UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS POTENCIAIS POLUIDORES DE LIXIVIADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES E DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇO DE SAÚDE DISPOSTOS EM CÉLULAS EXPERIMENTAIS

Carlos Augusto Machado da Costa e Silva

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2014

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS POTENCIAIS POLUIDORES DE LIXIVIADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES E DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE DISPOSTOS EM CÉLULAS EXPERIMENTAIS.

Carlos Augusto Machado da Costa e Silva

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA ESCOLA DE QUÍMICA DO PROGRAMA DE TECNOLOGIA DE PROCESO QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS.

Examinada por:

Profa. Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc.
EQ/UFRJ (Orientadora)

Prof. Armando Borges de Castilhos Junior, D.Sc.
UFSC

Profa. Elisabeth Ritter, D.Sc.
UERJ

Prof. Tito Lívio Moitinho Alves, D.Sc.
COPPE/UFRJ

Profa. Leila Yone Reznik, D.Sc.
EQ/UFRJ

Profa. Magali Christe Cammarota, D.Sc.
EQ/UFRJ

Costa e Silva, Carlos Augusto Machado da

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS POTENCIAIS POLUIDORES DE LIXIVIADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES E DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇO DE SAÚDE DISPOSTOS EM CÉLULAS EXPERIMENTAIS / Carlos Augusto Machado da Costa e Silva.

Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2014.

1. Chorume. 2. Lixiviado 3. Resíduos sólidos domiciliares 4. Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde 5. Resíduos Sólidos Urbanos. 6. Células experimentais – Teses I. Campos, Juacyara C. (Orient.). II. Ferreira, João A. (Orient.). III. Miguel, Marco A. L. IV. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Química. V. Título.

DEDICATÓRIA

À Maria, Isabela e Daniel.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus e aos meus mestres e amigos espirituais.

Aos meus pais Augusto, Ilca e Isabel pelos alicerces da minha vida.

À minha mulher Maria pelo apoio incondicional e aos meus filhos Isabela e Daniel pela compreensão e carinho, desejando que o meu desafio sirva de exemplo para as suas conquistas futuras.

Aos demais familiares, em especial aos meus irmãos José Augusto e Francisco Augusto a quem tenho grande admiração.

Aos professores Juacyara Carbonelli Campos, João Alberto Ferreira e Marco Antônio Lemos Miguel, pela orientação, dedicação, profissionalismo e competência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, da EQ/UFRJ, pela oportunidade.

À Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB pelo apoio à realização do estudo.

Ao Engenheiro Antônio Fernando Novaes de Magalhães e demais companheiros do Centro de Pesquisas Aplicadas da COMLURB e dos Laboratórios de Físico-Química e Microbiologia.

Aos colegas da Usina de Reciclagem e Compostagem da COMLURB, em Jacarepaguá, pelo apoio operacional para a construção e manutenção das células experimentais.

À Divisão de Coleta Hospitalar da COMLURB, em especial aos funcionários Cláudio Araújo Silva e Luiz Cláudio dos Santos Lima.

Ao LES - Laboratório de Engenharia Sanitária da UERJ, onde foram realizadas as análises físico-químicas iniciais e os ensaios de toxicidade com *Danio rerio*, em especial à Profa. Daniele Bila e às profissionais Amanda Paes, Raquel Orem, Bárbara Costa e Louise Felix.

Ao LABTARE - Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Efluentes da Escola de Química da UFRJ, onde foram realizadas diversas análises físico-químicas, em especial aos profissionais Érica Barbosa, Natasha, Mayara e Leandro.

Ao Prof. Rogério Luiz Feijó, Engenheira Adriane Ramos e ao Marcos do Laboratório de Mecânica dos Solos da UERJ onde foram realizadas as análises do solo.

Ao David Vilas Boas de Campos e à Viviane Escaleira da Embrapa Solos pelas análises de metais e às professoras Selma Gomes e Beth Ritter pelas contribuições sempre oportunas.

