de estudo. .	47
Figura 5	– Área destinada à construção das células experimentais.....	54
Figura 6	– Controle de moscas através de painéis de atratividade.....	57
Figura 7	– Concepção das células de aterro sanitário .....	58
Figura 8	– Fase inicial. Disposição de resíduos de construção civil.....	58
Figura 9	– Formação do talude e das bermas.....	59
Figura 10	– Face interna das células .....	59
Figura 11	– Acomodação dos resíduos de construção civil sob a forma de pirâmides.....	60
Figura 12	– Vista panorâmica das células - Preparação para recebimento da manta	60
Figura 13	– (a) e(b) – Diferentes vistas da colocação da manta de PEAD sobre as células .....	61
Figura 14	– Cobertura da manta PEAD com argila .....	61
Figura 15	– Valeta para drenagem com tubo “canaflex” revestida por BIDIM.....	62
Figura 16	– Torneira para coleta das amostras.....	63
Figura 17	– Finalização das valetas com depósito das britas .....	63
Figura 18	– (a) e (b) – Diferentes vistas da implantação do sistema de drenagem de gases.....	64
Figura 19	– Caminhão estacionado na balança .....	65
Figura 20	– Caminhão vazando resíduo no solo.....	66
Figura 21	– Operação com a retro-escavadeira.....	66
Figura 22	– Colocação de argila nas laterais da célula .....	67
Figura 23	– Panorâmica das células após finalização.....	67
Figura 24	– Principais estações pluviométricas localizadas no entorno da área experimental .....	68
Figura 25	– Mesa de caracterização gravimétrica.....	70



Figura 26 – Composição física dos RSS.....	70
Figura 27 – <i>Danio rerio</i> , organismo-teste utilizado nos experimentos de toxicidade .....	73
Figura 28 – Rompimento da manta de PEAD devido aos fortes ventos. Deslocamento da argila que aplainava as células devido à força da água das chuvas. ....	74
Figura 29 – Manta de PEAD danificada (à esquerda) e manta nova (à direita) .....	75
Figura 30 – Estiramento da manta sobre a superfície das células.....	75
Figura 31 – Ancoramento da manta com a argila.....	76
Figura 32 – Caracterização Gravimétrica dos RSD das Células C1 e C3.....	79
Figura 33 – Caracterização Gravimétrica dos RSS das Células C2 e C3 .....	80
Figura 34 – Aspecto do percolado gerado na Célula C1, 15 dias após o fechamento. ....	82
Figura 35 – Média dos índices pluviométricos mensais das estações mais próximas da área onde está localizado o experimento.....	83

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos segundo a norma ABNT NBR 10004/2004.....	26
Quadro 2 – Controle de biossegurança ocupacional .....	56
Quadro 3 – Periodicidade da coleta de acordo com o tipo de análise .....	69
Quadro 4 – metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros físico-químicos.....	71
Quadro 5 – Composição física dos RSS das 6 amostras coletadas da massa de resíduos .....	81
Quadro 6 – Resultado da CL(50) das amostras de 15 e 47 dias para a Célula C1 ....	86
Tabela 1 – Municípios, total e com serviço de manejo de resíduos sólidos, por unidade de destino.....	23
Tabela 2 – Classificação do Lixiviado pela idade do aterro .....	42
Tabela 3 – Distribuição dos resíduos sólidos de serviço de saúde (RSS) e dos resíduos sólidos domiciliares (RSD) nas células.....	64
Tabela 4 – Identificação dos caminhões, roteiro e conteúdo destinado à C1 .....	77
Tabela 5 – Identificação dos caminhões, roteiro e conteúdo destinado à C2 .....	78
Tabela 6 – Identificação dos caminhões, roteiro e conteúdo destinado à C3 .....	79
Tabela 7 – Vazão do percolado gerado na Célula C1, C2 e C3 por dia.....	82
Tabela 8 – Caracterização físico-química da Célula C1.....	84
Tabela 9 – Unidade de toxicidade das amostras com tempo de operação de 15 e 47 dias.....	87
Tabela 10 – Parâmetros físico-químicos da Célula C2 .....	87
Tabela 11 – Parâmetros físico-químicos da Célula C3 .....	89
Tabela 12 – Concentração de metais pesados no lixiviado das células C1, C2 e C3 Célula 1 de acordo com a idade .....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AP	Área de Planejamento de Saúde
ASTM	American Society for Testing and Materials
BRN	Bactérias Redutoras de Nitrogênio
BRS	Bactérias Redutoras de Enxofre
C1	Célula Experimental 1
C2	Célula Experimental 2
C3	Célula Experimental 3
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DZ	Diretriz
EPI	Equipamento de Proteção Industrial
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Meio Ambiente
IPP	Instituto Pereira Passos
Kb	quilo base (1000pb)
mL	mililitro
NBR	Norma Brasileira
NT	Norma Técnica
NTK	Nitrogênio Total de Kjeldahl
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
pH	Potencial de Hidrogenação
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada

ST	Sólidos Totais
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
13	<b>OBJETIVOS</b> .....	14
2	<b>REVISÃO E BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
2.1	Definições de resíduos sólidos .....	16
2.2	Aspectos legais e normalizadores dos resíduos sólidos no Brasil .....	17
2.3	Panorama dos resíduos sólidos urbanos no Brasil .....	21
2.4	Conceito de aterro sanitário .....	24
2.5	Classificação dos Resíduos Sólidos.....	25
2.6	Os Resíduos Sólidos Domiciliares.....	28
2.6.1	Caracterização dos resíduos sólidos domiciliares .....	30
2.7	Os Resíduos Sólidos de Serviço de Saúde (RSS) .....	32
2.8	Formas de Tratamento dos RSS.....	36
2.8.1	Incineração.....	36
2.8.2	Autoclavação.....	37
2.8.3	Micro-ondas.....	38
2.8.4	A codisposição de RSS e de RSD.....	38
2.9	Lixiviado de Aterro.....	40
2.9.1	Características.....	40
2.9.2	Formas de tratamento .....	41
2.10	A degradação microbiológica dos aterros .....	42
2.11	Toxicologia Ambiental e Ecotoxicologia .....	46
2.11.1	Toxicologia aquática.....	49
2.11.1.1	Testes de Toxicidade Aguda.....	50
2.11.1.2	Testes de Toxicidade Crônica.....	51
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	54
3.1	Implantação das células experimentais.....	54
3.1.1	Área.....	54
3.1.2	Controles Operacionais .....	55
3.1.2.1	De risco ambiental.....	55
3.1.2.2	De biossegurança ocupacional .....	55

3.1.2.3	De vetores .....	57
3.1.3	Etapas iniciais da construção .....	57
3.1.4	Sistema de impermeabilização de base .....	60
3.1.5	Sistema de drenagem de lixiviado.....	62
3.1.6	Sistema de drenagem de gases .....	63
3.1.7	Conteúdo das células .....	64
3.1.8	Espalhamento e compactação dos resíduos sólidos na célula .....	65
3.2	Análises realizadas.....	68
3.2.1	Vazão do lixiviado gerado .....	68
3.2.2	Coleta das amostras.....	68
3.2.3	Caracterização gravimétrica e composição física dos RSD .....	69
3.2.4	Caracterização gravimétrica e composição física dos RSS .....	70
3.2.5	Caracterização físico-química do lixiviado.....	71
3.2.6	Toxicologia .....	72
3.2.6.1	Determinação do organismo de teste.....	72
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
4.1	Implantação das células .....	74
4.2	Sistemas de drenagem.....	76
4.3	Conteúdo das células .....	77
4.4	Caracterização gravimétrica dos RSD.....	79
4.5	Composição física dos RSS .....	80
4.6	Coleta e vazão do lixiviado.....	81
4.7	Caracterização físico-química do lixiviado.....	83
4.7.1	Características físico-químicas do lixiviado da Célula C1 .....	83
4.7.1.2	Toxidade com lixiviado utilizando Danio rerio.....	86
4.7.1.2.1	Ensaio de toxidade da amostra de lixiviado da Célula C1 com tempo de operação de 15 dias e de 47 dias.....	86
4.7.2	Características físico-químicas do lixiviado da Célula C2 .....	87
4.7.2	Características físico-químicas do lixiviado da Célula C3 .....	89
4.7.3	Metais.....	90
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	92
	REFERÊNCIAS .....	93

## INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da atualidade é a problemática do resíduo urbano. Junta-se a isto, o expressivo crescimento da geração dos resíduos sólidos nas áreas urbanas, notadamente em países em desenvolvimento. Mudanças em suas características físicas e químicas foram observadas ao longo do tempo, as quais são decorrentes dos modelos de desenvolvimento adotados e de alterações no comportamento nos padrões de consumo. O crescimento populacional e a intensidade da industrialização são fatores que contribuem para o aumento da produção de resíduos sólidos. A população mundial está crescendo em ritmo acelerado e no Brasil, o quadro não é diferente.

A produção de resíduos sólidos está ligada diretamente ao desenvolvimento da região. Quanto mais desenvolvida, sobretudo quanto à industrialização, maior o volume e a massa dos resíduos e dos dejetos de todo o tipo. Existem fatores que também contribuem para este aumento, tais como hábitos e costumes da população, densidade demográfica, entre outros.

O potencial poluidor e os riscos para a saúde humana desses resíduos necessitam de definições e caracterizações adequadas para que sejam adotadas soluções tecnológicas que estejam desvinculadas de interesses comerciais e que sejam condizentes com as diferentes realidades dos municípios brasileiros.

## 1 OBJETIVOS

A preocupação com os problemas ambientais relacionados aos resíduos sólidos e seu destino final tem gerado uma demanda crescente por ações que contemplem a proteção à saúde humana, a preservação do meio ambiente e o controle da poluição.

No tocante aos resíduos de serviços de saúde, e em particular à fração potencialmente infectante desses resíduos (lixo biológico), as alternativas existentes atualmente para o tratamento mostram-se onerosas e de execução técnica complexa. Esse assunto tem gerado discussões polêmicas quanto aos riscos que esses resíduos podem representar para a saúde pública e o meio ambiente, à necessidade ou não de seu tratamento diferenciado, às alternativas tecnológicas disponíveis e aos altos custos envolvidos.

Por força da legislação, por preconceitos da população e por interesses comerciais é cada vez maior a pressão no sentido da inativação desses resíduos por métodos tais como incineração, autoclavação e microondas. Por outro lado, diversos pesquisadores apontam para inexistência de fatos, excetuando-se os perfuro cortantes, que comprovem sua maior periculosidade em relação aos resíduos domiciliares.

Em função disso e da realidade sanitária e economicamente precária da grande maioria dos municípios brasileiros, diversos profissionais consideram desnecessária a inativação desses resíduos, geralmente realizada por processos dispendiosos, inapropriados e muitas vezes geradores de poluição. Outros recomendam a disposição conjunta de resíduos de serviços de saúde e de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.

No mundo inteiro, com algumas poucas exceções, os aterros representam a principal destinação dos resíduos sólidos urbanos, sendo o meio mais importante para se tratar resíduos sólidos de maneira adequada (Monteiro et al., 2006). As alternativas propostas em substituição aos aterros sanitários já, há muitos anos, vêm sendo estudadas e discutidas, mas até hoje não se encontrou opção que apresentasse melhor relação custo/benefício.

Embora esta seja uma questão não-resolvida, os países desenvolvidos adotam uma política cautelosa e consideram que esses resíduos exigem tratamento



especial. A recomendação de incineração dos resíduos, ou de parte deles, é uma constante. No Brasil e em diversos países do terceiro mundo, as propostas de gerenciamento para os RSS têm-se fundamentado em padrões do primeiro mundo.

Acompanhando essa tendência, e baseando-se principalmente nos princípios da precaução e da prevenção, a legislação brasileira vem determinando medidas e ações para tratamento e destinação dos RSS através de resoluções editadas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), com ênfase para as Resoluções ANVISA RDC nº 306 (BRASIL, 2004), que dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de RSS, e CONAMA nº 358 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos RSS.

O potencial poluidor e os riscos para a saúde humana desses resíduos necessitam de definições e caracterizações adequadas para que sejam adotadas soluções tecnológicas que estejam desvinculadas de interesses comerciais e que sejam condizentes com as diferentes realidades dos municípios brasileiros.

O presente trabalho tem como objetivo geral a proposta de efetuar a caracterização físico – química e toxicológica de lixiviados de resíduos de serviços de saúde (RSS) e de resíduos sólidos domiciliares (RSD) codispostos em célula experimentais de aterros sanitários, visando a obtenção de subsídios para a discussão da necessidade ou não de tratamento e disposição final diferenciados para resíduos de serviços de saúde e como objetivos específicos: analisar diferentes parâmetros físico- químicos para confrontá-los com os parâmetros toxicológicos, visando verificar possíveis influências no potencial poluidor do lixiviado, avaliar os aspectos quantitativos e qualitativos do processo de codisposição de resíduos sólidos urbanos e resíduos sólidos de serviço de saúde, estudar as interações ocorridas no processo de codisposição, avaliar a eficiência do processo de codisposição enquanto alternativa de destinação de resíduos sólidos urbanos e resíduos de serviço de saúde.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo faz uma revisão bibliográfica abordando vários aspectos com relação aos resíduos objetos deste estudo, da definição ao gerenciamento, passando por formas de tratamento e disposição bem como pelas características microbiológicas e físico-químicas, entre outros.

### 2.1 Definições de resíduos sólidos

O Dicionário Aurélio Buarque de Holanda adota a seguinte definição: "lixo é tudo aquilo que não se quer mais e se joga fora; coisas inúteis, velhas e sem valor".

A Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT, por sua vez, define o lixo como sendo os "restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar no estado sólido, semi-sólido ou líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional".

Os termos "lixo" e "resíduos sólidos" são geralmente empregados indistintamente por autores e publicações. Dessa forma, resíduo sólido ou simplesmente "lixo" é todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta, em qualquer recipiente destinado a este ato. Vale destacar que essa característica inservível do lixo é relativa, tendo em vista a possibilidade de reaproveitamento daquilo que já não apresenta nenhuma serventia para quem o descarta, como matéria-prima para um novo produto ou processo (IBAM, 2001).

A NBR 10004 da ABNT (Brasil, 2004) define como resíduos sólidos os resíduos nos estados sólido ou semi-sólido, que resultem de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Segundo a Resolução Nº 358 do CONAMA (Brasil, 2005) os Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) são aqueles provenientes de qualquer unidade que execute

atividades de natureza médico-assistencial humana ou animal, aqueles provenientes de centros de pesquisa, desenvolvimento ou experimentação na área de farmacologia e saúde, medicamentos e imunoterápicos vencidos ou deteriorados, aqueles provenientes de necrotérios, funerárias e serviços de medicina legal e aqueles provenientes de barreiras sanitárias .

De acordo com Eigenheer (2002), não há consenso quando se busca definir o que é lixo e como classificá-lo e que não há uma definição aceitável para os Resíduos de Serviços de Saúde, termo introduzido pela Organização Mundial da Saúde em 1995 para incluir os diversos tipos de estabelecimentos de assistência à saúde além dos hospitais. E, citando Andrade (1975), ressalta que o termo Lixo Hospitalar surgiu em 1959 como sendo o conjunto de resíduos sólidos resultantes da atividade do hospital, definição que inclui o lixo domiciliar produzido no hospital, que constitui a grande maioria, além daquele produzido pelos processos de diagnóstico (exames), terapêutica (tratamento) e imunização.

## **2.2 Aspectos legais e normalizadores dos resíduos sólidos no Brasil**

A questão dos resíduos sólidos passou a ser matéria constitucional a partir da promulgação da Constituição Federal em 1988 (BRASIL, 1988).

No seu artigo 22, inciso IV, determina que compete à União legislar sobre: águas, energia, jazidas, minas e outros recursos minerais, populações indígenas e atividades nucleares de qualquer natureza.

Em seu artigo 23, a Constituição Federal confere à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios competência para proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas.

O artigo 24 dá competência à União, aos Estados e ao Distrito Federal para legislar sobre conservação, defesa do meio e dos recursos naturais, proteção ao meio ambiente e controle da poluição. O artigo 30 atribui aos Municípios, entre outras questões, competência para legislar sobre assuntos de interesse local e suplementar a legislação federal e a estadual no que couber.

Dessa forma compete ao poder municipal a prestação do serviço de limpeza pública, de caráter essencial, que inclui varrição, coleta, transporte e o destino final dos resíduos sólidos gerados pela comunidade local, com vistas à manutenção da saúde pública e à preservação ambiental (BRASIL, 2001).

Pela primeira vez, a legislação brasileira abordou a questão dos resíduos sólidos através da Lei Federal nº 2.312 (Brasil, 1954) que introduziu, no seu artigo 12 como diretrizes que a coleta, o transporte e o destino final do lixo deveriam processar-se em condições que não trouxessem inconvenientes à saúde e ao bem estar públicos. Com a publicação do Código Nacional de Saúde em 1961, essas diretrizes foram confirmadas no artigo 40 (BRASIL, 1961).

Posteriormente, o Ministério do Interior editou a Portaria nº 53, de 01/03/79, que dispõe sobre o controle dos resíduos sólidos, provenientes de todas as atividades humanas, como forma de prevenir a poluição do solo, do ar e das águas. Esta Portaria, que foi um marco para o controle de resíduos sólidos no Brasil, sejam eles de natureza industrial, domiciliar ou de serviços de saúde, determina que os resíduos sólidos de natureza tóxica, bem como os que contêm substâncias inflamáveis, corrosivas, explosivas, radioativas e outras consideradas prejudiciais, devem sofrer tratamento ou acondicionamento adequado no local de produção e nas condições estabelecidas pelo órgão estadual de controle. No inciso X determina também que os resíduos sólidos ou semi-sólidos de qualquer natureza não devem ser colocados ou incinerados a céu aberto, tolerando-se apenas, entre outros aspectos, a incineração de resíduos sólidos ou semi-sólidos de qualquer natureza, a céu aberto, em situações de emergência. Foi a primeira legislação federal a abordar os resíduos hospitalares indicando a obrigatoriedade de incineração dos mesmos.

A Resolução CONAMA nº 6 (Brasil, 1991) estabeleceu critérios para desobrigação da incineração de resíduos ou qualquer outro tratamento de queima dos resíduos sólidos provenientes dos estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos ressalvados os casos previstos em lei e acordos internacionais.

Ainda na esfera federal, outras legislações merecem destaque: a Resolução CONAMA nº 5 de 05/08/93, a Resolução CONAMA nº 358 (Brasil, 2005) e a Resolução ANVISA RDC nº 33 (BRASIL, 2003).

A Resolução CONAMA nº 5 (Brasil, 1993) dispõe sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos oriundos dos serviços de saúde, portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários e estabelece procedimentos mínimos para gerenciamento de resíduos sólidos com vistas a preservar a saúde e a qualidade do meio ambiente. Entre outros aspectos destaca-se nesta resolução: a definição de resíduos sólidos, a classificação dos resíduos gerados em estabelecimentos de saúde em quatro

grupos (biológicos, químicos, radioativos e comuns), a elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos pelos estabelecimentos de saúde e a co-responsabilidade do gerador com relação ao transporte, tratamento e destino final dos RSS. Essa resolução possibilita a utilização do aterro sanitário como forma de destinação final de RSS e considera como métodos de tratamento a esterilização a vapor e a incineração desde que dentro de um controle de emissão de gases.

A Resolução CONAMA nº 5 (Brasil, 1993) recomenda a destruição dos materiais enquadrados nos grupos A e B, através de incineração ou esterilização a vapor, de forma a anular suas características físicas, químicas e biológicas; para os resíduos radioativos do grupo C o cumprimento das normas do CNEN (Conselho Nacional de Energia Nuclear) e para os demais materiais do grupo D a disposição em aterros sanitários.

A Resolução CONAMA nº 358 (Brasil, 2005) que veio substituir a CONAMA nº 283 (BRASIL, 2001), dispõe sobre o tratamento e disposição final dos resíduos de serviços de saúde, alterou e complementou os procedimentos contidos na Resolução CONAMA nº 5 (Brasil, 1993). Vale destacar como exigências desta resolução: a definição pelos órgãos integrantes do Sistema Nacional de Meio Ambiente e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária quanto aos procedimentos operacionais a serem utilizados, o Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde, o enquadramento dos efluentes líquidos provenientes dos estabelecimentos de saúde às diretrizes estabelecidas pelos órgãos ambientais competentes, a obrigatoriedade do tratamento dos RSS através de sistemas, instalações e equipamentos devidamente licenciados pelos órgãos ambientais e submetidos a monitoramento periódico, apoiando a formação de consórcios, o tratamento dos resíduos do grupo A (infectantes), o tratamento e a destinação final específicos para os resíduos do grupo B (especiais) e a co-responsabilidade do fabricante ou importador de quimioterápicos e outros medicamentos vencidos, alterados, interditados, parcialmente utilizados ou impróprios para consumo, no que tange ao manuseio e transporte dos resíduos com risco químico. Vale ressaltar ainda, que cabe ao responsável legal do estabelecimento gerador de RSS a responsabilidade pelo gerenciamento de seus resíduos desde a geração até a disposição final de forma a atender aos requisitos ambientais e de saúde pública,

sem prejuízo da responsabilidade civil, solidária, penal e administrativa de outros sujeitos envolvidos, em especial os transportadores e depositários finais.

A Resolução RDC ANVISA nº 306 (Brasil, 2004), publicada inicialmente por meio da ANVISA RDC nº 33 (Brasil, 2003) dispõe sobre o Regulamento Técnico para Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde – RSS, define como geradores de RSS todos os serviços que prestem atendimento à saúde humana e animal, incluindo os prestadores de serviço que promovam os programas de assistência domiciliar; serviços de apoio à preservação da vida, indústrias e serviços de pesquisa na área de saúde, hospitais e clínicas, serviços ambulatoriais de atendimento médico e odontológico, serviços de acupuntura, tatuagem, serviços veterinários destinados ao tratamento da saúde animal, serviços de atendimento radiológico, de radioterapia e de medicina nuclear, serviços de tratamento quimioterápico, serviços de hemoterapia e unidades de produção de hemoderivados, laboratórios de análises clínicas e de anatomia patológica, necrotérios e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento e serviços de medicina legal, drogarias e farmácias, inclusive as de manipulação, estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde, unidades de controle de zoonoses, indústrias farmacêuticas e bioquímicas, unidades móveis de atendimento à saúde, e demais serviços relacionados ao atendimento à saúde que gerem resíduos perigosos.

A ANVISA nº 306 (Brasil, 2004) submeteu-se a um processo de harmonização das normas federais dos Ministérios do Meio Ambiente por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente/ CONAMA e da saúde através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária/ ANVISA referentes ao gerenciamento de RSS. O encerramento dos trabalhos da Câmara Técnica de Saúde, Saneamento Ambiental e Gestão de Resíduos do CONAMA originaram a revisão da Resolução CONAMA nº 283 (Brasil, 2001) como resultado de mais de um ano de discussões no Grupo de Trabalho. Este documento embasou os princípios que conduziram a revisão da RDC ANVISA nº 33 (BRASIL, 2003).

Além disso, vale ressaltar que havendo conflito entre as normas ambientais e de saúde pública a questão é resolvida pela aplicação da norma mais restritiva, ou seja, neste caso, pelas Resoluções do CONAMA (BARBOSA, 2003).

Para o Município do Rio de Janeiro, encontra-se em vigor, a Lei Nº 3.273 (Brasil, 2001) que dispõe sobre a Gestão do Sistema de Limpeza Urbana no

Município do Rio de Janeiro e a NT 42-60-01 (Brasil, 2003), da Companhia Municipal de Limpeza – COMLURB, que estabelece os procedimentos para segregação na fonte, acondicionamento, estocagem, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos de serviços de saúde (RSS) gerados no Município do Rio de Janeiro.

De acordo com Formaggia (1988) apud Cussioli (2000), a legislação brasileira sobre resíduos sólidos sempre pecou pela falta de objetividade e sincronismo entre as diversas fases que compõem o sistema (acondicionamento, transporte, armazenamento, tratamento e destino final), além de permitir a existência de lacunas e ambigüidades no que tange as responsabilidades do setor público e privado. Talvez esse fato deva-se à falta de cultura legislativa na área de resíduos sólidos, diferentemente do que acontece com outros setores do saneamento como o de recursos hídricos, por exemplo.

Para Rutala et al. (1992) e Burke (1994), a legislação dos países desenvolvidos, que trata de forma diferenciada os resíduos infecciosos hospitalares e prioriza a incineração como forma de tratamento desses resíduos, é consequência do receio da população, da desconfiança em relação às instituições públicas, da abordagem equivocada da mídia, de interesses comerciais e da falta de compreensão no tocante aos mecanismos de transmissão dos agentes relacionados com as doenças.

A legislação brasileira determina medidas e ações para tratamento e destinação de RSS, entretanto, ela se reveste de inadequações em relação aos cenários econômico e epidemiológico atuais, o que leva à impossibilidade de cumprimento pela grande maioria dos municípios (ZANON, 1992).

### **2.3 Panorama dos resíduos sólidos urbanos no Brasil**

Um dos grandes desafios da atualidade é a problemática do resíduo urbano. Junta-se a isto, o expressivo crescimento da geração dos resíduos sólidos nas áreas urbanas, notadamente em países em desenvolvimento. Mudanças em suas características físicas e químicas foram observadas ao longo do tempo, as quais são decorrentes dos modelos de desenvolvimento adotados e de alterações no comportamento nos padrões de consumo. O crescimento populacional e a intensidade da industrialização são fatores que contribuem para o aumento da

produção de resíduos sólidos. A população mundial está crescendo em ritmo acelerado e no Brasil, o quadro não é diferente.

A produção de resíduos sólidos está ligada diretamente ao desenvolvimento da região. Quanto mais desenvolvida, sobretudo quanto à industrialização, maior o volume e a massa dos resíduos e dos dejetos de todo o tipo. Existem fatores que também contribuem para este aumento, tais como hábitos e costumes da população, densidade demográfica, entre outros.

A lei 12.305 (Brasil, 2010) que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, incumbe ao Distrito Federal e aos Municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nos respectivos territórios, sem prejuízo das competências de controle e fiscalização dos órgãos federais e estaduais do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA), bem como da responsabilidade do gerador pelo gerenciamento de resíduos. Do mesmo modo, a Constituição Federal Brasileira (Artigo 30, inciso V) confere aos municípios a competência de organizar e prestar diretamente ou sob o regime de concessão ou permissão os serviços públicos de interesse local, aí incluídas as tarefas de limpeza pública e de disposição final dos resíduos sólidos urbanos. Essa prestação de serviços pode ser realizada pela própria Prefeitura Municipal ou ser concedida/permitida. Neste último caso, a Prefeitura Municipal é responsável pelo pagamento às empresas prestadoras de serviços, com base no número de toneladas coletadas. O gerenciamento eficiente dos resíduos sólidos urbanos é ponto fundamental para que se estabeleça um uso mais racional e sustentável do solo e do meio ambiente.

Segundo a mais recente Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizada em 2008 (IBGE, 2010), dos 5.562 municípios brasileiros que apresentam serviço de manejo de resíduos sólidos, 50,5% (2.810) utilizam os vazadouros a céu aberto (lixões) como unidade de destino dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos; 0,2% (14) utilizam vazadouros em áreas alagadas ou alagáveis; 22,5% (1.254) utilizam os aterros controlados; 27,7% (1.540) utilizam os aterros sanitários; 3,8% (211) utilizam as usinas de compostagem de resíduos orgânicos; 11,6% (643) utilizam as unidades de triagem de resíduos recicláveis; 0,6% (34) utilizam as unidades de tratamento por



incineração e 2,4% (134) utilizam outra forma de destinação. Observa-se que alguns municípios apresentam mais de um tipo de unidade de destinação de resíduos sólidos. Na Tabela 1 estão anotados os municípios brasileiros com serviço de manejo de resíduos sólidos de acordo com a unidade de destino (IBGE, 2010).

Tabela 1 – Municípios, total e com serviço de manejo de resíduos sólidos, por unidade de destino

Grupos de tamanho dos municípios e densidade populacional	Municípios									
	Total	Com serviço de manejo de resíduos sólidos								
		Total	Unidade de destino dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos							
			Vazadouro a céu aberto (lixão)	Vazadouro em áreas alagadas ou alagáveis	Aterro controlado	Aterro sanitário	Unidade de compostagem de resíduos orgânicos	Unidade de triagem de resíduos recicláveis	Unidade de tratamento por incineração	Outra
<b>Total</b>	<b>5.564</b>	<b>5.562</b>	<b>2.810</b>	<b>14</b>	<b>1.254</b>	<b>1 540</b>	<b>211</b>	<b>643</b>	<b>34</b>	<b>134</b>
Até 50.000 habitantes e densidade menor que 80 hab./km <sup>2</sup>	4 511	4 509	2 402	11	1 005	1 098	166	470	18	111
Até 50.000 habitantes e densidade maior que 80 hab./km <sup>2</sup>	487	487	241	-	91	159	15	64	5	8
Mais de 50.000 a 100.000 habitantes e densidade menor que 80 hab./km <sup>2</sup>	148	148	84	2	43	39	4	21	1	4
Mais de 50.000 a 100.000 habitantes e densidade maior que 80 hab./km <sup>2</sup>	165	165	41	-	41	92	5	29	3	4
Mais de 100.000 a 300.000 habitantes e densidade menor que 80 hab./km <sup>2</sup>	39	39	19	-	11	14	1	5	1	-
Mais de 100.000 a 300.000 habitantes e densidade maior que 80 hab./km <sup>2</sup>	135	135	15	1	35	85	10	29	2	4
Mais de 300.000 a 500.000 habitantes	43	43	4	-	16	24	4	9	2	1
Mais de 500.000 a 1.000.000 habitantes	22	22	3	-	7	16	-	8	1	1
Mais de 1.000.000 habitantes	14	14	1	-	5	13	6	8	1	1

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Apesar do elevado percentual de municípios que possui vazadouros a céu aberto, no Brasil e no mundo inteiro, com algumas poucas exceções, os aterros representam a principal destinação dos resíduos sólidos urbanos, sendo o meio mais importante para se tratar resíduos sólidos de maneira adequada (Monteiro et al., 2006). As alternativas propostas em substituição aos aterros sanitários já, há muitos anos, vêm sendo estudadas e discutidas, mas até hoje não se encontrou opção que apresentasse melhor relação custo/benefício.

Dessa forma, por ser considerado o método sanitário mais simples de destinação final de resíduos sólidos, os aterros, quer controlados quer sanitários,

exigem cuidados especiais e técnicas específicas a serem seguidas, desde o preparo da área até sua operação e monitoramento. Sendo uma das técnicas mais antigas utilizadas pelo homem para descarte de seus resíduos, os aterros sanitários são considerados como obras de engenharia.

#### 2.4 Conceito de aterro sanitário

A Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) NBR 8419 (Brasil) 1992, assim conceitua um aterro sanitário:

Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à 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.

Em outras palavras, aterro sanitário é um equipamento urbano de infraestrutura, integrante de um sistema de engenharia sanitária e ambiental, destinado à disposição final e tratamento dos resíduos sólidos, de forma a permitir que os mesmos sejam confinados sob o solo, e que os líquidos e gases resultantes das reações químicas que resultem dos processos de decomposição sejam devolvidos ao meio ambiente com o mínimo de impacto.

Um aterro sanitário deve conter a drenagem de efluentes líquidos percolados (lixiviado), drenagem de gases que possibilite a coleta do biogás, de drenagem de águas pluviais, monitoramento ambiental, controle de entrada de resíduos, de operação e de fechamento do aterro sanitário. Pode-se destacar na operação de um aterro sanitário o controle na entrada e pesagem do veículo, a descarga dos resíduos sólidos, espalhamento, a compactação dos resíduos sólidos e o cobrimento diário com uma camada de solo. Ainda são construídas lagoas de estabilização, ou outro equipamento para o tratamento de lixiviado, como forma de evitar maiores danos ao meio ambiente. O rendimento dos equipamentos e a experiência de seus agentes operadores são fatores preponderantes, no sentido de se obter melhor compactação e aproveitamento de espaço, com consequências positivas a um aumento de vida útil do aterro sanitário. Deve ser elaborado um plano para futura desativação do empreendimento e para o reúso da área.

## 2.5 Classificação dos Resíduos Sólidos

As formas mais usuais de classificação dos resíduos sólidos são quanto à natureza física, à origem e ao risco à saúde pública e de contaminação do meio ambiente (IBAM, 2001).

Essa variedade de classificação se deve à heterogeneidade na constituição dos resíduos sólidos decorrentes do tipo de atividade. Isso permitiu o surgimento de classificações mais específicas e adotadas pelas instituições públicas ou privadas de acordo com seu interesse.

Quanto à Natureza Física, os resíduos podem ser (IBAM, 2001):

- **Resíduo Úmido** é constituído pela matéria orgânica presente no resíduo, como restos de comida, folhas de árvores, alimentos estragados e outros;
- **Resíduo Seco** é constituído pela fração dos demais componentes do resíduo, tais como os materiais recicláveis e rejeitos inertes.

Quanto aos riscos à saúde pública e de contaminação do meio ambiente, obedece-se à ABNT NBR 10004 (Brasil, 2004), que trata da classificação dos resíduos sólidos quanto à sua periculosidade, a fim de garantir segurança no manuseio e em relação ao seu destino final. Segundo a norma, para saber o grau de periculosidade do resíduo, basta avaliá-lo segundo cinco critérios: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. O primeiro passo é conhecer as propriedades físicas, químicas e/ou biológicas intrínsecas nos resíduos gerados e identificar o processo ou atividade que lhes deu origem. Munido destas informações, comparam-se os constituintes dos seus resíduos com as tabelas contendo todos os resíduos e substâncias que causem riscos, que são os anexos disponibilizados pela norma. Com base no Quadro 1 obtido a partir desta norma, é possível enquadrá-lo em alguma das classes. Caso não seja possível o enquadramento, ou seja, quando a constituição do resíduo é desconhecida, a sua concentração deverá ser avaliada por intermédio de ensaios técnicos, tais como:

- ABNT NBR 10005: Trata-se do teste de lixiviação de resíduos;
- ABNT NBR 10006: Trata-se do teste de solubilização de resíduos;
- ABNT NBR 10007: Trata-se da amostragem de resíduos.

Os anexos destes testes mostram o limite superior e inferior deste resíduo a fim de enquadrar em umas das três classes.

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos segundo a norma ABNT NBR 10004/2004

<b>Classe</b>	<b>Subdivisão</b>	<b>Classificação</b>	<b>Definição</b>
I	Não possui	Perigoso	Se o resíduo se enquadrar em pelo menos um dos critérios de periculosidade, ele será considerado um risco à saúde pública ou ao meio ambiente.
II	IIA	Resíduo não perigoso não inerte	São aqueles que não se enquadram como classe I e classe IIB. Podem apresentar as propriedades: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Estão incluídos os resíduos que apresentaram seus constituintes solubilizados em concentração superior ao anexo G, ao ser submetido aos testes indicados pela norma.
	IIB	Resíduo não perigoso inerte	São os resíduos que apresentaram seus constituintes solubilizados em concentração inferior ao anexo G, ao ser submetido aos testes indicados pela norma.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 10004/2004.

De acordo com a sua fonte, ou seja, a atividade que o gerou, definem-se as suas características e o agente responsável desde a geração até o seu destino. A importância desta classificação é permitir que o responsável escolha o processo industrial, tratamento, aproveitamento e/ou sua destinação final, de forma adequada e segura.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), os resíduos sólidos têm a seguinte classificação quanto à origem:

- resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;

- resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- resíduos sólidos urbanos: os resíduos domiciliares e os resíduos de limpeza urbana;
- resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os resíduos de limpeza urbana, os resíduos de serviços públicos de saneamento básico, os resíduos de serviço de saúde, os de construção civil, e os de serviço de transporte;
- resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os resíduos de limpeza urbana;
- resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

E quanto à periculosidade:

- resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

Observa-se que no caso dos resíduos especiais, existem ainda os resíduos radioativos, que não foram incluídos nesta classificação, cuja responsabilidade fica a cargo do Conselho Nacional de Energia Nuclear – CNEN.

## 2.6 Os Resíduos Sólidos Domiciliares

A avaliação dos resíduos sólidos domiciliares, particularmente quanto à gravimetria, é útil para, em cada região da cidade, avaliar os percentuais dos componentes recicláveis; verificar o teor de matéria orgânica; o percentual de produtos eletro-eletrônicos; o peso específico e o teor de umidade. Com estes dados, pode-se estudar, em cada bairro, a conveniência da separação dos resíduos recicláveis; a possibilidade de aproveitamento da matéria orgânica para produção de composto; as diversas alternativas de destino final, como incineração, aterros e outras, além de permitir adequado dimensionamento dos veículos e equipamentos.

Desde 1981, a Gerência de Pesquisas Aplicadas da Companhia Municipal de Limpeza Urbana vem realizando a caracterização dos resíduos sólidos domiciliares coletados pela COMLURB no município do Rio de Janeiro. A série histórica resultante dos estudos realizados durante todos esses anos permite avaliar e monitorar com maior precisão a evolução do resíduo e de seus componentes (COMLURB, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009). Dessa forma, a Gerência de Pesquisas Aplicadas reúne os resultados gerados a partir de duas pesquisas distintas: a caracterização gravimétrica e a caracterização microbiológica dos resíduos sólidos domiciliares coletados.

Analisando-se a série histórica para o Rio de Janeiro como um todo, as análises de caracterização gravimétrica demonstraram que, no primeiro trimestre de 2009, em relação aos últimos cinco anos, houve um considerável acréscimo do percentual de papel, papelão e plástico no resíduo domiciliar coletado, provavelmente resultante da diminuição do preço de mercado destes recicláveis, o que desestimulou a separação, pelos numerosos catadores, depósitos e cooperativas (COMLURB, 2009). A mesma pesquisa concluiu que, ocorreu diminuição do peso específico, do teor de umidade e da matéria orgânica (Figura 1), nesse período, possivelmente devido ao maior percentual de papeis, papelões e plásticos na massa do resíduo (Figura 2).

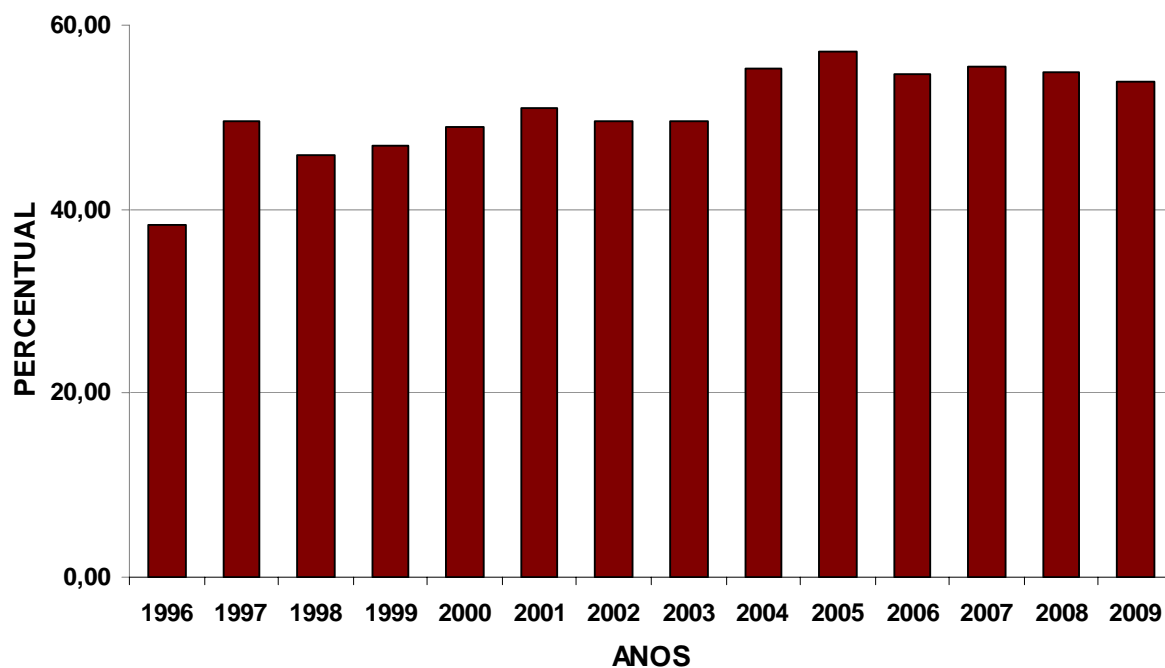


Figura 1 – Série Histórica da Matéria Orgânica Putrescível dos RSD da AP 4

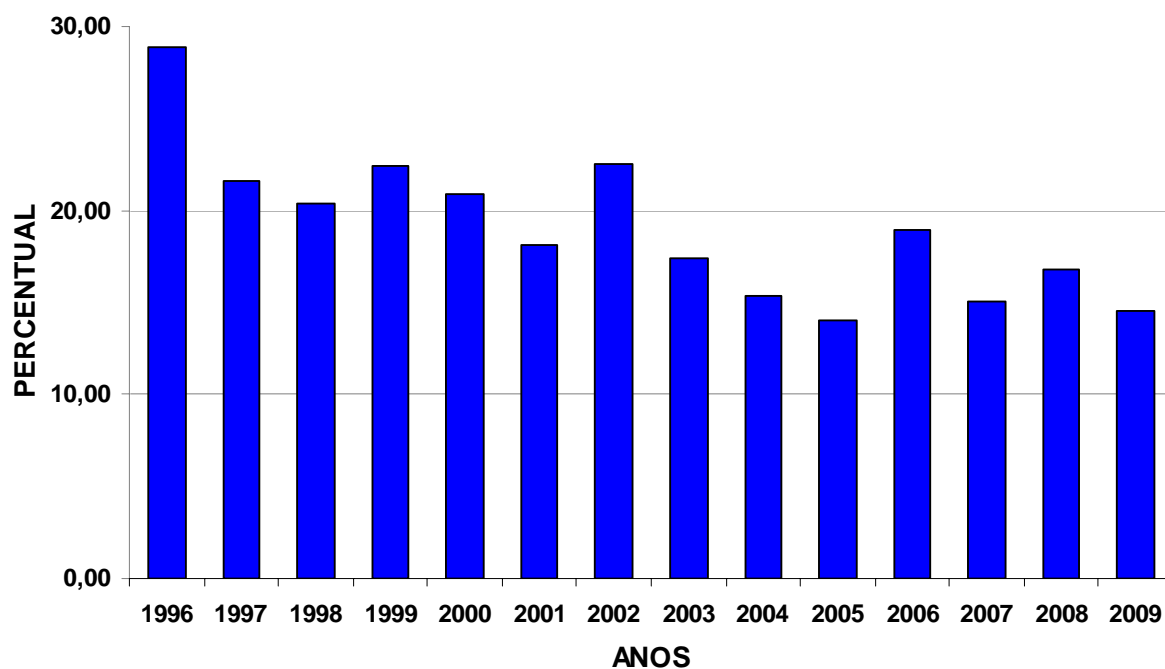


Figura 2 - Série Histórica do Papel/ papelão dos RSD da AP 4

A caracterização de resíduos sólidos domiciliares se apresenta como uma ferramenta essencial para se definir o que fazer com os mesmos, desde a coleta até o seu destino final, de forma sanitária, ambientalmente correta e economicamente

viável, bem como para dimensionar a quantidade de resíduo produzido em cada área e gerar dados que definirão metas e modelos de gestão.

### 2.6.1 Caracterização dos resíduos sólidos domiciliares

É a determinação da percentagem de cada um dos componentes dos resíduos sólidos (papel, papelão, vidro, matéria orgânica putrescível, etc.), a partir da relação entre o peso do componente analisado e o peso total da amostra considerada.