Ao Leonardo Fidalgo pelas contribuições na parte estatística.

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS POTENCIAIS POLUIDORES DE LIXIVIADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES E DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇO DE SAÚDE DISPOSTOS EM CÉLULAS EXPERIMENTAIS.

Carlos Augusto Machado da Costa e Silva

O tratamento e o destino final dos resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS) são assuntos que têm gerado controvérsias no tocante às alternativas tecnológicas disponíveis para o seu tratamento e disposição final, como também em relação aos riscos para a saúde pública e ao meio ambiente. Este trabalho teve por objetivo avaliar e comparar os potenciais poluidores dos lixivados de resíduos sólidos domiciliares (RSD) e de RSS (do grupo A ou resíduos biológicos, anteriormente denominados "lixo infectante"), dispostos separadamente em células experimentais, visando subsidiar a discussão quanto à necessidade de tratamento e disposição final diferenciados para os resíduos de serviços de saúde. Para isto, foram montadas duas células experimentais de aproximadamente 157m^3 onde os RSD e os RSS, coletados regularmente pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana na cidade do Rio de Janeiro, foram dispostos. Os lixiviados gerados em ambas as células, durante 827 dias de monitoramento, foram analisados quanto às suas características físico-químicas e toxicológicas. Dos 25 parâmetros empregados na avaliação do potencial poluidor dos lixiviados das células, 11 (44%) tiveram como resultado que não houve diferenças estatísticas entre elas (RSD = RSS) a saber: fósforo, N-amoniacal, toxicidade para *Danio rerio*, turbidez e os metais cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel, ferro e zinco. Foram 13 (52%) os parâmetros que mostraram resultados mais elevados em RSD (RSD > RSS), são eles: absorbância, alcalinidade, cloreto, condutividade, cor verdadeira, COT, DBO, DQO, dureza, pH, sólidos totais, sulfato e temperatura dos lixiviados. Um parâmetro (4%), os sólidos sedimentáveis, mostrou resultado mais elevado em RSS (RSD < RSS). Embora o lixiviado de RSD tenha apresentado potencial poluidor mais elevado que o lixiviado de RSS, ambos os resíduos e lixiviados, se gerenciados e dispostos inadequadamente, apresentam riscos para a saúde humana e para o ambiente. Os resultados apontam para a possibilidade de disposição conjunta de RSS (grupo A) com os RSD e demais resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.

ABSTRACT

COMPARATIVE EVALUATION OF POTENTIAL POLLUTERS LEACHATE OF HOUSEHOLD SOLID WASTE AND HEALTH CARE SOLID WASTE DEPOSITED IN EXPERIMENTAL CELLS.

Carlos Augusto Machado da Costa e Silva

The treatment and final disposal of solid waste from health care services (HCS) are issues that have generated controversy regarding the technological alternatives available for your treatment and disposal, as well as to the risks to public health and the environment. This study aimed to evaluate and compare the pollution potential of leachates of household solid waste (HSW) and HCS (group A or biowaste, formerly known as "infectious waste") arranged separately in experimental cells, to subsidize the discussion as to need for treatment and disposal separately for the waste of health care services. For this, two experimental cells of approximately 157m^3 were assembled, where HSW and HCS, regularly collected by the Municipal Waste Management Company of the Rio de Janeiro city, were deposited. Leachate generated in both cells during 827 days of monitoring, were analyzed for their physicochemical and toxicological characteristics. Of the 25 parameters used to assess the polluting potential of leachate from the cells, 11 (44%) resulted in no statistical differences between them (HSW = RSS) namely: phosphorus, N-NH_3, toxicity to the organism *Danio rerio*, turbidity and the metals cadmium, lead, copper, chromium, nickel, iron and zinc. They were 13 (52%) the parameters that presented higher results in HSW (HSW > HCS): absorbance, alkalinity, chloride, conductivity, true color, TOC, BOD, COD, hardness, pH, total solids, sulfate and temperature leachate. And one parameter (4%), the settleable solids, showed higher results in RSS (HSW < HCS). Although the leachate of HSW has shown higher polluting potential compared to the cell HCS, both wastes and leachates, if improperly managed and disposed, pose a risk to human health and to the environment. The results indicate to the possibility of HCS (group A) and HSW codisposed with other municipal solid waste in landfills.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares do Município do Rio de Janeiro em 2012: matéria orgânica, recicláveis e outros componentes 35