A caracterização dos RSD apresenta como objetivos principais:

- O conhecimento prévio de parâmetros como o teor de umidade e peso específico, ajudam na especificação e no dimensionamento dos equipamentos e materiais usados na limpeza urbana: caminhões coletores, caçambas, contêineres e sacos de resíduo, entre outros;
- A determinação do potencial de reciclagem de cada localidade contribuindo, por exemplo, para a definição de áreas mais apropriadas para implantação de cooperativas de catadores e outras instalações de separação de recicláveis. Nos últimos anos, com o aumento da consciência ecológica, cresceu de importância a determinação do percentual de “artigos” recicláveis presentes no resíduo;
- A avaliação da proporção de materiais recicláveis que são segregados de forma incorreta e assim orientar o corpo técnico quanto a novas estratégias para sensibilizar a população;
- A indicação da possibilidade de aproveitamento da matéria orgânica para a produção de composto orgânico. Com a crescente preocupação sobre o destino do resíduo no Rio de Janeiro, a reciclagem de material orgânico através da compostagem está ganhando popularidade como uma ferramenta de reciclagem ecologicamente sustentável. As áreas de aplicação do produto final variam desde a horticultura e a agricultura até o condicionamento de solos exauridos, reflorestamento, jardinagem e a biorremediação de solos poluídos.
- O acompanhamento das mudanças nos hábitos e tendências de consumo decorrentes das mudanças do poder aquisitivo e de padrões de consumo da população;
- O estabelecimento de correlações dos resíduos com os estratos sócio-econômicos e culturais dos grupos geradores.



Não há uma metodologia própria para o procedimento de caracterização dos RSD. No município do Rio de Janeiro, por exemplo, são recolhidas amostras aleatórias de resíduo gerado na cidade de acordo como um plano de amostragem que leva em consideração a área territorial, a densidade populacional e o quanto de resíduo é coletado nas diferentes regiões do Rio de Janeiro.

Os resultados desse trabalho podem ser influenciados pelos seguintes fatores:

- Fatores climáticos: chuvas fortes aumentam o teor de umidade no resíduo; as estações do ano podem influenciar, como por exemplo, no outono o número de folhas recolhidas aumenta consideravelmente; a sazonalidade pode levar a conclusões equivocadas quanto à real contribuição de um determinado parâmetro no total do resíduo gerado na cidade.
- Festas populares: no carnaval há um aumento de garrafas de vidro e metal não ferroso (latinhas de cerveja); no Natal, Ano Novo e Páscoa ocorre o acréscimo de embalagens e de matéria orgânica;
- As férias escolares provocam o esvaziamento de áreas da cidade; a variação do poder aquisitivo ao longo do mês com o consumo maior de supérfluos perto do recebimento do salário;
- A escolha da época certa para a realização da coleta e a sua repetitividade ao longo dos anos é o que dá confiança e reprodutibilidade aos dados obtidos;
- Grande parcela do material reciclável é interceptada por catadores clandestinos e a outra está incluída com a matéria orgânica, sendo removida pela coleta domiciliar ordinária. Esse fator contribui para o aumento no percentual de matéria orgânica, já que catadores retiram uma fração considerável de papel, papelão, plástico, metal não ferroso (alumínio), deixando sobressair o componente orgânico.

As análises dos dados gerado a partir de um trabalho de caracterização de RSD permitem, por exemplo, que a COMLURB, empresa de economia mista encarregada da limpeza urbana do município do Rio de Janeiro, atue na normatização da coleta de resíduos sólidos do município e na determinação de processos técnicos de destinação final dos diversos tipos de resíduos, através de

equipamentos e/ou soluções, tais como, incineradores de resíduos infectantes, aterros e usinas de compostagem (COMLURB, 2008).

## 2.7 Os Resíduos Sólidos de Serviço de Saúde (RSS)

O Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, em sua Resolução nº 358 (BRASIL, 2005) e a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº306 (Brasil, 2004) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA classificam os RSS em 5 grupos (Cussioli, 2005).

Dessa forma, tem-se a seguinte classificação dos RSS segundo a RDC ANVISA 306/2004 e Resolução nº 358 (BRASIL, 2005) do CONAMA para fins de acondicionamento, identificação, armazenamento temporário e destinação final:

- Grupo A
  - Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção.
  
- Grupo A1
  - Culturas e estoques de micro-organismos; resíduos de fabricação de produtos biológicos, exceto os homoderivados; descarte de vacinas de micro-organismos vivos ou atenuados; meios de cultura e instrumentais utilizados para transferência, inoculação ou mistura de culturas; resíduos de laboratórios de manipulação genética.
  - Resíduos resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação biológica por agentes Classe de Risco 4 (Apêndice II), micro-organismos com relevância epidemiológica e risco de disseminação ou causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido. Devem ser submetidos a tratamento antes da disposição final.
  - Bolsas transfusionais contendo sangue ou hemocomponentes rejeitadas por contaminação ou por má conservação, ou com prazo de validade vencido, e aquelas oriundas de coleta incompleta; sobras de amostras de

laboratório contendo sangue ou líquidos corpóreos, recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, contendo sangue ou líquidos corpóreos na forma livre. Devem ser submetidos a tratamento antes da disposição final.

– Grupo A2

- Carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais submetidos a processos de experimentação com inoculação de micro-organismos, bem como suas forrações, e os cadáveres de animais suspeitos de serem portadores de micro-organismos de relevância epidemiológica e com risco de disseminação, que foram submetidos ou não a estudo anátomo-patológico ou confirmação diagnóstica. Devem ser submetidos a tratamento antes da disposição final.

– Grupo A3

- Peças anatômicas (membros) do ser humano; produto de fecundação sem sinais vitais, com peso menor que 500 gramas ou estatura menor que 25 centímetros ou idade gestacional menor que 20 semanas, que não tenham valor científico ou legal e não tenha havido requisição pelo paciente ou seus familiares.

– Grupo A4

- Kits de linhas arteriais, endovenosas e dialisadores; filtros de ar e gases aspirados de área contaminada; membrana filtrante de equipamento médico-hospitalar e de pesquisa, entre outros similares; sobras de amostras de laboratório e seus recipientes contendo fezes, urina e secreções, provenientes de pacientes que não contenham e nem sejam suspeitos de conter agentes Classe de Risco 4, e nem apresentem relevância epidemiológica e risco de disseminação, ou micro-organismo causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido ou com suspeita de contaminação com príons; tecido adiposo proveniente de lipoaspiração, lipoescultura ou outro procedimento de cirurgia plástica que

gere este tipo de resíduo; recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, que não contenham sangue ou líquidos corpóreos na forma livre; peças anatômicas (órgãos e tecidos) e outros resíduos provenientes de procedimentos cirúrgicos ou de estudos anátomo-patológicos ou de confirmação diagnóstica; carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais não submetidos a processos de experimentação com inoculação de micro-organismos, bem como suas forrações; cadáveres de animais provenientes de serviços de assistência; Bolsas transfusionais vazias ou com volume residual pós-transfusão.

– Grupo A5

- Órgãos, tecidos, fluidos orgânicos, materiais perfurocortantes ou escarificantes e demais materiais resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação com príons.

• Grupo B

- Resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade.
- Produtos hormonais e produtos antimicrobianos; citostáticos; antineoplásicos; imunossuppressores; digitálicos; imunomoduladores; anti-retrovirais, quando descartados por serviços de saúde, farmácias, drogarias e distribuidores de medicamentos ou apreendidos e os resíduos e insumos farmacêuticos dos Medicamentos controlados pela Portaria MS 344/98 e suas atualizações.
- Resíduos de saneantes, desinfetantes, desinfestantes; resíduos contendo metais pesados; reagentes para laboratório, inclusive os recipientes contaminados por estes.
- Efluentes de processadores de imagem (reveladores e fixadores).
- Efluentes dos equipamentos automatizados utilizados em análises clínicas

- Grupo C
  - Quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados nas normas do CNEN e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista.
  - Enquadram-se neste grupo os rejeitos radioativos ou contaminados com radionuclídeos, provenientes de laboratórios de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia, segundo a resolução CNEN-6.05.
  
- Grupo D
  - Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares.
  - Papel de uso sanitário e fralda, absorventes higiênicos, peças descartáveis de vestuário, resto alimentar de paciente, material utilizado em anti-sepsia e hemostasia de venóclises, equipo de soro e outros similares não classificados como A1; - sobras de alimentos e do preparo de alimentos; - resto alimentar de refeitório; - resíduos provenientes das áreas administrativas; - resíduos de varrição, flores, podas e jardins - resíduos de gesso provenientes de assistência à saúde
  
- Grupo E
  - Materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como: Lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas; tubos capilares; micropipetas; lâminas e lamínulas; espátulas; e todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri) e outros similares.

Nesse sentido, só nos últimos anos, iniciou-se uma discussão mais consistente sobre o problema da disposição inadequada dos RSS (Rutala et al.,1992; Alagöz e Kocasoy, 2007). Municípios brasileiros que desenvolveram melhor

padrão sócio-econômico e aprimoramento adequado no campo sanitário já implantaram sistemas específicos de coleta destes resíduos ou estão empenhados em programas de segregação ou de tratamento.

Na maioria dos municípios do Brasil, constata-se a disposição conjunta de RSS e de resíduo sólido domiciliar (RSD), mais comumente, em lixões. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010), do total de municípios brasileiros que tem coleta e/ou recebimento de RSS, 52,7% dispõe os RSS no solo. As Regiões Sul e Centro-Oeste são as que se destacam no que tange à forma de disposição dos RSS em aterros específicos para resíduos especiais. A Região Sudeste é a região que apresenta o maior percentual de aterros convencionais que dispõem os RSS em conjunto com os demais resíduos. Em contrapartida, mais de 50% dos locais de disposição para RSS nas Regiões Norte e Nordeste são vazadouros em conjunto com os demais resíduos.

## **2.8 Formas de Tratamento dos RSS**

De acordo com a mais recente Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (2010), as principais formas de processamento dos RSS adotadas pelos municípios brasileiros são: incineração, queima em forno simples, queima a céu aberto, autoclavagem e esterilização por micro-ondas (IBGE, 2010). Observa-se que dos municípios com coleta e/ou recebimento de RSS, 58,5% possuem algum tipo de tratamento. O tratamento por incineração é destaque nas Regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. Nas Regiões Norte e Nordeste, o principal tipo de processamento de RSS é a queima a céu aberto.

Assim, os elevados custos de sistemas diferenciados de gestão de RSS, a demanda por capacitação técnica para operacionalização de sistemas de tratamento destes resíduos, bem como os variados recursos necessários à implantação de sistemas e equipamentos se incompatibilizam com a realidade da maioria dos municípios brasileiros, sugerindo a inadequação destes modelos em nosso país.

### **2.8.1 Incineração**

Processo que emprega decomposição térmica via oxidação térmica, em elevadas temperaturas. Os compostos orgânicos são reduzidos os seus

constituintes mínimos (dióxido de carbono gasoso e vapor d'água) e os resíduos inorgânicos transformam-se em cinzas. Como vantagens podem-se citar a redução significativa do volume, a recuperação energética, uma alternativa para não recicláveis e a destruição total da parcela orgânica, se bem operada. Como desvantagens, a incineração apresenta um alto custo operacional e exige controle das emissões, podendo, em caso contrário, tornar-se uma fonte de poluição atmosférica.

As legislações vigentes para a incineração são;

- Resolução CONAMA nº 316 – Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos;
- Resolução CONAMA nº 006 - Dispõe sobre a incineração de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos.

### 2.8.2 Autoclavação

Trata-se de um procedimento de esterilização, realizado em autoclaves, onde os micro-organismos são destruídos pela ação combinada da temperatura, pressão e umidade que promovem a termocoagulação e a desnaturação das proteínas da estrutura genética celular. O vapor saturado possui características vantajosas e outras limitantes como processo de esterilização. As vantagens consistem no rápido aquecimento e rápida penetração, com a destruição dos esporos microbianos em curto período de exposição. As limitações consistem na incompleta remoção do ar da câmara interna, não permitindo a difusão e a expansão do vapor para realizar a esterilização, e o uso incorreto do equipamento, que pode levar ao superaquecimento do vapor, com diminuição do poder microbicida, além de não esterilizar óleos e pós.

A ABNT NBR ISO 17665-1:2010 (antiga NBR ISO 11134) especifica requisitos para o uso do calor úmido no desenvolvimento do processo de esterilização, na validação do processo de esterilização e no controle da rotina de esterilização.

### 2.8.3 Micro-ondas

Nesse processo os resíduos são triturados, umedecidos com vapor a 150°C e colocados continuamente num forno de micro-ondas onde há um dispositivo para revolver e transportar a massa, assegurando que todo o material receba uniformemente a radiação de micro-ondas. As vantagens desse processo são a ausência de emissão de efluentes de qualquer natureza e a característica de ser um processo contínuo. As principais desvantagens são o custo operacional relativamente alto e redução do volume de resíduos a ser aterrado obtida somente com trituração prévia.

### 2.8.4 A codisposição de RSS e de RSD

A codisposição de RSS e de RSD em aterros sanitários é preconizada por muitos profissionais desta área (Ferreira,1995; Bidone et al., 2005; Costa e Silva, 2005). Dada a falta de evidências científicas sobre o risco à saúde oferecido pelos RSS quando comparados aos RSD, alguns pesquisadores consideram desnecessária a inativação dos primeiros, geralmente, realizada por processos dispendiosos, inapropriados e muitas vezes geradores de poluição (Ferreira, 2002). Aliado a isso, a pressão pela implantação de tais métodos se eleva por conta dos interesses comerciais e do preconceito da população.

Diversos trabalhos de pesquisa, nacionais e internacionais, produzidos pela área médica e por setores ligados ao meio ambiente, afirmam que não há fatos que comprovem que os RSS sejam mais perigosos, nem mais contaminados do que os resíduos domiciliares, e por isso, tornam-se improcedentes as exigências em relação aos RSS no tocante à necessidade de segregação, coleta diferenciada, tratamento e disposição final de maneira particular, em aterros especiais ou separada dos resíduos domiciliares e de outros resíduos urbanos (Zanon e Eigenheer, 1991; Rutala e Mayhall, 1992; Zanon, 1990; Cussiol, 2000; Ferreira, 1997, 2002). Exceção se faz aos resíduos perfurocortantes e às culturas microbiológicas. Os riscos de contaminação pelo manuseio desses resíduos é elevado, tanto no momento da geração, do acondicionamento e do descarte, quanto durante a coleta externa e a disposição final, devido às suas características físicas e ao seu potencial de contaminação através de micro-organismos retidos, requerendo normas seguras de



manuseio e acondicionamento (Nascimento et al., 2009). É válido salientar que os RSD também apresentam objetos perfurocortantes, como vidro, porcelana, tampas de lata, facas, dentre outros, que, quando mal acondicionados e sem sinalização quanto aos riscos de corte ou perfuração, podem causar acidentes nos trabalhadores de coleta formal e catadores de rua (CUSSIOL, 2005).

Os riscos ambientais, caracterizados por acidentes com perfurocortantes, poluição do solo, contaminação das águas superficiais e subterrâneas, assoreamento de corpos d'água, proliferação de vetores com disseminação de patógenos, poluição do ar e acúmulo de substâncias tóxicas e agentes patogênicos em cadeias alimentares, decorrem do manejo impróprio e da disposição inadequada dos resíduos sólidos.

Nascimento et al. (2009) verificaram a ocorrência de bactérias de interesse médico no lixiviado produzido a partir de uma pilha de RSS disposta no aterro sanitário de Juiz de Fora, Minas Gerais. Os resultados apontados pelos autores reforçam as reflexões relacionadas ao papel dos RSS como reservatórios de patógenos microbianos e de linhagens resistentes a antimicrobianos, sugerindo que a carga destes fármacos pode contribuir para a seleção de marcadores de resistência com grande impacto para os diferentes ecossistemas.

Para Cussiol (2005), o sistema de saúde que predomina no Brasil é o da medicina curativa, em detrimento da medicina preventiva, além de que parte da população não tem acesso aos serviços de saúde. Logo, todos estão regularmente gerando resíduos contaminados por agentes patogênicos em seus domicílios, tendo seus resíduos coletados pelo serviço de coleta domiciliar. Soma-se a isso o fato de que nem todos os resíduos classificados como infectantes são decorrentes de procedimentos aplicados em pacientes com doenças infecto-contagiosas, mas de cirurgias plásticas, vítimas de acidentes diversos (automobilístico, quedas, cortes etc) e de doenças não-infecto-contagiosas, como as cardíacas.

## 2.9 Lixiviado de Aterro

### 2.9.1 Características

As características construtivas dos aterros permitem minimizar os efeitos das duas principais fontes de poluição oriundas dos resíduos sólidos: o gás e o lixiviado (Souto, 2009). O gás do aterro, mistura entre o biogás gerado na decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos e compostos voláteis liberados pelos mesmos, pode ser drenado através de tubulações adequadas e encaminhado para queima ou eventual aproveitamento energético. No entanto, a formação de lixiviado representa um risco ambiental maior, especialmente em cidades mais populosas. Aliás, de acordo com Kjeldsen et al. (2002), a amônia é o mais importante constituinte do lixiviado no que tange aos impactos ambientais e às aplicações biotecnológicas de tratamento. Ainda, segundo esses autores, o efeito do descarte da amônia no ambiente pode incluir eutrofização do corpo receptor, depleção do oxigênio dissolvido da água de superfície por nitrificação, toxicidade dos organismos aquáticos e riscos à saúde pública.

O lixiviado é o resultado da mistura da água que infiltra e percola através dos resíduos com os produtos da degradação biológica da massa orgânica do resíduo (Kjeldsen et al., 2002). Apresenta valores elevados de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio), traços de metais dissolvidos e amônia (Souto, 2009). Dessa forma, o processo de degradação dos compostos orgânicos e inorgânicos, que compõem os resíduos sólidos, é um fenômeno constituído essencialmente pela superposição de mecanismos biológicos e físico-químicos, catalisados pelo fator água, presente nos resíduos pela umidade inicial e pelas águas que infiltram ou são recirculadas (CUSSIOL, 2005). A idade do aterro sanitário e o grau de estabilização do material sólido disposto têm grande influência na composição do lixiviado (Kjeldsen et al., 2002). Outros fatores, como: características do material aterrado, grau de compactação, quantidade de infiltração de água e regime de chuvas também podem ser responsáveis pela qualidade e pela quantidade do lixiviado que será produzido (Bidone et al., 2000; Senior, 1995).

O lixiviado tem sido identificado na literatura como fonte potencial de poluição das águas superficiais e subterrâneas, apresentando elevadas concentrações de matéria orgânica, metais pesados, ácidos, sais e micro-organismos e com um

potencial de contaminação bem maior do que o de muitos despejos industriais (Silva et al., 2007). A concentração de cada substância depende das características do resíduo sólido, da umidade, da temperatura, do pH e do oxigênio disponível.

Segundo Christensen et al. (1994) e Mata-Alvarez (2002), o lixiviado pode ser caracterizado por uma solução aquosa contendo 4 grupos de poluentes:

- Matéria orgânica dissolvida, quantificada pela Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou Carbono Orgânico Total (COT), ácidos graxos voláteis (que se acumulam durante a fase ácida da estabilização dos resíduos) e compostos mais refratários, como os compostos fúlvicos e húmicos;
- Macrocomponentes inorgânicos: cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ).
- Metais pesados: cádmio ( $\text{Cd}^{2+}$ ), cromo ( $\text{Cr}^{3+}$ ), cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), chumbo ( $\text{Pb}^{2+}$ ), níquel ( $\text{Ni}^{2+}$ ) e zinco ( $\text{Zn}^{2+}$ ).
- Compostos orgânicos xenobióticos, originado de compostos químicos domésticos ou industriais e present em baixas concentrações (usualmente menor do que 1mg/L). Esses compostos incluem, dentre outros, uma variedade de hidrocarbonetos aromáticos, fenóis, alifáticos clorados e pesticidas.

### 2.9.2 Formas de tratamento

A correlação entre idade do aterro e decomposição da matéria orgânica pode ser utilizada como um critério para escolha do tratamento mais adequado, uma vez que este é o fator que afeta significativamente a seqüência e o sucesso do(s) tratamento(s) adotado (Chian e Dewalle, 1976). Na Tabela 2 estão anotados os valores para os parâmetros de classificação de acordo com a idade do aterro. Lixiviados oriundos de aterros novos (primeiros anos de operação) são ricos em matéria orgânica biodegradável, sendo então suscetíveis ao tratamento biológico, visto que o tratamento físico – químico não irá remover essa matéria orgânica com a mesma eficiência. Nestes casos, o tratamento biológico elimina os compostos com baixo peso molecular encontrados nesses lixiviado, ainda que a concentração de vários compostos possa inibir a atividade microbiana durante o tratamento, requerendo assim um pré-tratamento físico-químico do lixiviado (LEMA, MENDEZ e BLAZQUEZ, 1988).

Tabela 2 – Classificação do Lixiviado pela idade do aterro

Idade (anos)	0 - 5	5 - 10	10 - 15	>20
pH	3 - 6	6 - 7	7 - 7,5	= 7,5
DQO (mg/L)	15.000 - 40.000	10.000 - 20.000	1.000 - 5.000	< 1.000
DBO (mg/L)	10.000 - 25.000	1.000 - 4.000	50 - 1.000	< 50
Nitrogênio total (mg/L)	1.000 - 3.000	400 - 600	75 - 300	< 50
Amônia (mg/L)	500 - 1.500	300 - 500	50 - 200	< 30
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	10.000 - 25.000	5.000 - 10.000	2.000 - 5.000	< 1.000

Fonte: CHIAN e DEWALLE, 1976

Os métodos convencionais de tratamento do lixiviado podem ser divididos em 3 grupos a saber (RENOU *et al.*, 2008):

- Transferência do lixiviado que compreende a reciclagem e o cotratamento com esgoto doméstico;
- Biodegradação através de processos aeróbios e anaeróbios;
- Métodos físicos e químicos que incluem: oxidação química, adsorção, precipitação química, coagulação e floculação, sedimentação e “air stripping” ou arraste.

O entendimento da composição do lixiviado é uma etapa crítica nas previsões do impacto que esse resíduo irá causar no ambiente, e assim determinante na escolha do tipo de tratamento que o mesmo receberá. Mesmo após as encerradas as operações de um aterro e a cobertura final ter sido colocada, a decomposição continua produzindo um volume menor de lixiviado. Segundo Kjeldsen *et al.* (2002), encerradas as operações em um aterro, o mesmo deverá ser monitorado por um período de 30 anos. Presume-se que após esse tempo o aterro estará estabilizado.