Figura 2 – Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares do Município do Rio de Janeiro em 2012: outros componentes 35

Figura 3 – Série histórica da matéria orgânica putrescível nos resíduos domiciliares da AP4 37

Figura 4 – Percentuais de medicamentos isolados dos resíduos da Barra da Tijuca em 2008 38

Figura 5 – Avaliação quali/quantitativa de resíduos eletro/eletrônicos (REE) provenientes dos resíduos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro em 2010 (valores unitários) 39

Figura 6 – Destino final dos RSS coletados por municípios brasileiros em 2008 53

Figura 7 – Formas de tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos em países da Europa 54

Figura 8 – Fases de estabilização dos resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros sanitários. Fonte: Pohland e Harper (1986) ……..... 60

Figura 9 – Foto área do local de construção das células experimentais na Usina da COMLURB 88

Figura 10 – Desenho esquemático das células experimentais 89

Figura 11 – Etapas iniciais para a formação dos taludes com a utilização de resíduos de construção civil previamente selecionados para evitar danos à manta PEAD .. 89

Figura 12 – Cobertura de argila sobre o talude e etapa inicial de colocação da manta PEAD 90

Figura 13 – Aplicação de argila sobre a manta PEAD seguida de compactação 90

Figura 14 – Tubo canaflex sobre o bidim, colocação da brita e torneira para drenagem e coleta do lixiviado 90

Figura 15 – Drenagem do biogás: fixação do tubo de PVC perfurado e aplicação de tela metálica e brita 91

Figura 16 – Chegada dos RSD e dos RSS ao local do experimento 91

Figura 17 – Cobertura dos resíduos com manta plástica durante o período de enchimento da célula e aplicação de camada de cobertura de argila sobre os resíduos 91

Figura 18 – Foto panorâmica das células concluídas, torneira para drenagem do lixiviado e coleta de amostra 92

Figura 19 – Áreas de Planejamento do Município do Rio de Janeiro com detalhe para a A.P4 93

Figura 20 – Pesagem do caminhão coletor, na Usina da COMLURB em Jacarepaguá, após percorrer o roteiro de coleta 94

Figura 21 – Mesa de catação e triagem 95

Figura 22 – Pesagem de componentes maiores 95

Figura 23 – Pesagem de componentes menores 95

Figura 24 – Estufa para secagem de resíduos 95

Figura 25 – Composição gravimétrica dos resíduos RSD: outros componentes 102
Figura 26 – Composição gravimétrica dos RSD: outros componentes 102
Figura 27 – Composição gravimétrica dos resíduos RSS: outros componentes 103
Figura 28 – Composição gravimétrica dos RSS: outros componentes 103
Figura 29 – Box-plot das medições de volume para os lixiviados para RSD e RSS durante todo o período monitoramento 106
Figura 30 – Box-plot das medições de volume para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 107
Figura 31 – Distribuição das medições de volume para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 107
Figura 32 – Evolução da chuva diária em comparação com os volumes de lixiviados de RSD e RSS medidos ao longo do tempo de monitoramento..... 108
Figura 33 – Evolução da chuva acumulada em comparação com os volumes de lixiviados de RSD e RSS medidos ao longo do tempo de monitoramento..... 109
Figura 34 – Box-plot das medições de temperatura para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 109
Figura 35 – Box-plot das medições de temperatura para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2011 a 2013) ... 110
Figura 36 – Distribuição dos resultados da temperatura para RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 110
Figura 37 – Box-plot do pH para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 111
Figura 38 – Box-plot dos resultados de pH para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 112
Figura 39 – Distribuição dos resultados de pH para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 112
Figura 40 – Box-plot dos resultados de DQO para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 113
Figura 41 – Box-plot dos resultados de DQO para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 114
Figura 42 – Distribuição dos resultados da DQO para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 114
Figura 43 – Box-plot dos resultados de DBO para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 115
Figura 44 – Box-plot dos resultados de DBO para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2012 a 2013) 116
Figura 45 – Distribuição dos resultados de DBO para RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 116
Figura 46 – Box-plot dos resultados da relação DBO/DQO para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 118