## 2.10 A degradação microbiológica dos aterros

Nos aterros de resíduos, várias reações físicas, químicas e biológicas ocorrem simultaneamente e de maneira relacionada. A degradação inicial dos resíduos por micro-organismos permite a transformação dos compostos complexos em subprodutos menos complexos, ou seja, ocorre a hidrólise de compostos de alta massa molecular, como os carboidratos, as proteínas e os lipídios em

monossacarídeos, aminoácidos e ácidos graxos (Sawamura et al., 2010). Micro-organismos fermentadores quebram esses produtos de hidrólise em ácido láctico, ácido butírico, ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono. Micro-organismos metanogênicos catabolizam acetato, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> para produção de metano (CH<sub>4</sub>). Essa transformação de compostos complexos a compostos simples permite a redução da massa de resíduo (MONTEIRO et al., 2006).

Estudos em células experimentais têm contribuído para um melhor entendimento sobre o comportamento dos aterros. Num experimento realizado por Bidone et al. (2000), dispendo conjuntamente RSD e RSS, para pesquisar micro-organismos de interesse médico em lixiviado de aterro sanitário, concluíram que o período mínimo para que se esgotem os nutrientes disponíveis ao crescimento microbiano em uma célula experimental, contendo 70m<sup>3</sup> de resíduos sólidos, é de aproximadamente 350 dias. Realmente, muitos fatores podem favorecer a inativação de organismos patógenos num aterro: a competição microbiana, a disponibilidade de nutrientes, os produtos de metabolismo, a produção de substâncias antagônicas, a atividade antibiótica da microbiota, o tempo prolongado de confinamento e outras condições adversas na massa de resíduos (MATA-ALVAREZ, 2002).

A fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares é um substrato complexo e requer uma via metabólica complexa antes da conversão final em metano. Senior (1995) ressalta que quando os resíduos sólidos municipais entram num aterro eles têm um conteúdo grande de sólidos suspensos e matéria orgânica solúvel suspensa. Dentre os principais componente da matéria orgânica biodegradável estão os carboidratos, as proteínas e os lipídios. Os carboidratos são conhecidos por serem facilmente convertidos via hidrólise a açúcares simples e subsequentemente fermentados a ácidos graxos voláteis. Os lipídios são hidrolisados a ácidos graxos de cadeia longa e então oxidados a acetato ou propionato se a pressão parcial de hidrogênio é baixa o suficiente para termodinamicamente permitir a conversão. O hidrogênio inibe a oxidação. A reação somente acontece quando a pressão de H parcial é mantida baixa pela presença de bactérias metanogênicas hidrogenofílicas. A presença de metanogênicas aumenta a hidrólise de lipídios ao contrário da hidrólise de carboidratos e proteínas. Finalmente, as proteínas são hidrolisadas a aminoácidos, que são depois degradados a ácidos graxos voláteis, por exemplo, através da oxidação anaeróbica ligada a produção de hidrogênio.

Segundo Cussiol (2005), vários modelos descrevem a decomposição dos resíduos sólidos em aterros e as diferenças que existem não são conceituais, mas nos níveis de detalhamento de cada classificação.

Para Mata-Alvarez (2002), a degradação anaeróbica da fração orgânica requer a ação de uma população microbiana variada, consistindo de muitos grupos de estirpes facultativas e estritas. Segundo esse mesmo autor, as etapas da via de digestão anaeróbica de complexos orgânicos de cadeia longa (proteínas, carboidratos e lipídios) ao produto final, metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) podem ser estabelecidas como se segue:

- 1) hidrólise de polímeros a substâncias orgânicas monoméricas ou diméricas (açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos etc) pelos micro-organismos hidrolíticos. Essas bactérias decompõem polímeros orgânicos de cadeia longa, como as proteínas, os polissacarídeos e os lipídios a compostos monoméricos. As bactérias hidrolíticas têm a habilidade de produzir enzimas que degradam tanto os compostos de alta massa molar solúveis, como os não solúveis. Essas bactérias podem ser classificadas de acordo com o tipo de exoenzima produzida e podem ser inibidas pelo acúmulo de açúcares e aminoácidos;
- 2) fermentação de substâncias orgânicas monoméricas a hidrogênio, dióxido de carbono, piruvato, ácidos graxos voláteis e outros produtos orgânicos, como o etanol, as cetonas e o ácido lático. As bactérias envolvidas nesta transformação são as chamadas bactérias fermentativas. Uma vez solubilizadas, estas substâncias monoméricas ficam disponíveis para serem transportadas ao interior das bactérias fermentativas, onde são convertidas às substâncias citadas;
- 3) oxidação de compostos reduzidos a hidrogênio,  $\text{CO}_2$ , e acetato pelas bactérias acetogênicas;
- 4) respiração acetogênica de bicarbonatos por bactérias homoacetogênicas. Essas bactérias catabolizam misturas de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$  e compostos multicarbonados. Elas podem produzir ácido acético, competindo com as bactérias metanogênicas pelo  $\text{H}_2$ .
- 5) oxidação de compostos reduzidos (álcool, ácidos propiônicos e butíricos) a  $\text{CO}_2$  e acetato pelas bactérias redutoras de enxofre (BRS) e as bactérias redutoras de nitrogênio (BRN), com a presença de sulfatos e nitratos.
- 6) oxidação do acetato a dióxido de carbono pelas BRS e pelas BRN;

- 7) oxidação do hidrogênio pelas BRS e pelas BRN;
- 8) Conversão do ácido acético pelas bactérias metanogênicas acetoclásticas. As principais são as *Methanosarcina* e *Methanothrix* (taxa de crescimento de 24 h). Ambas têm uma taxa de crescimento lento e ambas são afetadas pela presença de hidrogênio. Assim, a manutenção de um mecanismo sinantrópico de compostos orgânicos é necessária.

Dessa forma, entende-se que a degradação completa da fração orgânica a metano requer a ação combinada de uma série de micro-organismos. A diversidade microbiana é um importante fator no processo de decomposição de resíduos e a avaliação dessa diversidade é um dos principais passos em direção ao entendimento das propriedades metabólicas espécie-específica responsáveis pela decomposição do resíduo. As populações iniciais dos resíduos dispostos em aterro apresentam notável papel na seleção de espécies dominantes presentes tanto durante o estágio inicial de decomposição quanto no resíduo decomposto. Um entendimento mais profundo da dinâmica dessa população microbiana fornecerá subsídios para compreender também a sua persistência e o poder de recuperação na medida em que há mudanças nas condições ambientais e na qualidade do substrato ao longo do tempo (Staley, 2007). A atividade microbiana, que envolve uma sucessão de diversas populações distintas, é essencial ao longo do processo de decomposição. A Figura 1 mostra as fases de estabilização dos resíduos sólidos urbanos depositados em aterros e apresenta faixas de variação da concentração de alguns parâmetros que compõem o percolato em função da idade do aterro (POHLAND E HARPER, 1986).

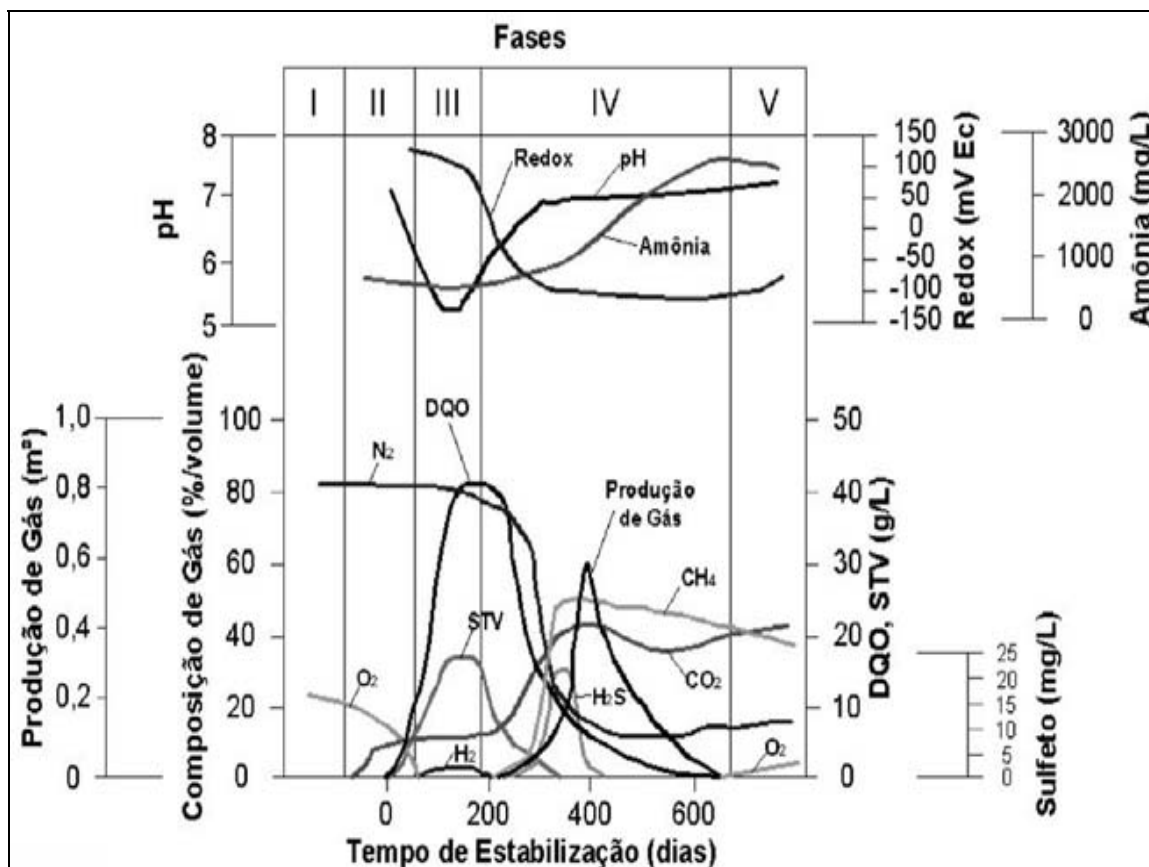


Figura 3 - Fases de estabilização dos resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros.  
Fonte: Pohland e Harper (1986)

## 2.11 Toxicologia Ambiental e Ecotoxicologia

A ciência que estuda os efeitos nocivos causados por substâncias químicas sobre organismos vivos é chamada toxicologia. A toxicologia tem como objetivos principais a identificação dos riscos associados à exposição de determinada substância e determinar em quais condições de exposição estes riscos são induzidos (COSTA et al., 2008).

A toxicologia é uma ciência de natureza multidisciplinar, compreende basicamente os seguintes ramos da toxicologia: toxicologia clínica, que estuda os efeitos de drogas sobre pacientes humanos; toxicologia forense, na qual o objetivo baseia-se em detectar o uso ilegal de agentes tóxicos para fins judiciais e a toxicologia ambiental que se preocupa com o destino dos agentes tóxicos, seus metabólitos e produtos de degradação no ambiente e nas cadeias alimentares e com o efeito desses contaminantes sobre os organismos e populações (CHASIN e AZEVEDO, 2003; COSTA et al., 2008).



A toxicologia ambiental se preocupa com o destino dos agentes tóxicos, seus metabólitos e produtos da degradação no ambiente e nas cadeias alimentares sobre os organismos e as populações. A toxicologia ambiental considera que a sobrevivência humana é dependente do bem-estar de outras espécies e da disponibilidade de ar, água, solo e alimentos limpos. Esta ciência considera também que as substâncias químicas de origem antropogênica podem ocasionar efeitos danosos aos organismos vivos e aos processos biológicos (ZAKRZEWSKI, S. F. 1994).

De acordo com Yu (2005), a toxicologia ambiental é uma ciência de natureza multidisciplinar e engloba diversas áreas de estudo, dentre elas a biologia, química, anatomia, genética, fisiologia, microbiologia, ecologia, estudos relacionados ao solo, ar e água, epidemiologia, estatística entre outros.

A Figura 4 demonstra as inter-relações existentes entre a toxicologia ambiental e diversas áreas de estudo.

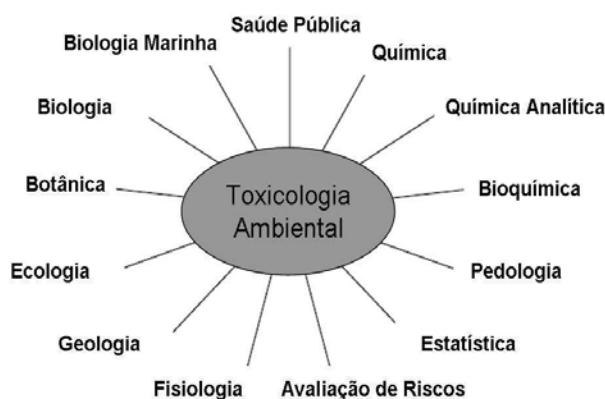


Figura 4 - Inter-relações entre Toxicologia Ambiental e diversas áreas de estudo.

Fonte: adaptada de Yu (2005).

Em função desta subdivisão da Toxicologia em diferentes áreas e levando em consideração as subdivisões que ocorrem no campo da Ecologia, como a Ecologia aquática, terrestre, de populações, comunidades, humana, entre outras, na década de 1970, toxicologistas e ecologistas perceberam que havia algo de comum entre estas duas disciplinas. A partir desta linha de pensamento, com a associação dos conhecimentos de Toxicologia com Ecologia surgiu a Ecotoxicologia (ZAGATTO, 2006).

O termo "Ecotoxicologia" foi sugerido pela primeira vez, em junho de 1969, pelo toxicologista francês René Truhaut durante uma reunião do Committee of the International Council of Scientific Unions (ICSU), em Estocolmo. Após este evento foi formado o Comitê Científico do ICSU sobre problemas ambientais (SCOPE), que foi encarregado de organizar um grupo de trabalho sobre esta nova ciência, a Ecotoxicologia (ZAGATTO, 2006).

A definição de Ecotoxicologia foi publicada em monografia pelo SCOPE, em 1976, e definida como a "*ciência que estuda os efeitos das substâncias naturais ou sintéticas sobre os organismos vivos, populações e comunidades, animais ou vegetais, terrestres ou aquáticos, que constituem a biosfera, incluindo assim a interação das substâncias com o meio nos quais os organismos vivem num contexto integrado*" (ZAGATTO, 2006).

Para Ramade (1977) apud Zagatto (2006) a Ecotoxicologia é definida como a ciência que tem por objetivo estudar as modalidades de contaminação do ambiente pelos poluentes naturais ou sintéticos, produzidos por atividades humanas, seus mecanismos de ação e seus efeitos sobre o conjunto de seres vivos que habitam a biosfera.

Blaise, 1984 apud Zagatto (2006) definiu a associação entre toxicologia e ecologia

(ecotoxicologia) como o estudo dos efeitos de uma ou mais substâncias a uma população ou comunidade de organismos.

Segundo Kendall (1996) apud Chasin & Azevedo (2003), Ecotoxicologia é o estudo do destino e dos efeitos das substâncias químicas sobre o ecossistema, com base nos métodos laboratoriais e de campo, que estuda de forma qualitativa e quantitativa os efeitos adversos das substâncias químicas, considerando suas inter-relações no ecossistema e atuação nos organismos.

O termo Ecotoxicologia é utilizado por muitos autores como sinônimo de toxicologia ambiental e ambos descrevem o estudo científico dos efeitos adversos causados aos organismos vivos pelas substâncias químicas liberadas no ambiente (RAND et al., 1995; CHASIN e AZEVEDO, 2003).

A Ecotoxicologia é uma área especializada da toxicologia ambiental, cujos objetivos dos estudos estão baseados nos efeitos ocasionados por agentes químicos e físicos sobre a dinâmica das populações e comunidades integrantes de

ecossistemas definidos (RONCO et al., 2004).

Ecotoxicologia é a ciência que estuda os efeitos de substâncias químicas expostas no meio ambiente, sobre populações, considerando a degradação, bioacumulação, bioamplificação e mobilidade dessas substâncias (MATIAS, 1997).

Qualquer que seja o termo empregado, essa área da toxicologia preocupa-se por estudar as ações e os efeitos nocivos de substâncias químicas, na maioria das vezes de origem antropogênica, sobre os ecossistemas (CHASIN e AZEVEDO, 2003).

### 2.11.1 Toxicologia aquática

A toxicologia aquática, de acordo com Rand et al. (1995), é o estudo dos efeitos adversos de produtos químicos, materiais antropogênicos e de outros produtos de natureza alheia ao ambiente sobre os organismos aquáticos. Os efeitos tóxicos podem se manifestar em diferentes níveis de organização, desde estruturas celulares até indivíduos, populações e comunidades.

A toxicidade dos agentes químicos no meio aquático é avaliada através da realização de testes de toxicidade, onde são utilizados organismos representativos da coluna d'água ou dos sedimentos de ambientes de água doce, estuarina ou marinha (ARAGÃO e ARAÚJO, 2006).

Os testes de toxicidade aquática são amplamente utilizados devido ao fato dos ecossistemas aquáticos constituírem os receptáculos de contaminantes, sejam estes lançados diretamente nos corpos d'água por meio de descargas de poluentes (fontes pontuais de poluição), emitidos no ar ou depositados no solo (fontes difusas de poluição) (GHERARDI-GOLDSTEIN et al., 1990).

Atualmente, vários países desenvolveram e padronizaram testes de toxicidade utilizando organismos aquáticos. Em nível internacional os testes de toxicidade são padronizados pela Association Française de Normalisation - AFNOR (França); American Society for Testing and Materials - ASTM (Estados Unidos); American Water Work Association - AWWA (Estados Unidos); International Organization for Standardization - ISO (Estados Unidos); Organization for Economic Co- Operation and Development - OECD (Estados Unidos); Deutsches Institut für Normung - DIN (Alemanha). Em nível nacional (Brasil) os testes de toxicidade são

normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ARAGÃO e ARAÚJO, 2006).

De acordo com Knie e Lopes (2004) o campo de aplicações de testes toxicológicos é muito amplo. A seguir são listados alguns exemplos da utilização de testes de toxicidade:

- avaliação do risco potencial de substâncias químicas ao meio ambiente;
- monitoramento de qualidade de águas superficiais e subterrâneas;
- fiscalização de efluentes;
- controle da eficiência de estações de tratamento de águas residuárias;
- controle de efluentes antes da entrada na estação de tratamento para a proteção de sua biologia;
- avaliação da contaminação de águas após acidentes com produtos químicos;
- identificação de fontes poluidoras;
- determinação da biodegradabilidade de substâncias e águas residuárias;
- investigação de sinergismos e antagonismos de substâncias;
- cálculo da taxa de cobrança para uso da água (princípio poluidor-pagador);
- avaliação, por meio de eluatos, de solos contaminados;
- determinação do potencial bioacumulativo de substâncias;
- avaliação, por meio de eluatos, da aptidão de resíduos sólidos para disposição em aterros.

Os efeitos adversos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos podem ser resultado de uma exposição direta ao tóxico, o que ocasiona a morte do organismo (efeito agudo) ou podem ser decorrentes de efeitos subletais nos organismos, que podem afetar no seu desenvolvimento, crescimento e reprodução (efeitos crônicos).

#### 2.11.1.1 Testes de Toxicidade Aguda

De acordo com Matias (2007), a toxicidade aguda é a manifestação de um efeito em um curto espaço de tempo após administração de uma dose única de uma substância. Em geral, é o primeiro estudo realizado sobre uma substância quando não se tem nenhuma noção, ou somente noção teórica, muito restrita, sobre a substância a ser estudada.

O objetivo de um teste de toxicidade aguda é de determinar a concentração de determinada substância ou o nível de um agente (temperatura, pH, dureza) que produz um efeito deletério em um grupo de organismos-teste durante um curto espaço de tempo sob condições ambientais controladas (PARRISH, 1995).

Grande parte dos testes de toxicidade aguda baseia-se na exposição de grupos de organismos a diferentes concentrações da substância a ser testada através de diferentes diluições de uma mesma amostra. A morte dos organismos é a resposta mais comum nos testes de toxicidade aguda.

Os resultados dos testes de toxicidade aguda são expressos como o percentual de organismos mortos e/ou imobilizados em cada concentração e como a CL<sub>50</sub> e/ou CE<sub>50</sub> que é a expressão matemática da dose e/ou concentração da substância que provoca a morte/imobilização de 50% da população exposta (Parrish, 1995). Esses resultados fornecem somente uma estimativa da toxicidade aguda global da substância testada e não pré-julgam de forma nenhuma os resultados de toxicidade subaguda e crônica (MATIAS, 2007).

Testes de toxicidade aguda são amplamente utilizados, pois fornecem uma resposta rápida sofrida pelos organismos expostos à determinada substância, em um curto período de tempo, é de fácil execução e apresentam um baixo custo (ARAGÃO e ARAÚJO, 2006).

#### 2.11.1.2 Testes de Toxicidade Crônica

No ambiente aquático, devido diluição natural do ambiente, os organismos estão expostos a níveis subletais dos poluentes. Esta exposição a níveis subletais pode não ocasionar a morte do organismo, mas pode ocasionar distúrbios fisiológicos e/ou comportamentais em longo prazo. Esses efeitos não são detectados em testes de toxicidade aguda, sendo necessária a utilização de testes de toxicidade crônica que irão permitir a avaliação dos efeitos adversos mais sutis aos organismos expostos (ARAGÃO e ARAÚJO, 2006).

Segundo Rand (1995), testes de toxicidade crônica permitem avaliar os possíveis efeitos adversos de uma amostra sob condições de longo tempo de exposição a concentrações subletais. O teste de toxicidade crônica expõe o organismo-teste ao agente tóxico (xenobiótico) durante todo e/ou parte do seu ciclo de vida, incluindo estágios sensíveis do organismo.

Os testes de toxicidade crônica podem ser realizados sob três maneiras distintas: testes que avaliam o ciclo de vida completo do organismo-teste; testes que avaliam somente parte do ciclo de vida do organismo-teste, dando ênfase à determinada fase do ciclo e testes funcionais, nos quais são feitas medidas dos efeitos de xenobiótico sobre várias funções fisiológicas do organismo-teste (ARAGÃO e ARAÚJO, 2006).

Testes de toxicidade crônica que abrangem o ciclo completo de vida do organismo são iniciados com ovos e continuam até a reprodução destes organismos, podendo estender-se por várias gerações se necessário. Nestes testes de ciclo de vida completo é determinada a faixa de concentração de substância que causa efeitos adversos significativos na sobrevivência, crescimento e reprodução dos organismos quando comparados a um controle. Estes testes fornecem informações precisas sobre a toxicidade de amostras, porém devido à longa duração se tornam testes caros. Como exemplo da duração destes testes pode ser citado o teste crônico utilizando peixes que podem se estender por até 30 meses e testes de toxicidade utilizando invertebrados que duram entre três semanas e cinco meses (COONEY, 1995).

Testes com parte do ciclo de vida do organismo utilizam em geral as fases de vida em que os organismos são mais sensíveis, o que normalmente ocorre nos estágios iniciais de seu desenvolvimento. Segundo Adams (1995) apud Aragão e Araújo (2006) estes testes não são considerados testes crônicos verdadeiros, e sim estudos crônicos parciais ou de curta duração. Exemplos deste teste são os testes realizados com larvas de anfípodos e larvas de inseto, nestes testes são avaliados efeitos sobre sobrevivência, crescimento e comportamento dos organismos, mas não é avaliada a reprodução.

De acordo com Aragão e Araújo (2006), testes de toxicidade funcionais baseiam-se no fato de que peixes e outros organismos respondem fisiológica e comportamentalmente à exposição de concentrações subletais da substância tóxica. Nestes testes avaliam-se a bioquímica do sangue, efeitos fisiológicos, natação, respiração, percepção sensorial entre outras. A ocorrência de efeitos sobre estes parâmetros revela uma indicação da sensibilidade dos organismos às substâncias tóxicas.

Os resultados do teste de toxicidade crônica são expressos em função do efeito que o xenobiótico provocou na reprodução, crescimento e sobrevivência do organismo-teste. Desta forma é possível determinar a maior concentração do xenobiótico que não causa efeito estatisticamente significativo nos organismos-teste (CENO) e a menor concentração de xenobiótico que causa efeito estatisticamente significativo nos organismos-teste (CEO). Para a realização do cálculo destes resultados são utilizados testes estatísticos que realizam a comparação dos resultados obtidos em cada diluição com o controle realizado no teste.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Implantação das células experimentais

##### 3.1.1 Área

A área destinada à construção das células experimentais situa-se na Usina de Reciclagem e de Compostagem de Jacarepaguá da COMLURB, no bairro de Vargem Pequena, Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro (Figura 5). Para confecção do projeto, foram necessários alguns levantamentos em nível de campo e o estabelecimento de premissas básicas a serem observadas durante a implantação das células. Dentre estes levantamentos, podemos citar: determinação da área de construção das células visando a não geração de impactos negativos sobre o funcionamento da Usina; diagnóstico ambiental (Possíveis impactos ambientais gerados na circunvizinhança da Usina); materiais ( manta de PEAD, bidim, brita, tubos perfurados, sistema de drenagem, etc ) e equipamentos (uso de EPI's pela equipe de trabalho, hora de uso da retroscavadeira e da pá mecânica

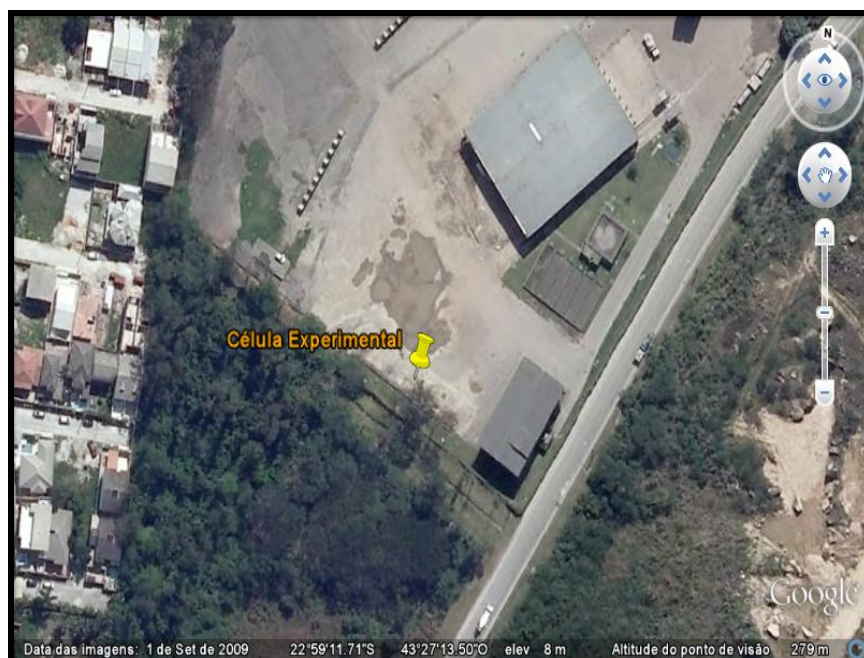


Figura 5 – Área destinada à construção das células experimentais  
(fonte Google earth)



A concepção das células foi realizada avaliando-se os critérios básicos de construção de aterros sanitários, a saber: impermeabilização do solo, compactação dos resíduos, drenagem dos líquidos e gases e cobertura superficial .

### 3.1.2 Controles Operacionais

#### 3.1.2.1 De risco ambiental

- Montagem da base das células (bermas) e dos taludes com resíduos de material de construção e terra compactados a uma altura de aproximadamente 1 metro em relação ao solo.
- Impermeabilização da base receptora dos resíduos com polietileno de alta densidade
- Instalação de sistemas de drenagem de lixiviado e de gases com queimadores
- Contêineres para drenagem dos líquidos contidos na cama de brita e transporte à estação de tratamento de esgoto da usina

#### 3.1.2.2 De biossegurança ocupacional

Para minimização dos riscos de acidentes e riscos à saúde dos trabalhadores envolvidos no projeto, foram adotados equipamentos de proteção individual adequados para cada fase do experimento, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Controle de biossegurança ocupacional

<b>Fase</b>	<b>Atividade executada</b>	<b>Materiais e/ou ferramentas empregadas</b>	<b>Equipe</b>	<b>Equipamento de Proteção Individual (EPI)</b>
<b>Construção</b>	Levantamento dos taludes	balde, pá, ancinho, enxada, carrinho de mão	12 garis	Borzegum com solado antiderrapante, calça, blusa de manga curta, luvas de PVC
	Colocação da manta	roldana	12 garis	Borzegum com solado antiderrapante, calça, blusa de manga curta, luvas de PVC
	Instalação dos sistemas de drenagem	Enxada, pá, carrinho de mão	4 garis	Borzegum com solado antiderrapante, calça, blusa de manga curta, luvas de PVC
	Compactação da argila	Pá, balde, enxada, compactador manual	4 garis	Borzegum com solado antiderrapante, calça, blusa, luvas de PVC
<b>Preenchimento com os resíduos</b>	Rompimento dos sacos de resíduos	Gadanho, pá,	4 garis	Borzegum com solado antiderrapante, macacão impermeável, máscara facial descartável contra partículas tóxicas e vapores orgânicos, óculos tipo ampla visão, avental
	Espalhamento dos resíduos	Enxada, ancinho	4 garis	Borzegum com solado antiderrapante, macacão impermeável, máscara facial descartável contra partículas tóxicas e vapores orgânicos, óculos tipo ampla visão, avental
<b>Amostragem</b>	Escoamento dos líquidos percolados	Balde	1 biólogo	Jaleco, luva de látex, máscara
	Coleta do lixiviado	Termômetro, Proveta, galão de 5L, frasco de 200 ml esterilizado, frasco de 1L	1 biólogo	Jaleco, luva de látex, máscara
<b>Manutenção</b>	Limpeza do entorno	Vassoura, pá, balde, contêiner	1 gari	Borzegum com solado antiderrapante, calça, blusa de manga curta, luvas de látex
	Retiradas de plantas daninhas dos taludes e da cobertura de argila	Enxada, ancinho	1 gari	Borzegum com solado antiderrapante, calça, blusa de manga curta, luvas de látex
	Reparos nas zonas erodidas	Enxada, argila, compactador manual	1 gari	Borzegum com solado antiderrapante, calça, blusa de manga curta, luvas de látex

### 3.1.2.3 De vetores

Durante todas as fases de do projeto, foram realizadas inspeções para verificação de focos de moscas (*Musca domestica* e *Chrisomia megacephala*) e vestígios de roedores (*Rattus rattus*, *Rattus norvegicus* e *Mus musculus*). Diversos pontos de iscagem para controle de roedores foram instalados no entorno das células, e nos ralos e bueiros próximos. O controle de moscas foi realizado através da aplicação de mosquicida granulado, disposto no entorno das células e pela colocação de painéis de atratividade para estes vetores (Figura 6).

O controle de urubus e garças foi realizado através da manutenção da poda de galhos das árvores próximas ao experimento e cobertura dos resíduos, ocasionalmente expostos, com plástico.



Figura 6 – Controle de moscas através de painéis de atratividade

### 3.1.3 Etapas iniciais da construção

Foram montadas 3 células, dispostas lado a lado, separadas por uma distância de 2,0m, numa área total de 200m<sup>2</sup> (100 m<sup>2</sup> de área plana e 100 m<sup>2</sup> de talude). Cada célula apresenta 6,0 m na base maior, 4,5 m na base menor, 5,0 m de altura e 6,0 de profundidade, totalizando um volume de 157,5 m<sup>3</sup>. Para formação dos taludes e das bermas foram utilizados resíduos de construção civil. Sobre os taludes e as bermas, foi colocada inicialmente uma camada de solo argiloso, compactado,

para evitar possíveis danos e perfurações na manta impermeabilizadora (Figura 7).  
As Figuras 8 a 12 ilustram a sequência de atividades.

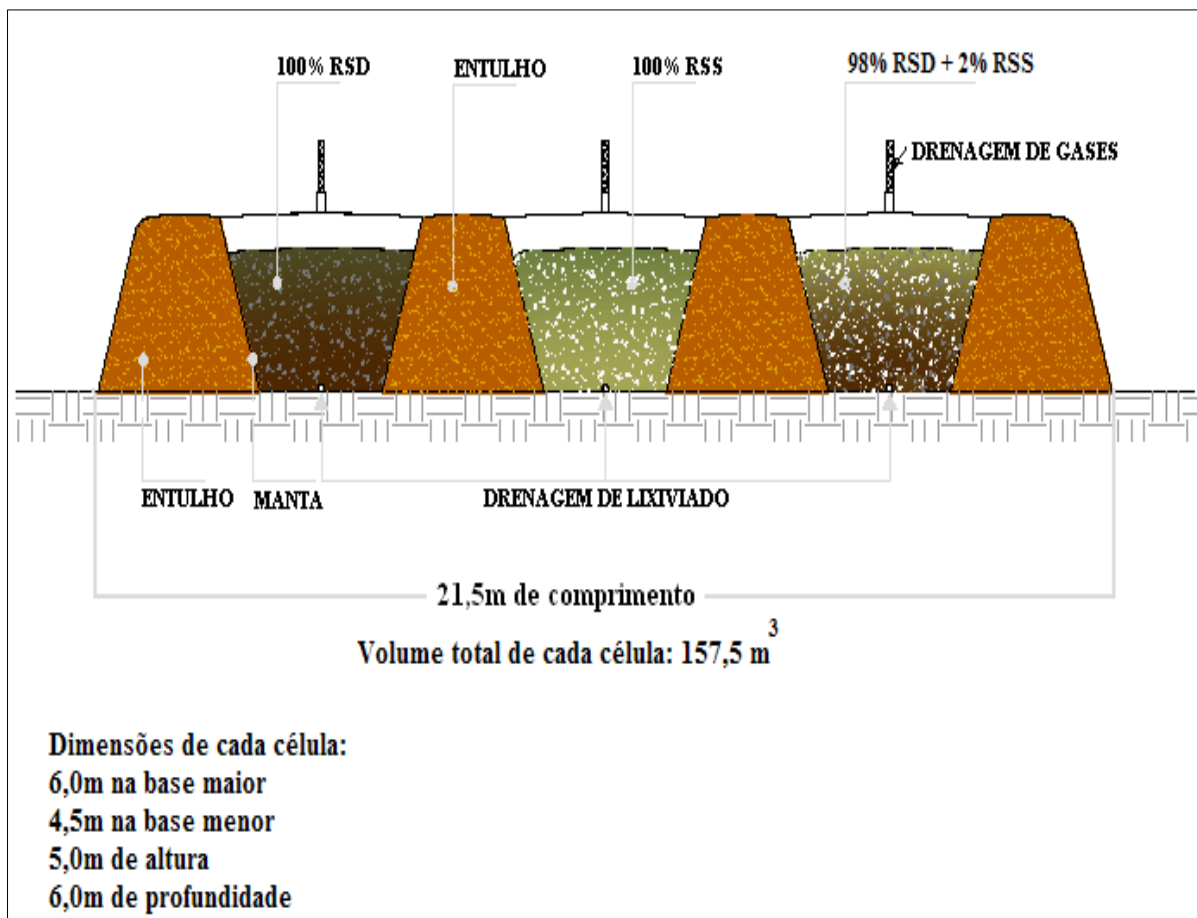


Figura 7 – concepção das células de aterro sanitário



Figura 8 – Fase inicial. Disposição de resíduos de construção civil



**Figura 9 – Formação do talude e das bermas**



**Figura 10 – Face interna das células**



Figura 11 - Acomodação dos resíduos de construção civil sob a forma de pirâmides



Figura 12 - Vista panorâmica das células. - Preparação para recebimento da manta

#### 3.1.4 Sistema de impermeabilização de base

A base e as laterais das células foram impermeabilizadas com uma manta de polietileno de alta densidade (PEAD), com 1,0 mm de espessura. A manta foi estendida sobre a área, acompanhando a topografia das células (Figura 13). Após a conclusão dessa etapa, as células receberam uma camada de 20 cm de solo

argiloso (com exceção da área destinada ao sistema de drenagem de lixiviado e de gases), compactado com o auxílio de um compactador manual.

Dessa forma, procurou-se garantir que os líquidos que percolarem verticalmente através da massa de resíduos encontrem a camada impermeável de argila (Figura 15) e, não tendo como prosseguir, passem a escoar horizontalmente, minando para as valetas de coleta do lixiviado.



Figura 13 (a) e(b) – Diferentes vistas da colocação da manta de PEAD sobre as células

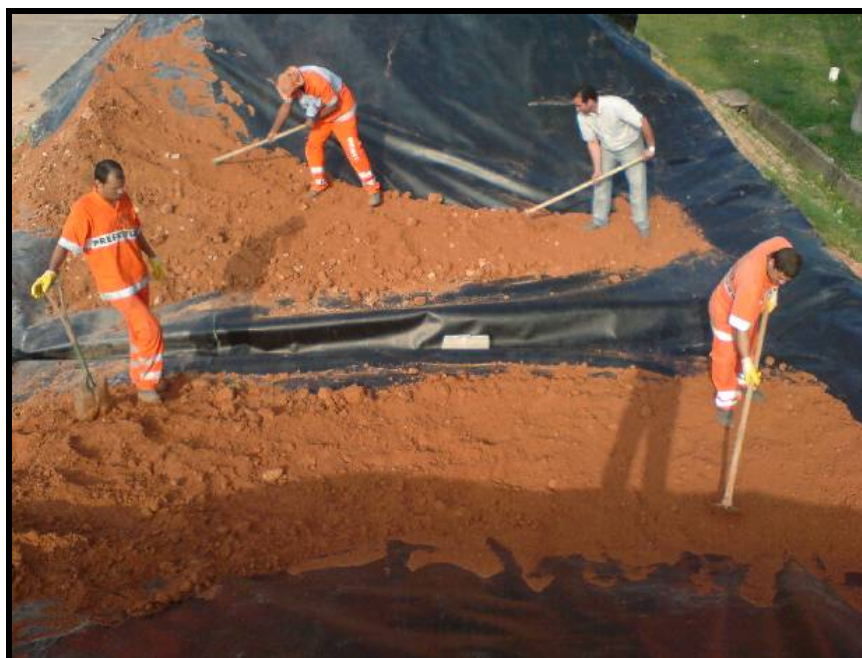


Figura 14 – Cobertura da manta PEAD com argila

### 3.1.5 Sistema de drenagem de lixiviado

As valetas de drenagem foram escavadas manualmente no centro da célula com profundidade de 30cm, 20 cm de largura e 4 m de comprimento. Após a impermeabilização com manta PEAD, as valetas de drenagem foram cobertas com uma manta de BIDIM 400 (5mx2,5m) (Figura 15). Em sequência, foi instalado o sistema de drenagem, composto por um tubo do tipo canaflex (Figura 16), conectado a um receptor de tubo PVC 50mm acoplado a uma união-registro de PVC 50mm e a uma torneira com saída curva de 90°, para coleta das amostras. As valetas contendo os tubos foram preenchidas com brita nº3 (Figura 17), iniciando com uma altura de 10 cm de altura (parte posterior da célula), que ia se aprofundando até 30cm (parte frontal da célula). O BIDIM foi, então, dobrado sobre a cama de brita, envolvendo-a completamente. Esse dispositivo além de filtrar o efluente, facilita seu escoamento, evitando a colmatagem.



Figura 15 – Valeta para drenagem com tubo “canaflex” revestida por BIDIM





Figura 16 – Torneira para coleta das amostras



Figura 17 – Finalização das valetas com depósito das britas

### 3.1.6 Sistema de drenagem de gases

Foram construídos drenos verticais, de seção circular, com tubulação de PVC DN 100 mm perfurada (furos de 3/8mm), com 2,3 m de comprimento e uma tela de arame de 1 m de altura e 2 m de comprimento, indo, desta forma, desde a base da massa de resíduos até a 20 cm acima da camada superficial de argila. O tubo foi

disposto no centro da célula, sobre a valeta de drenagem de lixiviado. Em seguida, a tela de arame foi arrumada em torno do tubo, com uma distância de 10 cm, e suas laterais costuradas com arame de forma a envolver todo o tubo (Figura 18). O espaço entre o tubo e a tela foi preenchido com brita nº3. Esse trabalho foi realizado na medida em que os resíduos iam sendo depositados, dando suporte ao sistema. Após o enchimento das células e impermeabilização superficial, foram colocados queimadores de ferro galvanizado acoplados ao tubo de PVC, uma vez que não está prevista a coleta dos gases gerados.



(a)

(b)

Figura 18 (a) e (b) – Diferentes vistas da implantação do sistema de drenagem de gases

### 3.1.7 Conteúdo das células

As células são identificadas de C1 a C3. As diferentes concentrações de RSD e RSS em cada célula estão demonstradas na Tabela 5, com destaque para C3, a qual apresenta a relação percentual real de RSD e RSS coletadas diariamente pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB, 2009). Desta forma, a relação de 98% de RSD e 2% de RSS foi escolhida para uso na célula C3.

Tabela 3 – Distribuição dos resíduos sólidos de serviço de saúde (RSS) e dos resíduos sólidos domiciliares (RSD) nas células.

<i>Célula</i>	<i>RSD (%)</i>	<i>RSS (%)</i>
C1	100	0
C2	0	100
C3	98	2

Conforme critérios técnicos operacionais adotados em aterros sanitários, a Célula 3 recebeu primeiramente 98 % de RSD e posterior cobertura com 2 % de RSS.

### 3.1.8 Espalhamento e compactação dos resíduos sólidos na célula

Finalizadas as etapas de montagem do sistema de drenagem de lixiviado, colocação da camada de argila sobre a manta e preparação para o sistema de drenagem de gases, deu-se início ao preenchimento das células com os resíduos sólidos.

Em dias típicos de coleta, os resíduos sólidos domiciliares chegam à Usina de Reciclagem e Compostagem de Jacarepaguá em caminhões após cumprir o roteiro em área residencial de um determinado bairro. Essa carga de resíduos é, então, despejada na Estação de Transferência, de onde os resíduos são retirados e depositados em uma carreta para serem transportados ao aterro de Gramacho. Para o experimento, os caminhões eram selecionados ao acaso, ou seja, não havia escolha de itinerário, e quantificada a massa, em toneladas, dos resíduos a serem colocados nas células (Figura 19). Da balança, os caminhões se dirigiam à área do experimento e todo o seu conteúdo era esvaziado no solo (Figura 20). Com o auxílio de uma ferramenta do tipo gadanho, a equipe de garis rasgava os sacos para exposição dos resíduos.



Figura 19 – Caminhão estacionado na balança



Figura 20 – Caminhão vazando resíduo no solo

Uma pá mecânica se revezava com uma retro-escavadeira no carregamento dos resíduos e colocação sobre a base das células (Figura 21).



Figura 21 – Operação com a retro-escavadeira

À medida que, os resíduos eram depositados, o sistema de drenagem de gases era erguido e as laterais do talude, impermeabilizadas com PEAD, recebiam a camada de argila, compactada manualmente (Figura 22).



Figura 22 – Colocação de argila nas laterais da célula

O nível de compactação da massa de resíduos e da cobertura superficial, previsto para o dimensionamento das células, está embasado na operação das pás de uma pá mecânica e de uma retro-escavadeira. A cada colocação dos resíduos, as pás pressionavam o conteúdo sobre a base das células até a última camada de resíduo e de selagem com argila. Com o fim da etapa de selagem, tomou-se a data de início de operacionalização da célula.

A Figura 23 mostra uma vista panorâmica após a cobertura superficial de argila.



Figura 23 – Panorâmica das células após finalização

## 3.2 Análises realizadas

### 3.2.1 Vazão do lixiviado gerado

A quantidade de lixiviado gerado em um aterro é função basicamente de três fatores: teor de matéria orgânica, de umidade dos resíduos e da precipitação pluviométrica da região. A avaliação da vazão de líquidos das células experimentais foi realizada 2 vezes por semana. Os líquidos foram escoados da valeta de coleta através da torneira até a seu completo esvaziamento. Decorridas 24 horas, o procedimento foi repetido com a retenção do volume escoado para aferição.