Figura 47 – Box-plot dos resultados da relação DBO/DQO para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 118
Figura 48 – Distribuição dos resultados da relação DBO/DQO para RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 119
Figura 49 – Box-plot dos resultados de COT para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 120
Figura 50 – Box-plot dos resultados de COT para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 121
Figura 51 – Distribuição dos resultados de COT para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 121
Figura 52 – Box-plot dos resultados de ABS254 para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 122
Figura 53 – Box-plot dos resultados de ABS254 para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2012 e 2013) 123
Figura 54 – Distribuição dos resultados de ABS254 para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 123
Figura 55 – Box-plot dos resultados de N-amoniacal para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 124
Figura 56 – Box-plot dos resultados de N-Amoniacal para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado monitorado por ano (2010 a 2013) 125
Figura 57 – Distribuição dos resultados de N-Amoniacal para os lixiviados RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 125
Figura 58 – Box-plot dos resultados de fósforo para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 127
Figura 59 – Box-plot dos resultados de fósforo para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 127
Figura 60 – Distribuição dos resultados de fósforo para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 128
Figura 61 – Box-plot dos resultados de alcalinidade para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 129
Figura 62 – Box-plot dos resultados de alcalinidade para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2012) ... 129
Figura 63 – Distribuição dos resultados de alcalinidade para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 130
Figura 64 – Box-plot dos resultados de cloreto para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 131
Figura 65 – Box-plot de cloreto para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 131
Figura 66 – Distribuição dos resultados de cloreto para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 132

Figura 67 – Box-plot dos resultados de condutividade para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 133
Figura 68 – Box-plot dos resultados de condutividade para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) ... 133
Figura 69 – Distribuição dos resultados de condutividade para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 134
Figura 70 – Box-plot dos resultados de cor para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 135
Figura 71 – Box-plot dos resultados de cor para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 136
Figura 72 – Distribuição dos resultados de cor para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 136
Figura 73 – Box-plot dos resultados de dureza para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 137
Figura 74 – Box-plot dos resultados de dureza para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2012) 137
Figura 75 – Distribuição dos resultados da dureza para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 138
Figura 76 – Box-plot dos resultados de sulfato para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 139
Figura 77 – Box-plot dos resultados de sulfato para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 140
Figura 78 – Distribuição dos resultados de sulfato para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 140
Figura 79 – Box-plot dos resultados de sólidos totais para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 141
Figura 80 – Box-plot dos resultados de sólidos totais para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 142
Figura 81 – Distribuição dos resultados de sólidos totais para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 142
Figura 82 – Box-plot dos resultados de sólidos sedimentáveis para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 143
Figura 83 – Box-plot dos resultados de sólidos sedimentáveis para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2011 e 2012) 144
Figura 84 – Distribuição dos resultados dos sólidos sedimentáveis para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 144
Figura 85 – Box-plot dos resultados de turbidez para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 145
Figura 86 – Box-plot dos resultados de turbidez para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 146
Figura 87 – Distribuição dos resultados de turbidez para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 146