Para um melhor acompanhamento das águas pluviais, que possivelmente infiltram na célula, foi consultado o site da Georio da prefeitura (site: [www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/alerta.htm](http://www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/alerta.htm)). A Figura 24 apresenta a localização das estações pluviométricas da região próxima aos experimentos.

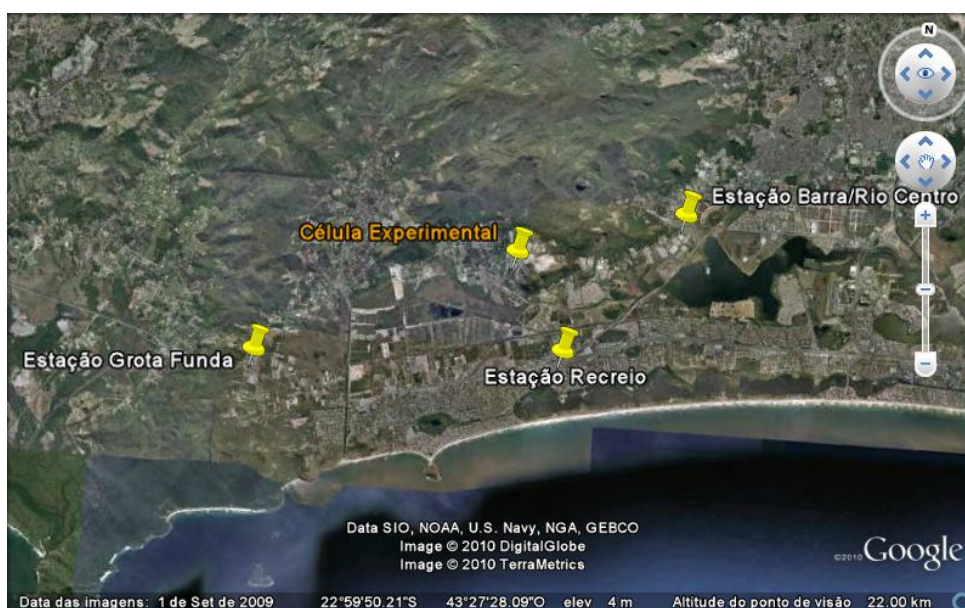


Figura 24 – Principais estações pluviométricas localizadas no entorno da área experimental (fonte - site: [www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/alerta.htm](http://www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/alerta.htm))

### 3.2.2 Coleta das amostras

A primeira amostra correspondeu ao líquido gerado 15 dias após o fechamento das células com a camada de argila. Toda amostra foi composta pelo líquido gerado nas células em 24 horas. Em sequência, as amostras foram encaminhadas para os seguintes laboratórios:

- Laboratório de Físico-química da Gerência de Pesquisas Aplicadas da COMLURB para as análises de metais (Ni, Pb, Cr, Cd, Cu, Na, Zn e Fe);
- Laboratório de Engenharia sanitária e Meio Ambiente da UERJ (LES) para as análises físico-químicas e os ensaios de toxicidade.

O Quadro 3 apresenta a periodicidade de coleta das amostras de lixiviado das 3 células experimentais.

**Quadro 3 – Periodicidade da coleta de acordo com o tipo de análise.**

<b>Tipo de análise</b>	<b>Periodicidade</b>
<b>Físico-química</b>	<b>3 vezes/mês</b>
<b>Toxicologica</b>	<b>1 vezes/mês</b>

### 3.2.3 Caracterização gravimétrica e composição física dos RSD

Quatro amostras contendo um volume de 240 litros foram retiradas aleatoriamente da massa de resíduos sólidos destinada ao enchimento das células 1 e 3 e submetida a um detalhado processo de caracterização de seus constituintes (COMLURB, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009). O objetivo desta separação é favorecer o entendimento das fases do processo degradativo e estimar o tempo de degradação dos compostos presentes na massa de resíduos. Para composição de cada amostra procedeu-se de acordo com o que sugere a Norma D5231 (ASTM-1992).

A amostra foi exposta em uma mesa de caracterização com peneira (21) e os constituintes foram separados. Em seguida, foi realizada a identificação dos componentes de acordo com os seguintes parâmetros: papel (jornais, revistas, cadernos, livros); papelão (embalagens, sacolas); embalagens do tipo “Tetra Pack”; plástico (duro, filme, PET); vidro (claro, escuro); metal (ferroso, não ferroso); inertes (louça, cerâmica, pedra, concreto); folhas e flores; madeira; borracha; pano ou trapo; couro; osso; coco; vela ou parafina; eletrônicos; matéria orgânica putrescível e agregados finos. A Figura 25 demonstra como é realizada a Caracterização.



Figura 25 – Mesa de caracterização gravimétrica

#### 3.2.4 Caracterização gravimétrica e composição física dos RSS

Quatro amostras de RSS contendo um volume de 240 litros de RSS foram retiradas aleatoriamente da massa de resíduos destinada ao enchimento das células 2 e 3. A amostra foi disposta sobre um filme plástico, seus componentes foram pesados e em seguida caracterizados gravimetricamente (Figura 26).



Figura 26 – Composição física dos RSS



### 3.2.5 Caracterização físico-química do lixiviado

Os parâmetros físico-químicos analisados nas amostras de lixiviado foram: pH, turbidez, alcalinidade total, cor, condutividade, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Carbono Orgânico Total (COT), cloreto, sulfato, nitrogênio amoniacal, metais e sólidos totais dissolvidos e suspensos. As determinações analíticas foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos em AWWA, WPCF e APHA (2005).

O Quadro 4 apresenta as metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros físico-químicos nas amostras de lixiviados

Quadro 4 - metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros físico-químicos

PARÂMETROS	EQUIPAMENTOS	APHA, 2005
<b>pH</b>	pHmetro	Método 4500 H <sup>+</sup> B
<b>Condutividade</b>	Condutímetro	Método 2510 B
<b>Alcalinidade</b>	Placa de agitação	Método 2320 B
<b>Sólidos</b>	Bomba de vácuo, estufa, mufla, balança analítica e kit de filtração	Métodos 2540 B, 2450 C, 2540 D e 2540 E
<b>COT</b>	Analizador de carbono orgânico	Método 5310 B
<b>DQO</b>	Digestor de DQO e espectrofotômetro	Método 5220 D
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Oxímetro e estufa para DBO	Método 5210 B
<b>Dureza</b>	Placa de agitação	Método 2340 C
<b>Fósforo Total</b>	Placa de aquecimento e espectrofotômetro	Método 4500 – P E
<b>Turbidez</b>	Turbidímetro	Método 2130 B
<b>Cor</b>	Espectrofotômetro	Método 2120 D
<b>Sulfato</b>	Placa de agitação e espectrofotômetro	Método 4500 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
<b>Cloreto</b>	Placa de agitação	Método 4500 Cl <sup>-</sup> B
<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	Eletrodo íon seletivo de amônia	Método 4500 – NH <sub>3</sub> D
<b>Nitrogênio Total de Kjeldahl</b>	Aparelho digestor e destilador de Kjeldahl	Método 4500 – N <sub>ORG</sub> D
<b>Metais</b>	Espectrofotômetro de absorção atômica	Método 3030-D e 3030-E

### 3.2.6 Toxicologia

#### 3.2.6.1 Determinação do organismo de teste

Para a realização de testes de toxicidade utilizando organismos aquáticos é de extrema

importância que o organismo selecionado pertença a um grupo taxonômico representante do ecossistema aquático (BERTOLETTI e DOMINGUES, 2006).

Além deste requisito, de ser parte integrante de alguma cadeia trófica no ecossistema aquático, Boher (1995) inclui nestes critérios a disponibilidade e abundância do organismo-teste no ambiente, facilidade de manutenção e cultivo em laboratório além de possuir um amplo conhecimento da biologia da espécie.

Ao selecionar determinada espécie para ser utilizada como organismo-teste em testes de toxicidade a sensibilidade deste organismo deve ser observada. É necessário que determinada espécie seja bastante sensível a uma diversidade de agentes químicos, de maneira que possibilite a obtenção de resultados precisos, garantindo desta forma boa repetibilidade e reprodutibilidade dos resultados (BERTOLETTI e DOMINGUES, 2006).

Rand et al., (1995) menciona que as espécies diferem de um ecossistema a outro em quantidade e diversidade, sendo que a definição do organismo a ser utilizado deve ser baseada em considerações específicas do problema a ser solucionado. Ainda segundo este mesmo autor, não existe uma espécie que atenda a todos estes requisitos, para todos os ecossistemas.

Os peixes atuam como importante recurso ao exercer a função de bioindicadores de áreas possivelmente contaminadas. Estes organismos têm sido utilizados para testes de toxicidade de efluentes e são considerados organismos padrão para testes de toxicidade aguda, assim como para testes de toxicidade crônica.

A espécie *Danio rerio* (Hamilton, 1822), escolhida como organismo teste, é originária da Índia e do Paquistão (ABNT, 2003) e pertence à família Cyprinidae (Ordem Cypriformes). Esta espécie exótica é internacionalmente padronizada (Meletti; Rocha; Martinez, 2003), além de ser recomendada como espécie teste pelo IBAMA (1990) e pela ABNT (2003) (Figura 25).



Figura 27 – *Danio rerio*, organismo-teste utilizado nos experimentos de toxicidade  
Fonte: (MELETTI; ROCHA; MARTINEZ, 2003)

*Danio Rerio* é uma espécie ativa e, por isso, apresenta alta taxa respiratória, permitindo que uma grande quantidade de água passe pelas brânquias, tornando a ingestão de substâncias químicas do meio igualmente rápida (Lloyd, 1992). A espécie é ovovívora, onívora, tem comprimento médio entre 3 e 5 cm, apresenta ciclo de vida curto e, devido ao seu pequeno porte, requer pouco espaço e água para a realização dos testes. Além disso, pode ser facilmente obtida por meios comerciais ou pelo cultivo em laboratório sem grandes custos, durante todas as épocas do ano (BERTOLETI, 2000; MAAK; SEGNER, 2003; NJIWA; MULLER, 2004).

A determinação da toxicidade aguda em relação à *Danio rerio* seguiu a metodologia descrita na NBR 15088/2004, com adaptações relacionadas ao volume do frasco. O ensaio consiste na exposição de peixes a diferentes diluições da amostra, num sistema estático por um período de 48 horas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Implantação das células

No decorrer da construção das células, diversos fatores externos contribuíram para o atraso na finalização da obra, que teve início em junho de 2009. Dentre eles, citam-se as chuvas intermitentes durante os meses de novembro de 2009 a abril de 2010, que diminuíram o ritmo das atividades a céu aberto; a dificuldade para se adquirir a argila para cobertura da manta devido aos períodos chuvosos que se sucederam e que prejudicaram a remoção e o transporte deste tipo de material; escassez de mão-de-obra operacional, uma vez que nos meses de janeiro a maio, a COMLURB realiza um trabalho de caracterização gravimétrica de resíduos, para o qual são recrutados todos os empregados da Gerência de Pesquisas. Entretanto, o problema mais grave enfrentado durante a construção das células teve início nos dias 29 e 30 de maio de 2010 quando diversos bairros do Rio de Janeiro, incluindo Vargem Pequena onde se localiza a Usina de Jacarepaguá, foram atingidos por chuvas e ventos intensos o que ocasionou a destruição das mantas já posicionadas e da cobertura de argila (Figuras 28 e 29).



Figura 28 – Rompimento da manta de PEAD devido aos fortes ventos. Deslocamento da argila que aplainava as células devido à força da água das chuvas.



Figura 29 – Manta de PEAD danificada (à esquerda) e manta nova (à direita)

Em decorrência disso, houve necessidade de se adquirir novo material (manta e argila) e promover a recolocação (Figuras 30 e 31).



Figura 30 – Estiramento da manta sobre a superfície das células



Figura 31 – Ancoramento da manta com a argila

#### 4.2 Sistemas de drenagem

A célula C1 foi a primeira a ser finalizada e, desta forma, foi possível iniciar as avaliações por este local. Até a presente data (24/01/2011), a constante geração de lixiviado em quantidades satisfatórias, no colchão de brita, lançado pela abertura da torneira comprova a eficiência do sistema de captação de lixiviado em C1, C2 e C3. Não foram observados vazamentos em nenhum ponto das 3 células.

Ainda não foi verificada a formação de gás inflamável a ser captado pelos sistemas de drenagem. No entanto, o calor desprendido (fumaça) pela massa de resíduos em C1 foi notado pela sua liberação através dos drenos imediatamente após a cobertura superficial com argila. Esse desprendimento inicial de calor corrobora as afirmações de Pohland e Harper (1985), ao avaliar a estabilização dos resíduos em aterro em função do tempo. Segundo esses autores, durante a fase de ajustamento inicial, os micro-organismos aeróbios e facultativos degradam a matéria orgânica liberando grande quantidade de calor.

### 4.3 Conteúdo das células

#### – Célula 1

A célula 1 (C1) foi a primeira a receber os resíduos. A Tabela 3 mostra as medidas de massa e a identificação dos caminhões destinados à C1. No período de 30 dias a célula foi preenchida com 43,350 toneladas de RSD. O intervalo mais longo entre os dois primeiros descartes e os dois últimos se deveu à falta de solo argiloso para o revestimento das laterais do talude. Durante todo esse período, os resíduos depositados sobre C1 permaneceram totalmente cobertos por cobertura impermeabilizadora em PEAD.

Tabela 4 – Identificação dos caminhões, roteiro e conteúdo destinado à C1

<i>Caminhão</i>	<i>Bairro</i>	<i>Data</i>	<i>Massa de RSD (ton)</i>
R23	Barra da Tijuca	21/07/10	11,97
R31	Recreio	27/07/10	11,24
R31	Recreio	24/08/10	11,36
R31	Recreio	31/08/10	8,78
<b>Total</b>			<b>43,35</b>

#### – Célula 2

Atualmente, o destino dos RSS coletados pela COMLURB é a célula especial do Aterro Metropolitano de Gramacho, situado no município de Duque de Caxias. Dessa forma, houve uma alteração no roteiro das viaturas que transportam os RSS, que passaram a ir diretamente para a área do experimento após cumprir o roteiro de coleta hospitalar. Os RSS coletados pela COMLURB são oriundos de hospitais e maternidades do município do Rio de Janeiro, de clínicas médicas, de residências onde existam usuários de “home care”, portadores de doenças infecto-contagiosas ou portadores de diabetes, e de clínicas veterinárias. Os resíduos foram expostos através do rompimento dos sacos hospitalares e a pá mecânica realizava a transferência para a base das células. Essa operação durou 11 dias. No entanto, a finalização com a cobertura de argila só ocorreu após dois meses devido a problemas operacionais. Durante esse período, a célula permaneceu coberta por manta PEAD para impedir a entrada de chuva.

Na Tabela 4 estão apresentadas as características dos RSS depositados na C2. Pode-se observar que a COMLURB coleta, em média, 1,950 tonelada de RSS

por dia. Ao final, 13,680 toneladas de RSS foram depositadas em C2, atingindo a sua capacidade máxima.

Tabela 5 – Identificação dos caminhões, roteiro e conteúdo destinado à C2

<b>Viaturas</b>	<b>Data</b>	<b>Massa de RSS (ton)</b>	<b>Viaturas</b>	<b>Data</b>	<b>Massa de RSS (ton)</b>
D58L	13/09/10	0,07	A59L	20/09/10	0,73
C58L	13/09/10	0,25	M65	20/09/10	0,20
M65	13/09/10	0,26	E58L	20/09/10	0,22
E58	13/09/10	0,30	E58L	20/09/10	0,21
A58L	13/09/10	0,08	D58L	20/09/10	0,11
A59L	13/09/10	0,96	C58L	20/09/10	0,33
			A59L	20/09/10	0,46
<b>Total diário</b>		1,92	<b>Total diário</b>		2,26
D58L	14/09/10	0,15	A59L	21/09/10	0,56
A59L	14/09/10	0,21	M65	21/09/10	0,20
A59L	14/09/10	0,55	E58L	21/09/10	0,20
A58L	14/09/10	0,16	A59L	21/09/10	0,11
E58L	14/09/10	0,21	C58L	21/09/10	0,27
M65	14/09/10	0,18	D58	21/09/10	0,11
<b>Total diário</b>		1,46	<b>Total diário</b>		1,45
A58L	15/09/10	0,17	A59L	22/09/10	0,76
A59L	15/09/10	0,76	M65	22/09/10	0,16
E58L	15/09/10	0,15	E58L	22/09/10	0,24
D58L	15/09/10	0,04	C58L	22/09/10	0,04
M65	15/09/10	0,28	A59L	22/09/10	0,30
A59L	15/09/10	0,22	D58L	22/09/10	0,27
<b>Total diário</b>		1,62	<b>Total diário</b>		1,77
A59L	16/09/10	0,35	A59L	23/09/10	0,32
M65	16/09/10	0,09	D58L	23/09/10	0,15
E58	16/09/10	0,59	A59L	23/09/10	0,47
C58L	16/09/10	0,17	A58L	23/09/10	0,20
M65	16/09/10	0,16	E58L	23/09/10	0,34
A59L	16/09/10	0,36			
<b>Total diário</b>		1,72	<b>Total diário</b>		1,48
			<b>Total da célula</b>		<b>13,68</b>

### – Célula 3

A célula C3 foi inicialmente preenchida com 42,360 toneladas de RSD, equivalendo ao conteúdo de 4 caminhões de coleta inteiros e cerca de 1/5 do conteúdo de 1 caminhão inteiro (2 toneladas). O percentual de 2% previsto para os RSS dispostos em C3 foi calculado com base na massa total disposta na célula C1. Os valores de massa determinados para C3 estão demonstrados na Tabela 5. Os RSS (0,847 toneladas) foram depositados por último, sobre a massa de RSD. No entanto, a finalização com a cobertura de argila só ocorreu após dois meses devido a problemas operacionais. Durante esse período, a célula permaneceu coberta por manta PEAD para impedir a entrada de chuva.



Tabela 6 – Identificação dos caminhões, roteiro e conteúdo destinado à C3

<i>Roteiro</i>	<i>Data</i>	<i>Tipo de resíduo</i>	<i>Massa (ton)</i>
Recreio	29/07/10	RSD	10,55
Barra da Tijuca	10/08/10	RSD	10,22
Recreio	31/08/10	RSD	2,00
Recreio	02/09/10	RSD	9,93
Barra da Tijuca	30/09/10	RSD	9,66
<b>Total de RSD</b>			<b>42,36</b>
	01/10/10	RSS	0,63
	01/10/10	RSS	0,22
<b>Total de RSS</b>			<b>0,85</b>
<b>Total de RSD e de RSS</b>			<b>43,21</b>

A quantidade de massa de resíduos necessária para preencher as células C1 e C3 foi aproximadamente 3,17 vezes superior à massa de RSS necessária ao preenchimento da célula C2. Isso pode ser explicado pelas diferenças no parâmetro de massa específica, ou peso específico, entre os RSS e os RSD. A massa específica é a razão entre a massa e o volume do resíduo, geralmente expressa em  $\text{kg/m}^3$ . Essa característica está relacionada às propriedades de compressão ou compactação dos resíduos. Os RSD depositados nas células C1 e C3 apresentaram massa específica de  $320 \text{ kg/m}^3$ , enquanto que os RSS dispostos na célula C2 apresentaram massa específica de  $101 \text{ kg/m}^3$ .

#### 4.4 Caracterização gravimétrica dos RSD

A Figura 32 apresenta a caracterização gravimétrica dos RSD destinados às Células C1 e C3.

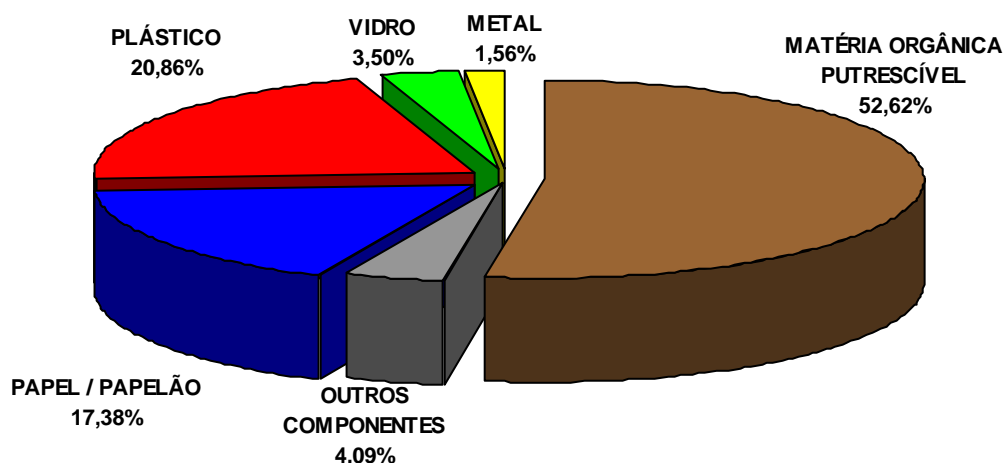


Figura 32 – Caracterização Gravimétrica dos RSD das Células C1 e C3

Para verificar se os RSD utilizados nos experimentos apresentavam características gravimétricas compatíveis com o que se tem coletado pela COMLURB e conseqüentemente disposto no aterro, foi necessário comparar esses valores, tendo por base os dados apresentados pela série histórica do trabalho de “Caracterização Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município do Rio de Janeiro” (COMLURB, 2009). Como pode ser observado na Figura 31, o percentual de matéria orgânica putrescível da Área de Planejamento de Saúde 4.0 (IPP, 2006), onde estão localizados os bairros cujas coletas foram empregadas no experimento, estava nos últimos anos, acima de 40%. Esse valor se harmoniza com os dados deste estudo, no qual foi verificado um percentual de 52,62% de matéria orgânica putrescível (Ver figura 01). Do mesmo modo, os percentuais de papel/papelão dos resíduos do experimento estão dentro do que era esperado (17,38%), particularmente quando se compara com os percentuais do ano de 2003 a 2009 (menos do que 20%), conforme mostra a figura 02.