Figura 88 – Box-plot dos resultados de cromo para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 147
Figura 89 – Box-plot dos resultados de cromo para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013)..... 148
Figura 90 – Distribuição dos resultados de cromo para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 148
Figura 91 – Box-plot dos resultados de ferro para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 149
Figura 92 – Box-plot dos resultados de ferro para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 149
Figura 93 – Distribuição dos resultados de ferro para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 150
Figura 94 – Box-plot dos resultados de zinco para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 151
Figura 95 – Box-plot dos resultados de zinco para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013) 152
Figura 96 – Distribuição dos resultados de zinco para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 152
Figura 97 – Box-plot dos resultados de toxicidade CL 50 para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 153
Figura 98 – Box-plot dos resultados de toxicidade CL 50 os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2012) ... 154
Figura 99 – Distribuição dos resultados da toxicidade CL 50 para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 154
Figura 100 – Box-plot dos resultados de UT para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento 155
Figura 101 – Box-plot dos resultados de UT para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2012 e 2013) 156
Figura 102 – Distribuição dos resultados de UT para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento 156

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização gravimétrica (série histórica) dos resíduos domiciliares do Município de Rio de Janeiro no período de 1995 a 2012 36

Tabela 2 – Composição gravimétrica de amostras dos resíduos sólidos dos Hospitais Evangélico e Gaffrée Guinle e de resíduos domiciliares da área da Tijuca – (%) em peso 40

Tabela 3 – Tipos de sistemas de tratamento para resíduos de serviços de saúde 47

Tabela 4 – Fases de degradação dos resíduos sólidos segundo Pohland & Harper (1986).. 59

Tabela 5 – Caracterização granulométrica de solo de cobertura de vários aterros brasileiros 70

Tabela 6 – Características físico-químicas típicas do lixiviado do aterro sanitário localizado em Bucaramanga (Colômbia) 73

Tabela 7 – Variação nas características físico-químicas do lixiviado gerado no aterro sanitário em Astúrias (Espanha) 73

Tabela 8 – Características do lixiviado gerado em três lisímetros, a partir de resíduos sólidos urbanos 74

Tabela 9 – Variação da composição do lixiviado de aterros sanitários norte americanos e canadenses em diferentes idades de operação 75

Tabela 10 – Composição do lixiviado em termos de valores médios e faixas de valores para diversos parâmetros, para as fases ácida e metanogênica 76

Tabela 11 – Valores médios observados para DBO, DQO, relação DBO/DQO e Nitrogênio Amoniacal de lixiviados de aterros em fase metanogênica 77

Tabela 12 – Concentrações médias e faixas de valores para metais pesados em lixiviados de aterros europeus em comparação com o padrão EPA/EUA para água potável 78

Tabela 13 – Variação da composição do lixiviado gerado em aterros brasileiros 79

Tabela 14 – Resultados dos ensaios físico-químicos realizados nas amostras do percolado do Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca em função da profundidade de amostragem 80

Tabela 15 – Resultados médios das análises físico-químicas dos lixiviados dos reatores contendo resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS) e da mistura RSU (99%) + RSS (1%) denominada COD 81

Tabela 16 – Dados gerais dos aterros brasileiros estudados pelo PROSAB 81

Tabela 17 – Caracterização convencional dos lixiviados gerados nos aterros brasileiros estudados pelo PROSAB 83

Tabela 18 – Análises físico-químicas do lixiviado do Centro de Tratamento de Resíduos (CTR Santa Rosa), localizado no município de Seropédica 84

Tabela 19 – Dados sobre a A.P4 para o ano de 2010 93

Tabela 20 – Disposição dos resíduos nas células e conteúdos em massa 94

Tabela 21 – Metodologia analítica empregada na análise do lixiviado e do solubilizado e o laboratório responsável pela análise 97

Tabela 22 – Composição qualitativa dos RSS utilizados na célula 2 104

Tabela 23 – Caracterização granulométrica do solo de cobertura utilizado nas células experimentais 105

Tabela 24 – Comparação dos resultados das análises da argila com os resultados obtidos nos lixiviados das células 105

Tabela 25 – Resultados das análises físico-químicas dos lixiviados de RSD e RSS do presente estudo e de lixiviados de RSU, gerados fora do Brasil (valores médios (mín-máx)) 157

Tabela 26 – Resultados das análises físico-químicas dos lixiviados de RSD e RSS do presente estudo e de lixiviados de RSU, gerados no Brasil (valores médios (mín-máx)) 158

Tabela 27 – Resultados das análises físico-químicas dos lixiviados de RSD e RSS do presente estudo e de lixiviados de RSU, gerados no Rio de Janeiro (valores médios (mín-máx)) 159

Tabela 28 – Resultados das análises físico-químicas dos lixiviados de RSD e RSS do presente estudo e dos resultados obtidos por Cussiol (2005) para lixivados de RSU, RSS e da codisposição de RSU+RSS (1%) (valores médios (mín-máx)) 160

Tabela 29 – Resultados das análises de metais (Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Níquel e Zinco) nos lixiviados de RSD e RSS do presente estudo e nos lixivados de RSU, de diversas procedências 160

Tabela 30– Resumo dos resultados das células (baseados nas tabelas e box-plots) para o período monitorado 165

Tabela 31 – Comparação dos valores médios e faixas de valores (mín – máx) observados nos lixiviados de RSD e RSS do presente estudo com padrões de lançamento de efluentes 166

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD HOC – Profissional de reconhecida competência
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AP – Área de Planejamento
ASTM – American Society for Testing and Materials
C1 – Célula Experimental 1
C2 – Célula Experimental 2
CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear
COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT – Carbono Orgânico Total
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
DZ – Diretriz
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA – Agência de Proteção Ambiental Americana
EQ – Escola de Química da UFRJ
IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA – Instituto do Meio Ambiente
LABTARE - Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Efluentes da EQ/UFRJ.
LES – Laboratório de Engenharia Sanitária da UERJ
NBR – Norma Brasileira
NT – Norma Técnica
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
pH – Potencial hidrogeniônico
RCC – Resíduos da construção civil
RDC – Resolução da Diretoria Colegiada
REE – Resíduos eletroeletrônicos
RSD – Resíduo Sólido Domiciliar
RSS – Resíduo Sólido de Serviço de Saúde
RSU – Resíduo Sólido Urbano
SSED – Sólidos sedimentáveis
ST – Sólidos totais
UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO E OBJETIVOS 19

CAPÍTULO 2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 23
2.1 Definição de resíduos sólidos 23
2.2 Classificação dos resíduos sólidos 25
2.2.1 Quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública 25
2.2.2 Quanto à natureza ou origem 26
2.2.3 Quanto aos tipos 27
2.2.3.1 Resíduos sólidos urbanos - Resíduos sólidos domiciliares (RSD) 27
2.2.3.2 Resíduos sólidos especiais (RSE) 28
2.2.4 Resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS) 29
2.3 Características dos RSD e RSS 33
2.3.1 Composição gravimétrica dos RSD do Município do Rio de Janeiro..... 34
2.3.2 Composição gravimétrica de RSS..... 39
2.3.3 Características biológicas de RSD e RSS..... 41
2.4 Riscos para a saúde humana e meio ambiente associados aos RSS e RSD 42
2.5 Processos de tratamento de RSS..... 45
2.5.1 Incineração 47
2.5.2 Autoclavação..... 48
2.5.3 Esterilização por micro-ondas 49
2.5.4 Outros processos de tratamento 49
2.6 Disposição final de RSD e RSS 52
2.6.1 Aterros sanitários..... 52
2.6.2 Valas sépticas 54
2.6.3 Disposição conjunta de RSS com RSD 55
2.7 Lixiviado de aterros 58
2.7.1 Geração e características do lixiviado 58
2.7.2 Parâmetros físico-químicos empregados na avaliação de lixiviados de RSD e RSS 60
2.7.3 Avaliação da toxicidade em lixiviados de RSD e RSS 65
2.7.4 Aterros, reatores e células experimentais para resíduos sólidos e seus lixiviados 69