#### 4.5 Composição física dos RSS

A Figura 33 apresenta a caracterização gravimétrica dos RSS destinados as células C2 e C3.

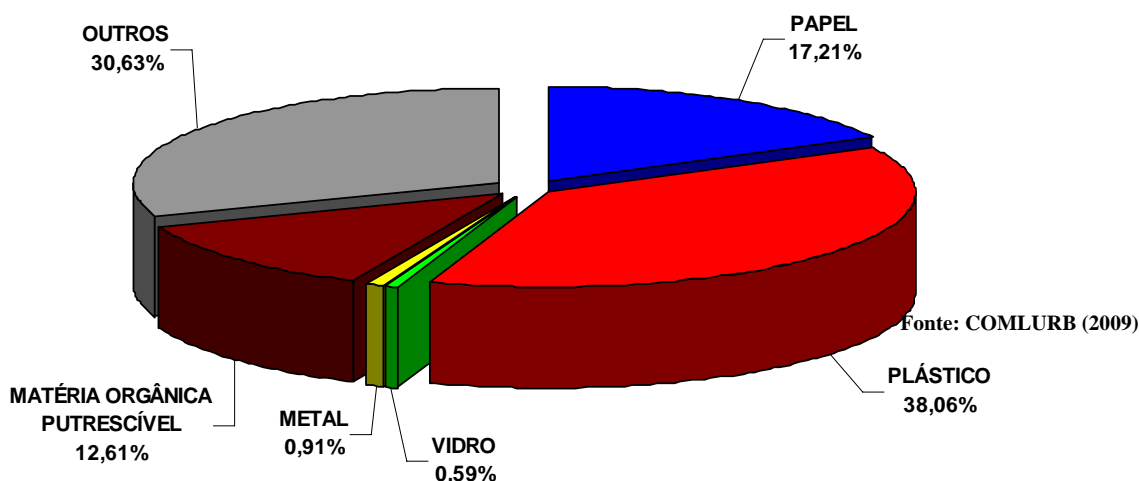


Figura 33 – Caracterização Gravimétrica dos RSS das Células C2 e C3

No Quadro 5 estão apresentadas as especificações dos componentes identificados nas amostras de RSS representativas da massa utilizada nos experimentos (C2 e C3).

Quadro 5 – Composição física dos RSS das 6 amostras coletadas da massa de resíduos

Componente	Presente	Ausente	Especificação
Papel	x		Papel toalha, papel higiênico, encarte de jornal, papel carbono
Papelão	x		Caixa coletora de perfurocortante, caixa de remédio, caixa de pasta de dente
Embalagem “Tetra Pack”		x	
Plástico duro	x		Pote de iogurte, canudo, talher, embalagem para alimento, frasco de soro, seringa, frasco de solução de povidine, copo de refresco industrializado, frasco coletor de urina/fezes, copo descartável, frasco de álcool 70°INPM
Plástico filme	x		Embalagem plástica para autoclavagem
PET	x		Garrafa de refrigerante
Vidro incolor	x		Ampola de injeção, remédio (antibiótico)
Vidro colorido	x		Ampola para injeção
Metal ferroso	x		Agulha
Metal não ferroso	x		Cartela de comprimido, lata de suco
Inertes		x	
Madeira		x	
Borracha	x		Luva, garrote de látex
Pano/trapo	x		Atadura, gaze, avental de pano, fralda, pano com sangue, jaleco descartável, máscara de pano.
Matéria orgânica putrescível	x		Peça anatômica, sangue coagulado, víscera, placenta
Outros	x		Aparelho de diálise, esponja de limpeza, esparadrapo

Com base nessas informações, pode-se concluir que os RSS coletados pela COMLURB estão representados pelas classes A (A1, A2, A3 e A4), B, D e E, conforme classificação detalhada no item 2.5. De acordo com a COMLURB, responsável pela coleta de RSS do município do Rio de Janeiro, o padrão da composição física obtido para este trabalho se compatibiliza com o que é verificado, em média, anualmente, para os hospitais, instituições de saúde, residências e veterinárias da cidade (Dados não publicados).

#### 4.6 Coleta e vazão do lixiviado

As medidas de vazão de geração de lixiviado nas Células C1, C2 e C3 são mostradas na Tabela 6. Na Figura 34 é possível observar a coleta do percolado, com destaque para o seu aspecto claro e translúcido. A primeira amostragem de cada Célula foi realizada 15 dias após seu fechamento com a cobertura de argila.

Tabela 7 – Vazão do percolado gerado na Célula C1, C2 e C3 por dia

<i>Data</i>	<i>Tempo de operação C1 (dias)</i>	<i>Vazão da C1 (L/dia)</i>	<i>Tempo de operação C2 (dias)</i>	<i>Vazão da C2 (L/dia)</i>	<i>Tempo de operação C3 (dias)</i>	<i>Vazão da C3 (/dia)</i>
16/09/10	15	13	-	-	-	-
06/10/10	45	18	-	-	-	-
12/11/10	52	34	-	-	-	-
22/12/10	92	140	37	120	27	40
29/12/10	99	60	44	90	34	150
05/01/11	106	60	51	130	41	100
11/01/11	112	120	56	210	46	400
18/01/11	119	40	63	180	53	210



Figura 34 – Aspecto do percolado gerado na Célula C1, 15 dias após o fechamento

O processo de geração de lixiviado é influenciado por fatores climáticos (precipitação pluviométrica, evapotranspiração e temperatura). Dessa forma, foram analisadas as médias dos índices pluviométricos das estações situadas nos bairros mais próximos à área do experimento. Na Figura 35, podem-se acompanhar os períodos de chuvas durante a construção, espalhamento dos resíduos e finalização com a cobertura superficial (janeiro a agosto de 2010). A primeira coleta de lixiviado foi realizada no dia 16 de setembro de 2010. Do período de coleta, destaca-se o aumento gradativo do índice pluviométrico no mês de setembro de 2010.

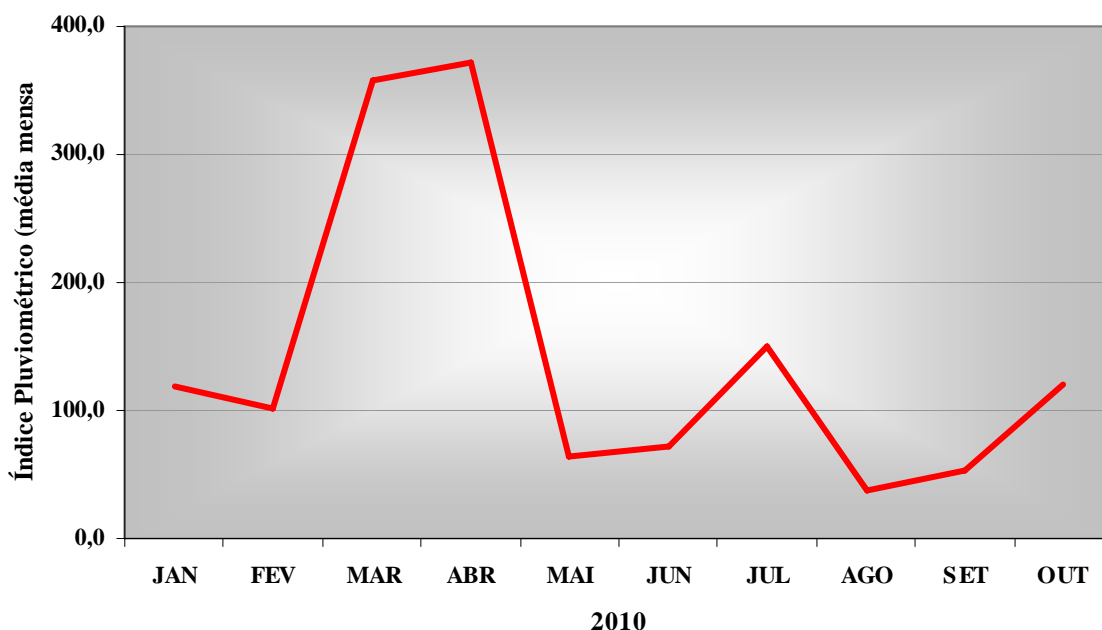


Figura 35 – Média dos índices pluviométricos mensais das estações mais próximas da área onde está localizado o experimento (fonte - site: [www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/alerta.htm](http://www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/alerta.htm))

#### 4.7 Caracterização físico-química do lixiviado

Os resultados disponibilizados até o momento são em sua maior parte referentes à análise das amostras coletadas na célula C1, que teve seu início no dia 16/09/2010. As primeiras coletas das células C2 e C3 foram realizadas no dia 01/12/2010 e 10/12/2010 respectivamente .

##### 4.7.1 Características físico-químicas do lixiviado da Célula C1

As características físicas, químicas e biológicas dos lixiviados dependem do tipo de resíduo aterrado, do grau de decomposição, do clima, da estação do ano, da idade do aterro, da profundidade do resíduo aterrado, do tipo de operação do aterro, entre outros fatores. Logo pode-se afirmar que a composição dos lixiviados pode variar consideravelmente de um local para outro, como também em um mesmo local e entre épocas do ano (REINHART; GROSH, 1998).

Os resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados estão apresentados na Tabela 08.

Tabela 8 – Caracterização físico –química da Célula C1

TEMPO DE OPERAÇÃO PARÂMETROS	15 DIAS	19 DIAS	33 DIAS	47 DIAS	64 DIAS	78 DIAS	87 DIAS	108 DIAS	122 DIAS	141 DIAS
	16/09/2010	22/09/2010	06/10/2010	20/10/2010	08/11/2010	22/11/2010	01/12/2010	22/12/2010	05/01/2011	24/01/2011
pH	7,2	7,27	6,99	7,72	6,73	6,53	6,68	5,8	6,38	6,1
Turbidez (UNT)	137	38	435	402	476	458	776	268	147	129
Condutividade (uS/cm)	2430	1418	1446	2190	2530	2370	1448	1124	2660	2550
COD (mg/L)	61,55	42,34	31,27	7,59	39,99	40,34	35,8	58,32	-	74,34
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	484,80	242,40	464,60	525,20	707,00	626,2	646,4	639,7	673,3	740,7
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	911	677	340,6	289	443,8	206,4	371,5	480,2	619,2	563,8
DQO bruta (mg/L)	75	91	92	90	182	137	175	217	305	306
DQO filtrada (mg/L)	72	88	84	84	162	132	143	116	211	204
Fósforo Total (mg P/L)	0,117	0,024	0,03	0,054	0,046	0,073	0,027	-	-	-
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	34	15	16	3	46	18	24	-	-	-
NTK (mg N-NH <sub>3</sub> /L)	139	127	64	77	63	28	43	47	58	-
Nitrogênio Amoniacal (mg N-NH <sub>3</sub> /L)	130	101	58	61	51	26	38	43	41	44
SST (mg/L)	37	50	53	23	123	113	126	214	194	140
SDT(mg/L)	1033	1087	1207	1430	1667	1747	1944	1914	2240	2200
ST(mg/L)	1137	1220	1260	1453	1790	1860	2070	2128	2434	2340
Cloreto (mg/L)	286	345	468	537	764	779	769	641	808	739
Sulfato (mg/L)	9,6	6,7	7	47,6	169,2	192,3	646,4	14,6	64,6	23,1
Cor aparente (uC)	865	805	900	409	1410	428	113	66	147	1030
Cor verdadeira (uc)	181	103	53	34	75	51	22	40	179	144

Avaliando os resultados obtidos com a análise do percolado oriundo das célula C1 percebemos que o valor de pH está sempre próximo do valor da variação normalmente observada em outros aterros. Este valor de pH aproxima-se do valor típico de aterros jovens

O pH se apresentou próximo da neutralidade nas 3 primeiras coletas, sendo evidenciado um aumento na quarta coleta (47 dias). Nos processos de degradação que se sucedem em um aterro, o pH pode ser entendido como o retrato da decomposição biológica da matéria orgânica, uma vez que o desenvolvimento dos micro-organismos está diretamente relacionado às faixas de pH. De acordo com Tchobanoglous e Kreith (2002), os ácidos voláteis são excelentes indicadores do grau de degradabilidade e dos processos anaeróbios, pois são gerados na fase acidogênica e consumidos na fase metanogênica.

A amônia inicialmente obteve valor de 130 mg N-NH<sub>3</sub>/L (15 dias) mas com o aumento da pluviosidade, à partir do mês de setembro, o seu valor diminuiu constantemente até chegar no valor sofreu um constante processo de diminuição de seus valores até alcançar o valor de 44 mg N-NH<sub>3</sub>/L (141 dias). De igual forma, com o aumento pluviométrico o Cloreto sofreu um paulatino aumento de concentração.

No lixiviado, as partículas sólidas presentes são constituídas não só por frações de matéria orgânica, como por partículas de materiais inertes não dissolvidos e carregados pelo percolado, que influenciam na entrada de luz e diminui o valor de saturação do oxigênio dissolvido (Jordão e Pessoa, 2005). Os primeiros resultados obtidos da análise do lixiviado da célula C1 para Sólidos Totais e Sólidos Suspensos Totais se mostraram elevados. A salinidade, inferida do parâmetro dos SDT, também se apresentou elevada.

A relação DBO<sub>5</sub>/DQO tem sido usada como indicador do nível de degradação biológica do lixiviado (Amaral, 2007). A idade do aterro também varia a relação DBO<sub>5</sub>/DQO, e permite estabelecer correlações com o estado de degradação dos percolados (Fernandez-Viña, 2000). Para aterros jovens, os valores da relação DBO<sub>5</sub>/DQO variam entre 0,5 e 0,8, pois uma fração considerável corresponde a ácidos graxos voláteis. Para aterros antigos, esses valores caem para a variação de 0,04 a 0,08, pois a maior parte dos compostos biodegradáveis já foi degradada.

A DBO<sub>5</sub>/DQO = 0,5 sugere que os lixiviados apresentam características de aterro jovem. No entanto, no caso do lixiviado da célula C1, o valor da relação

DBO<sub>5</sub>/DQO pode ser atribuído ao período de aclimatação da atividade microbiana, que ocorre assim que os resíduos são aterrados, acrescentando ainda que os valores de ambos os parâmetros ainda apresentam-se bem baixos.

#### 4.7.1.2 Toxidade com lixiviado utilizando *Danio rerio*

Foram realizadas dois testes de toxidade da Célula C1. As amostras escolhidas para o ensaio foram as com o tempo de operação de 15 dias (06/10/2010) e a de 47 dias (20/10/2010).

##### 4.7.1.2.1 Ensaio de toxidade da amostra de lixiviado da Célula C1 com tempo de operação de 15 dias e de 47 dias

A tabela 14 apresenta os resultados das Concentrações letais das amostras com 15 e 47 dias de operação

Quadro 6 – Resultado da CL(50) das amostras de 15 e 47 dias para a Célula C1

<b>Tempo de operação</b>	<b>RESULTADOS</b>
15 dias	A amostra lixiviado COMLURB (célula 1) apresentou efeito agudo e letal, em todas as concentrações, para <i>Danio rerio</i> .
	Percentual de sobrevivência no controle: 100%
	CL(50) 70,72%
47 dias	A amostra de lixiviado COMLURB (célula RSU) apresentou efeito agudo para <i>Danio rerio</i>
	Percentual de sobrevivência no controle: 100%
	CL(50) 70,71%

CL(50): Concentração letal para 50% dos organismos.

A NT 213 do INEA determina que não é permitido o lançamento de efluentes líquidos em qualquer corpo receptor, com um número de unidades de toxidade (UT =100/CENO) superior a 8, obtido em testes de toxidade aguda realizados com peixes *Danio rerio*, onde CENO é igual a maior concentração de efeito não observado. A Tabela 8 apresenta os resultados dos cálculos de UT.



Tabela 9 – Unidade de toxicidade das amostras com tempo de operação de 15 e 47 dias

<b>Tempo de Operação</b>	<b>UT</b>
15 dias	2
47 dias	2

As amostras analisadas encontram-se dentro dos padrões exigidos pelo órgão ambiental. Ambas apresentaram unidades de toxicidade de valor 2.

#### 4.7.2 Características físico-químicas do lixiviado da Célula C2

Os resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados da Célula C2 estão demonstrados na Tabela 9.

Tabela 10 - Parâmetros físico-químicos da Célula C2

Parâmetros	Tempo de operação			
	15 dias 01/12/2010	36 dias 22/12/2010	50 dias 05/01/2011	69 dias 24/01/2011
pH	6,96	6,97	6,18	5,59
Turbidez (UNT)	234	178	104	96
Condutividade (uS/cm)	1923	1412	2600	2260
COD (mg/L)	555,5	123	140,4	104
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	828,20	673,30	606,00	538,70
Alcalinidade Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	1548	1315,4	1391,6	1127,5
DQO bruta (mg/L)	1106	501	544	551
DQO filtrada (mg/L)	1092	305	283	271
Fósforo Total (mg P/L)	0,071	-	-	-
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	721,2	-	-	-
NTK (mg N-NH <sub>3</sub> /L)	197	415	173	-
Nitrogênio Amoniacal (mg N-NH <sub>3</sub> /L)	197	139	168	160,8
SST (mg/L)	214	174	94	142
SDT(mg/L)	2484	1804	1572	1232
ST(mg/L)	214	174	94	142
Cloreto (mg/L)	721	493	20	246
Sulfato (mg/L)	29,8	20	17,3	17,7
Cor aparente (uC)	1590	820	2100	1470
Cor verdadeira (uc)	266	346	800	860

O pH se apresentou –se próximo da neutralidade nas 3 primeiras amostras coletadas, sendo evidenciado uma diminuição na quarta coleta (dias). O desenvolvimento dos micro-organismos está diretamente relacionado às faixas de pH. Estes valores são típicos de aterros novos.

O valor da DQO bruta inicial apresenta-se alta (1106 mg O<sub>2</sub>/L) e mantém – se no restante das amostras na faixa de 500 mg O<sub>2</sub>/L provavelmente devido a presença de matéria orgânica de fácil decomposição e fácil diluição inicial (vísceras, sangue, órgãos,etc). O valor do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) igualmente apresenta-se elevado em relação a Célula C1, tendo seu valor inicial em 555,5 mg/L e posteriormente caindo para um valor final de 104 mg/L.

O nitrogênio amoniacal manteve-se em uma faixa mais elevada em relação aos valores de C1, provavelmente devido a maior quantidade de matéria orgânica nitrogenada presente nos resíduos hospitalares (RSS).

O cloreto apresenta valores iniciais mais elevados devido a decomposição da matéria orgânica mais rapidamente e com o aumento da pluviosidade nos meses de dezembro de 2010 e janeiro de 2011, tendem a se manter em valores menores.

A razão de 0,7 dos valores DBO<sub>5</sub> e DQO encontrados na amostra de 15 dias sugere que o lixiviado apresenta característica de aterro jovem. No entanto, no caso do lixiviado da célula C2, o valor da relação DBO<sub>5</sub>/DQO pode ser atribuído ao período de aclimação da atividade microbiana, que ocorre assim que os resíduos são aterrados.

#### 4.7.2 Características físico-químicas do lixiviado da Célula C3

Os resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados da Célula C3 estão demonstrados na Tabela 10.

Tabela 11 – Parâmetros físico-químicos da Célula C3

Tempo de operação Parâmetros	15 dias	27 dias	41 dias	60 dias
	10/12/2010	22/12/2010	05/01/2011	24/01/2011
<b>pH</b>	7,47	7,37	7,51	7,01
<b>Turbidez (UNT)</b>	388	64	245	41
<b>Condutividade (uS/cm)</b>	5760	6620	5640	4660
<b>COD (mg/L)</b>	594,8	249	245	240
<b>Dureza (mg CaCO<sub>3</sub>/L)</b>	1414	842	976	741
<b>Alcalinidade Total (mg CaCO<sub>3</sub>/L)</b>	4396	2276	2374	
<b>DQO bruta (mg/L)</b>	1122	958	824	830
<b>DQO filtrada (mg/L)</b>	1067	680	635	635
<b>Fósforo Total (mg P/L)</b>	-	-	-	-
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	139	-	-	-
<b>NTK (mg N-NH<sub>3</sub>/L)</b>	740	415	306	-
<b>Nitrogênio Amoniacal (mg N-NH<sub>3</sub>/L)</b>	665	398	289	-
<b>SST (mg/L)</b>	220	190	96	90
<b>SDT(mg/L)</b>	6354	4078	3804	3474
<b>ST(mg/L)</b>	6574	4268	3900	3564
<b>Cloreto (mg/L)</b>	2070	1429	1100	1059
<b>Sulfato (mg/L)</b>	107,6	41,5	23,8	55,4
<b>Cor aparente (uC)</b>	5600	2060	1480	1820
<b>Cor verdadeira (uc)</b>	4200	1120	1030	1220

O pH se apresentou ligeiramente alcalino nas 3 primeiras amostragens realizadas sendo que a última aproxima-se do valor de neutralidade. Valores estes característicos de aterros jovens.

A DQO bruta e o COD a partir da segunda amostragem mantiveram-se em valores constantes, indicando a aclimação dos microrganismos ao meio.

A amônia inicialmente obteve valor de 958 mg N-NH<sub>3</sub>/L (27 dias) mas com o aumento da pluviosidade e temperatura no mês de dezembro sofreu um uma pequena diminuição em seus valores, 830 mg N-NH<sub>3</sub>/L em 60 dias de operação. De igual forma, com o aumento pluviométrico o Cloreto presente aumentou a sua diluição, refletido-se nos valores de condutividade.

A razão de 0,11 dos valores DBO<sub>5</sub> e DQO encontrados na amostra de 15 dias sugere que o lixiviado apresenta característica de aterro de aterro próximo a estabilização.

Com a chegada do verão, com elevadas temperaturas, os valores dos parâmetros analisados tenderam a aumentar devido ao aumento da atividade microbológica.