2.7.5 Características físico-químicas de lixiviados de RSD e RSS 71
2.7.6 Potencial poluidor do lixiviado 85

CAPÍTULO 3
MATERIAIS E MÉTODOS 88
3.1 Montagem das células experimentais 88
3.2 Origens e quantidades dos resíduos dispostos nas células experimentais 93
3.3 Caracterização gravimétrica dos RSD e RSS 95
3.4 Amostragem dos lixiviados de RSD e RSS..... 96
3.5 Dados pluviométricos 96
3.6 Procedimentos analíticos 96
3.6.1 Análise do material de base e cobertura das células 96
3.6.2 Análises físico-químicas dos lixiviados de RSD e RSS 96
3.6.3 Avaliação da toxicidade do lixiviado..... 98
3.7 Tratamento dos resultados e análise estatística 99

CAPÍTULO 4
RESULTADOS E DISCUSSÃO 102
4.1 Caracterização gravimétrica dos RSD 102
4.2 Caracterização gravimétrica dos RSS 103
4.3 Análises do material empregado como base e cobertura das células..... 104
4.4 Monitoramento físico-químico e toxicológico: comparação entra as células e evolução temporal..... 106
4.4.1 Volume 106
4.4.2 Temperatura 109
4.4.3 Potencial hidrogeniônico (pH)..... 109
4.4.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Relação DBO/DQO, Carbono Orgânico Total (COT) e Absorbância254nm (ABS254)..... 113
4.4.5 Nitrogênio amoniacal e Fósforo Total..... 124
4.4.6 Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, Cor verdadeira, Dureza e Sulfato..... 128
4.4.7 Sólidos Totais (ST), Sólidos Sedimentáveis (SSED) e Turbidez..... 141
4.4.8 Metais (Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Níquel e Zinco)..... 146
4.4.9 Toxicidade aguda para *Danio rerio*..... 153

4.5 Comparação entre as concentrações dos parâmetros físico-químicos dos lixiviados de RSD e RSS com as concentrações desses parâmetros em lixiviados relatados na literatura..... 157

4.6 Correlações entre os parâmetros monitorados..... 161

4.7 Considerações complementares sobre os resultados obtidos 163

4.8 Avaliação do potencial poluidor dos lixiviados de RSD e RSS 164

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 168

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 171

APÊNDICE 188

Análises da argila – Laboratório de Solos da UERJ..... 188

Tabelas de resultados..... 191

Estatística descritiva..... 205

Comparação de médias pelo Teste T (RSD x RSS)..... 208

Correlação das variáveis com o tempo de aterramento (Evolução temporal)..... 209

Matrizes de correlação entre os parâmetros para RSD e RSS..... 210

ANEXO (Estação Pluviométrica Recreio)..... 212

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A preocupação com os resíduos sólidos de maneira geral iniciou-se, no Brasil em meados do século XIX. O serviço sistemático de limpeza urbana foi iniciado em 1880, na cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, então capital do Império, quando o imperador D. Pedro II aprovou o contrato de "limpeza e irrigação" da cidade, que foi executado por Aleixo Gary e, mais tarde, por Luciano Francisco Gary, de cujo sobrenome origina-se a palavra gari, atualmente empregada para denominar os trabalhadores da limpeza urbana em muitas cidades brasileiras (IBAM, 2001).

A gestão dos resíduos sólidos no Brasil, cuja atribuição pertence à esfera da administração pública local, embora seja um importante setor do saneamento básico, ainda não tem recebido a devida atenção, o que se reflete de maneira negativa na saúde pública e na qualidade do meio ambiente.

A gestão dos resíduos sólidos se apresenta de maneira diferente nas cidades brasileiras e o cenário ainda é preocupante. Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB 2008 (IBGE, 2010), em oito anos (em comparação a 2000), o percentual de municípios que destinavam seus resíduos a vazadouros a céu aberto (lixões) caiu de 72,3% para 50,8%, enquanto os que utilizavam aterros sanitários cresceram de 17,3% para 27,7%.

Embora tenha havido uma mudança significativa nos últimos 20 anos, os lixões ainda são o destino final dos resíduos sólidos em 50,8% dos municípios brasileiros (em 1989, eles representavam o destino final de resíduos sólidos em 88,2% dos municípios). Além disso, do total de municípios brasileiros que tem coleta e/ou recebimento de RSS, 52,7% dispõe os resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS) no solo (IBGE, 2010).