#### 4.7.3 Metais

A Tabela 11 mostra os resultados obtidos através da análise de metais pesados. A coluna à direita exibe os padrões de lançamento de efluentes segundo a Norma Técnica NT-202, R-10 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Ainda, de acordo com Kjeldsen et al. (2002), a concentração de metais como o Fe, Mn, Zn, Cu, Pb e Cd pode ser elevada em aterros jovens devido ao ambiente ácido que permite a solubilização dos íons metálicos. Entretanto, essas considerações serão mais bem avaliadas com a ampliação dos resultados oriundos das análises de monitoramento.

Tabela 12 – Concentração de metais pesados no lixiviado das células C1, C2 e C3  
Célula 1 de acordo com a idade

Tempo de operação	15 dias	47 dias	81 dias	122 dias	36 dias	50 dias	27 dias	41 dias	NT 202 – R10
	C1				C2		C3		INEA
Parâmetros	06/10/10	20/10/10	22/12/10	05/01/11	22/12/10	05/01/11	22/12/10	05/01/11	
<b>Níquel Total (mg / L)</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Máximo 1,0
<b>Chumbo Total (mg / L)</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Máximo 0,5
<b>Zinco Total (mg / L)</b>	0,20	0,10	0,20	0,10	0,30	0,40	0,20	0,10	Máximo 1,0
<b>Cobre Total (mg / L)</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Máximo 0,5
<b>Ferro Total (mg / L)</b>	35,00	11,30	28,00	13,90	22,00	11,80	66,00	32,00	-
<b>Cádmio Total (mg / L)</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Máximo 0,1
<b>Cromo Total (mg / L)</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Máximo 0,5
<b>Sódio Total (mg / L)</b>	127,50	136,00	127,00	107,00	162,00	122,00	408,00	129,00	-

Os dados reportados na literatura sugerem que há uma grande variação nas concentrações de metais pesados de diferentes aterros. Entretanto, essas concentrações são geralmente baixas. Isso foi demonstrado em diversos estudos, nos quais os pesquisadores detectaram as concentrações de metais pesados em grandes aterros, em células experimentais e em ensaios laboratoriais. A concentração de metais pesados é baixa durante a fase metanogênica estável e a liberação para o meio não é considerada problemática. Nesta fase o pH permanece em torno da faixa de neutralidade, o que não favorece a sua dissolução no meio.

Todas as células se apresentaram com valores dentro das exigências do órgão ambiental no período de estudo. Enfatiza-se que estes são resultados ainda iniciais que apresentam um comportamento de adaptação dos microrganismos, mostrando ainda poucas tendências significativas.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os resultados obtidos ilustram uma biodegradabilidade não tão elevada dos lixiviados das Células C1, C2 e C3. Tal fato pode estar relacionado à fase de aclimação dos microrganismos presentes nos resíduos, ou seja, necessita-se de um período mais dilatado de tempo para a obtenção de resultados mais significativos. Os parâmetros físico-químicos analisados indicam que os microrganismos encontram-se ainda na fase de adaptação ao meio.

A concentração de metais pesados encontrados foi baixa devido a que durante fase a metanogênica estável suas concentrações são normalmente baixas. Nesta fase o pH permanece em torno da faixa de neutralidade, o que não favorece a sua dissolução no meio.

A NT 213 do INEA determina que não é permitido o lançamento de efluentes líquidos em qualquer corpo receptor, com um número de unidades de toxicidade (UT =100/CENO) superior a 8. As amostras analisadas para toxicidade de C1 (15 e 47 dias de operação) encontraram-se dentro dos padrões exigidos pelo órgão ambiental. Ambas apresentaram unidades de toxicidade de 2.

Com a chegada do verão, com elevadas temperaturas, os valores dos parâmetros analisados tenderam a aumentar devido ao aumento da atividade microbiológica.

Os dados apresentados são ainda insuficientes para conclusões mais precisas. Necessário se faz a continuidade dos estudos e análises para avaliação mais completa e ampla do processo de codisposição.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Amostragem de resíduos sólidos*. NBR – 10007. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. NORMA BRASILEIRA. NBR 10004: Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NORMA BRASILEIRA. NBR 10005: Teste de Lixiviação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NORMA BRASILEIRA. NBR 10006: Teste de Solubilização de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NORMA BRASILEIRA. NBR 10007: Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NORMA BRASILEIRA. NBR ISO 17665-1 (antiga NBR ISO 11134): Requisitos para o uso do calor úmido no desenvolvimento do processo de esterilização, na validação do processo de esterilização e no controle da rotina de esterilização. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. NORMA BRASILEIRA. NBR 10004: Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NORMA BRASILEIRA. NBR 10005: Teste de Lixiviação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NORMA BRASILEIRA. NBR 10006: Teste de Solubilização de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NORMA BRASILEIRA. NBR 10007: Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. *Resíduos sólidos – Classificação*. NBR – 10004. São Paulo: ABNT. 1987.

\_\_\_\_\_. *Resíduos sólidos – Classificação*. NBR – 10004 (Válida a partir de 30.11.2004) Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AMARAL, M. C. S. Caracterização de lixiviados empregando parâmetros coletivos e identificação de compostos. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007, 207 p.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA.  
*Resolução RDC nº 306, de 07/12/04. Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde.* Ministério da Saúde, 2004.

\_\_\_\_\_. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA (RDC) 306 de 7 de dezembro de 2004, Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o Gerenciamento de Resíduos de Serviço de Saúde. Ministério da Saúde, Brasil. 2004

\_\_\_\_\_. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA (RDC) 306 de 7 de dezembro de 2004, Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o Gerenciamento de Resíduos de Serviço de Saúde. Ministério da Saúde, Brasil. 2004

APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 21<sup>th</sup> Ed., 2005.

\_\_\_\_\_, Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 21<sup>th</sup> Ed., 2005.

ARAGÃO, M. A; ARAÚJO, R. P. A. Métodos de Ensaio de Toxicidade com Organismos Aquáticos. In: ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (Org.) **Ecotoxicologia Aquática - princípios e aplicações.** São Carlos: RIMA, 2006.

ASTM - American Society for Testing and Materials. D5231-92, Revisão 08 - "Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste". 1992.

BAGLEY, S. T. Habitat association of *Klebsiella* species. *Infection Control*. v.6, p.52-58, 1985.

BERTOLETTI E. **Estimativa de efeitos tóxicos crônicos com *Danio rerio* (Pisces, Cyprinidae).** 2000. 118 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

\_\_\_\_\_. **Estimativa de efeitos tóxicos crônicos com *Danio rerio* (Pisces, Cyprinidae).** 2000. 118 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

\_\_\_\_\_. Ecotoxicologia aquática. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L. BARRELA, W. (Eds.) **Indicadores Ambientais: conceitos e aplicações.** EDUC, São Paulo, p. 219 – 228, 2001.

\_\_\_\_\_. DOMINGUES, D. F. Seleção, Manutenção e Cultivo de Organismos Aquáticos. In: ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (Org.) **Ecotoxicologia Aquática - princípios e aplicações.** São Carlos: RIMA, 2006.



BIDONE, F.R.A.; SOUZA, L.F.; MACHADO, R.M. Micro-organismos de interesse em saúde pública pesquisados em percolado de aterro sanitário de codisposição de resíduos sólidos de serviço de saúde com resíduos sólidos urbanos. XXVII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Porto Alegre – RS, 2005.

BRASIL. *Código Nacional de Saúde* – art. 40, 1961. cap. 2 pág 3

\_\_\_\_\_. *Constituição Federal*. República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal, 1988. 292p.

\_\_\_\_\_. Lei Federal 2.312 – art 12, 1954 cap. 2 pág 3.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Secretaria Executiva. *Projeto Reforço à Reorganização do Sistema Único de Saúde (REFORSUS)*. Brasília: Ministério da Saúde, 2001. 120p.:il.

BURKE, E.L. *A survey of recent literature on medical waste*. Journal of Environmental Health, n.56, v.9, p.11-14, 1994, apud FERREIRA, J.A. Lixo hospitalar e domiciliar: semelhanças e diferenças. Estudo de caso no município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ: 1997. 218p. Tese (Doutorado em Ciências) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, 1997.

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

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

CHIAN, E. S. K.; DE WALLE, F. B. Sanitary landfill leachates and their treatment. *J. Environmental Engineering Division*, v. 102, p.411–431, 1976.

CHRISTENSEN. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. Critical Reviews in: *Environmental Science Technology*, v. 32, n. 4, p. 297-336, 2002.

COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana.  
<[http://www2.rio.rj.gov.br/comlurb/serv\\_atgramacho.htm](http://www2.rio.rj.gov.br/comlurb/serv_atgramacho.htm)>. Acesso em agosto/2004b.

\_\_\_\_\_. *Características Microbiológicas do Lixo Urbano. Parecer Técnico da Divisão de Microbiologia da Gerência de Pesquisas Aplicadas para a Gerência de Segurança do Trabalho com vistas ao Perfil Profissiográfico Previdenciário – PPP de acordo com a Instrução Normativa – INSS/DC*. 1p. 2002.

\_\_\_\_\_. *Caracterização Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município do Rio de Janeiro*. Centro de Pesquisas Aplicadas. 2003b.

\_\_\_\_\_. *Caracterização Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município do Rio de Janeiro*. Centro de Pesquisas Aplicadas. 2004c.

\_\_\_\_\_. *Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro - 2003*. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

\_\_\_\_\_. *Caracterização microbiológica de resíduos sólidos domiciliares de bairros e favelas da cidade do Rio de Janeiro*. Relatório Técnico. Centro de Pesquisas Aplicadas. 2004d. 26p.

\_\_\_\_\_. *Levantamento Plani-Altimétrico, área do vazadouro de lixo, Jardim Gramacho – Duque de Caxias. Escala 1:2.000*. Rio de Janeiro: COMLURB, 1987.

\_\_\_\_\_. *Norma Técnica 42-60-01. Acondicionamento, coleta e destinação final de resíduos de serviços de saúde*. Diário Oficial do Município do Rio de Janeiro, nº 31 segunda-feira 5 de maio de 2003. COMLURB. 2003a.

\_\_\_\_\_. *Relatório Técnico de Avaliação do Incinerador UMWELT com relação à destruição de microrganismos*. Ago 1989. 9p.

\_\_\_\_\_. *Relatório Técnico de Avaliação dos Digestores Aeróbios dos Processos DANO e TRIGA das Usinas de Reciclagem com Compostagem situadas nos bairros de Jacarepaguá e do Caju – Eficácia quanto à eliminação de organismos patogênicos*. Rio de Janeiro/RJ, 6p. 1995.

\_\_\_\_\_. *Relatório Técnico de Avaliação do Equipamento STERISPEED/MICROCLAVE (H. Strattner Cia Ltda) de autoclavagem com microondas para esterilização de resíduo séptico hospitalar*. Centro de Pesquisas Aplicadas. Out, 1998. 4p.

\_\_\_\_\_. *Relatório Técnico de Avaliação do Contêiner MOLOK para Tratamento de Resíduos Infectantes*. Centro de Pesquisas Aplicadas. Jun 2004a. 11p. il.

\_\_\_\_\_. *Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro - 2005*. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

\_\_\_\_\_. *Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro - 2006*. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

\_\_\_\_\_. Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro - 2007. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

\_\_\_\_\_. Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro - 2008. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

\_\_\_\_\_. Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro - 2007. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente *Resolução 358 de 20/04/05. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde.* 2005.

\_\_\_\_\_. *Resolução CONAMA n° 006, de 19 de setembro de 1991. Incineração de resíduos. Estabelece critérios para sua desobrigação ou qualquer outro tratamento de queima dos resíduos sólidos provenientes de serviços de saúde, portos e aeroportos.* Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. 1991.

\_\_\_\_\_. *Resolução CONAMA n° 5, de 05 de agosto de 1993. Dispõe sobre os procedimentos mínimos para o gerenciamento de resíduos sólidos com vistas a preservar a saúde e a qualidade do meio ambiente.* Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. 1993.

\_\_\_\_\_. *Resolução CONAMA n° 283, de 12 de julho de 2001. Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde.* Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. 2001.

\_\_\_\_\_. *Resolução CONAMA n° 006, de 19 de setembro de 1991. Incineração de resíduos. Estabelece critérios para sua desobrigação ou qualquer outro tratamento de queima dos resíduos sólidos provenientes de serviços de saúde, portos e aeroportos.* Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. 1991.

\_\_\_\_\_. *Resolução CONAMA n° 5, de 05 de agosto de 1993. Dispõe sobre os procedimentos mínimos para o gerenciamento de resíduos sólidos com vistas a preservar a saúde e a qualidade do meio ambiente.* Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. 1993.

\_\_\_\_\_. *Resolução CONAMA n° 283, de 12 de julho de 2001. Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde.* Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. 2001.

\_\_\_\_\_. RESOLUÇÃO nº 316, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, Brasil, 2002.

\_\_\_\_\_. RESOLUÇÃO nº 316, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, Brasil, 2002.

\_\_\_\_\_. RESOLUÇÃO nº 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos de serviço de saúde e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, Brasil, 2005.

\_\_\_\_\_. RESOLUÇÃO nº 6, de 19 de setembro de 1991. Dispõe sobre a incineração de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, Brasil, 1991.

\_\_\_\_\_. RESOLUÇÃO nº 6, de 19 de setembro de 1991. Dispõe sobre a incineração de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, Brasil, 1991.

COSTA E SILVA, C.A.M. Caracterização microbiológica de lixiviados de resíduos sólidos de serviço de saúde e resíduos sólidos domiciliares. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Centro de Tecnologia e Ciências, Rio de Janeiro, RJ, 2005. 138p.

COSTA, C. R. et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

CUSSIOL, N.A.M. *Sistema de Gerenciamento Interno de Resíduos de Serviços de Saúde: Estudo para o Centro Geral de Pediatria de Belo Horizonte*. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. 2000. 135p.

EIGENHEER, E. *Lixo: Definição e Classificação*. p.97-106. In: *Lixo Hospitalar: Ficção Legal ou Realidade Sanitária?* Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro, 2002, 116p.

FERNANDEZ-VIÑA, M. B. D. *“Vertedores Controlados de Resíduos Sólidos Urbanos: uma Perspectiva Internacional”* In: Lins, E.A.M. A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no aterro da muribeca. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

FORMAGGIA, D.M.E. *Aspectos sanitários e ambientais apresentados pelos resíduos de serviços de saúde*. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA, São Paulo, SP. Gerenciamento intra-hospitalar dos resíduos de saúde/normas e legislação. São Paulo, SP: ABLP, 1998. p.12-65.

GHERARDI-GOLDSTEIN, E. et al. **Procedimentos para Utilização de Testes de Toxicidade no Controle de Efluentes Líquidos**, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), São Paulo, 1990.

HAMILTON, M. A.; RUSSO, R. C.; THURSTON, R. V. Trimmed Sperm-Karber method for calculation of EC50 and LC50 values in bioassays. **Burlington Research inc. fci. Tecnol.** N. 11, v. 7, p. 114-119. 1977.

IBAM- Instituto Brasileiro de Administração Municipal. *Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200p.:il.

\_\_\_\_\_. *Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos*, 2001

\_\_\_\_\_. *Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos*, 2001

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008, publicada em setembro de 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de testes para avaliação da ecotoxicologia de agentes químicos**. Brasília, 1990. 351p.

IPP – Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. 1º Pesquisa sobre condições de saúde e vida dos idosos da Cidade do Rio de Janeiro, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2006.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 4ª ed, Editora: SEGRAC, Rio de Janeiro, 2005, 905p.

KJELDSEN, P.; MORTON, J.; BARLAX, A.; ROOKER, P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical Reviews in: Environmental Science Technology*, v. 32, n. 4, p. 297-336, 2002.

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

LEMA, J. M., R. MENDEZ; R. BLAZQUEZ. Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: review. *Water, Air, & Soil Pollution*. v. 40, p. 223 – 250, 1988.

MAACK, G.; SEGNER, H. Morphological development of the gonads in zebrafish. **Journal of Fish Biology**, v. 62, p. 895-906. 2003.

MAAK G.; SEGNER, H. Morphological development of the gonads in zebrafish. **Journal of Fish Biology**, v. 62, p. 895-906. 2003.

MATA-ALVAREZ, J. Biomethanization of the organic fraction of municipal solid waste. 2<sup>nd</sup> ed., Iwa Publishing, 2002, 323p.

MATIAS, W. G. **Apostila do Curso de Toxicologia Ambiental**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. 1997.

\_\_\_\_\_. Toxicologia Ambiental. **Apostila**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. 2007.

\_\_\_\_\_. Toxicologia Ambiental. **Apostila**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. 2007.

MELETTI, P.C.; ROCHA, O.; MARTINEZ, C.B.R. Avaliação da degradação ambiental na bacia do rio Mogi-Guaçu por meio de testes de toxicidade com sedimento e análises histopatológicas em peixes. In: BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E.L.G. (Eds.) **Limnologia Fluvial** - um estudo no rio Mogi-Guaçu. São Carlos: RiMa Editora, 2003. Cap. 9, p. 149-180.

MONTEIRO, V. E. D.; MELO, M. C.; ALCÂNTARA, P. B.; ARAÚJO, J. M.; ALVES, I. R. F. S.; JUCÁ, J. F. T. *Behavior study of municipal solid waste in a experimental cell and its correlations with microbiological, physical and chemical aspects*. Rev. Eng. Sanit. Ambient. v. 2, n.3, p.223-230, 2006.

\_\_\_\_\_. Behavior study of Municipal solid waste in a experimental cell and its correlations with microbiological, physical and chemical aspects. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 2, n.3, p. 223,

MONTEIRO, V. E. D.; MELO, M. C.; ALCÂNTARA, P. B.; ARAÚJO, J. M.; ALVES, I. R. F. S.; JUCÁ, J. F. T. Behavior study of Municipal solid waste in a experimental cell and its correlations with microbiological, physical and chemical aspects. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 2, n.3, p. 223,

NASCIMENTO, T. C.; JANUZZI, W.A.; LEONEL, M.; SILVA, V. L.; DINIZ, C. G. Ocorrência de bactérias clinicamente relevantes nos resíduos de serviço de saúde em um aterro sanitário brasileiro e perfil de susceptibilidade a antimicrobianos. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 42, n. 4. p. 415-419, 2009.

NJIWA J.R.K.; MÜLLER, P.; KLEIN, R. Life cycle stages and length of zebrafish (*Danio rerio*) exposed to DDT. **Journal of Health Science**, v. 50, p. 220-225. 2004.

\_\_\_\_\_. Life cycle stages and length of zebrafish (*Danio rerio*) exposed to DDT. **Journal of Health Science**, v. 50, p. 220-225. 2004.

PARRISH, P. R. Acute Toxicity tests. In: RAND, G. M. **Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment**. 2nd edition. North Palm Beach, Florida: Taylor e Francis. 1.125p. 1995.

RAND, G. M.; WELLS, P. G. & MCCARTY, L. S. Introduction to aquatic toxicology. In: RAND, G.M. (ed.). **Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment**. 2nd edition. North Palm Beach, Florida: Taylor e Francis. 1.125p. 1995.

\_\_\_\_\_. Introduction to aquatic toxicology. In: RAND, G.M. (ed.). **Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment**. 2nd edition. North Palm Beach, Florida: Taylor e Francis. 1.125p.1995.

REINHARD, D.R.; GROSH Analysis Florida MSW landfill leachate quality University of Central Florida, 1998.

RENOU, S., J. G. GIVAUDAN, S. POULAIN, F. DIRASSOUYAN; P. MOULIN. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, v.150,p.468-93,2008.

RONCO, A.; BÁEZ, M. C. D.; GRANADOS, Y. P. **Ensayos Toxicológicos Y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas – Estandarización, Intercalibración, Resultados y Aplicaciones**; Morales, G. C., Ed.: Centro Internacional de Investigaciones para El Desarrollo: Ottawa, cap. I, 2004.

RUTALA, W.A.; MAYHALL, C.G. *Medical Waste*. Infection Control and Hospital Epidemiology, 13, 1: 38-48. 1992.

SAWAMURA, H.; YAMADA, M.; ENDO, K.; SODA,S.; ISHIGAKI, T.; IKE, M. Characterization of microorganisms at different landfill depths using carbon utilization patterns and 16S rRNA gene based T-RFLP. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v. 109, n. 2, p. 130-137, 2010.

SENIOR, E. *Microbiology of landfill sites*. 2<sup>nd</sup> ed., Lewis Publishers, 1995, 205p.

SILVA, J.D.; KOGA, E.M.; MARTINS, C.L.; COSTA, R.H.R.; CASTILHO JR., A.B. *Varição nictemeral de parâmetros de qualidade ambiental em lagoas de estabilização do tipo facultiva e de maturação tratando lixiviados de aterros sanitários*. Resumos do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, Brasil, 2007.

SOUTO, G. D. B. *Lixiviados de aterros sanitários brasileiros - estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar ("stripping")*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2009, 371.

STALEY, B. F., BARLAZ, M. A., DE LOS REYES, F. L. , ELLIS, J. C. Microbial community of profiling of municipal solid waste at different stages of degradation. *Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Paula, Cagliari, Italy; 1-5 October 2007.

YU, J. K.; FOGEL, M. M. The development of a combined Water Quality Index. **Water Resources Bulletin**, v. 14(5), p. 1239-1250. 1978.

YU, M-H. **Environmental toxicology: biological and health effects of pollutants**. 2a ed. CRC Press LLC. Florida, 2005.

ZAGATTO, P. A. Ecotoxicologia. In: ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (Org.) **Ecotoxicologia Aquática - princípios e aplicações**. São Carlos: RIMA, 2006.

ZAGATTO, P. A; GOLDSTEIN, E. G. Estudo comparative entre as taxas de reprodução de *Daphnia similis* Claus, 1876 e *Daphnia magna* Straus, 1820: resultados preliminares. **Anais. Simp. Bras. Aquicul. III** São Carlos. p. 411-423. 1984.

ZAKRZEWSKI, S. F. **Principles of Environmental Toxicology**, American Chemical Society: Washington, 1994.

\_\_\_\_\_. **Principles of Environmental Toxicology**, American Chemical Society: Washington, 1994.

ZANON, U.; ZANON, A.S.M. *A Verdadeira Periculosidade dos Resíduos Sólidos para a Saúde Pública e o Meio Ambiente*. p.73-95. In: Lixo Hospitalar: Ficção Legal ou Realidade Sanitária? Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro, 2002, 116p.