Esses dados reforçam as preocupações com os problemas ambientais urbanos e, nesse sentido, o tratamento e a destinação dos resíduos sólidos urbanos e em especial dos resíduos de serviços de saúde, são questões que têm promovido uma demanda crescente por ações que contemplem a preservação do meio ambiente, o controle da poluição e a proteção à saúde humana.

Especificamente, em relação aos resíduos dos serviços de saúde, só nos últimos anos iniciou-se uma discussão mais consistente do problema. Muitas prefeituras já implantaram sistemas específicos para a coleta destes resíduos, outras estão empenhadas em programas de

segregação, entretanto, o que se constata na grande maioria das vezes, é a disposição conjunta desses resíduos com resíduos sólidos urbanos. A forma adequada de destinação final ainda não é consensual entre os técnicos do setor e, na maioria dos municípios, a prática freqüente é a disposição final em lixões, onde catadores disputam esses resíduos em virtude da presença atrativa de materiais recicláveis (FERREIRA, 2002).

O tratamento e o destino final dos RSS são assuntos que também têm gerado controvérsias no tocante às alternativas tecnológicas disponíveis e aos riscos para a saúde pública e ao meio ambiente.

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 micro-ondas. Por outro lado, diversos pesquisadores apontam para inexistência de fatos, excetuando-se os perfurocortantes, que comprovem a maior periculosidade dos resíduos de serviços de saúde 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.

A disposição de resíduos sólidos domiciliares (RSD) e demais resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterros, freqüentemente, leva à geração de lixivado contendo elevada concentração de matéria orgânica e outras substâncias tóxicas. O lixiviado é resultado das águas que infiltram no aterro e da degradação da fração orgânica dos resíduos sólidos, e tem sido identificado na literatura como fonte potencial de poluição das águas superficiais e subterrâneas. A qualidade do lixiviado varia em função das características dos resíduos, entre outros fatores. Dessa forma, o conhecimento das características físico-químicas e toxicológicas desses efluentes é de importância fundamental para a avaliação dos possíveis impactos para o meio ambiente e para a saúde pública.

No tocante ao conhecimento das características microbiológicas dos lixiviados de RSD e RSS, em experiência anterior, quando foram coletados e analisados lixiviados de bacias dos caminhões coletores provenientes de diversos bairros da cidade do Rio de Janeiro, Dissertação de mestrado intitulada “Caracterização Microbiológica de Lixiviados de Resíduos Sólidos de

Serviços de Saúde e Resíduos Sólidos Domiciliares" (COSTA E SILVA, 2005), foi possível observar mais semelhanças do que diferenças entre os lixiviados desses resíduos, quanto às densidades das populações microbianas e aos perfis de susceptibilidade das estirpes isoladas aos antimicrobianos empregados como marcadores epidemiológicos. O presente trabalho representa uma oportunidade para ampliar os conhecimentos sobre o potencial poluidor dos lixiviados de resíduos sólidos no que tange aos aspectos físico-químicos e toxicológicos.

A presente tese tem por objetivo avaliar e comparar os potenciais poluidores dos lixivados de RSD e RSS (do grupo A ou resíduos biológicos, anteriormente denominados "lixo infectante"), dispostos separadamente em células experimentais, visando subsidiar a discussão da necessidade ou não de tratamento e disposição final diferenciados para os resíduos de serviços de saúde.

Os conhecimentos gerados pela pesquisa poderão ser usados ou não como argumentação para a revisão e atualização da legislação vigente. Possibilitarão também subsidiar a discussão da necessidade de tratamento e disposição final diferenciados para os RSS e da viabilidade da sua disposição conjunta com os demais resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários licenciados.

Nesse contexto, as etapas a serem desenvolvidas (objetivos específicos) são:

- Comparar os resultados dos lixiviados provenientes de duas células experimentais contendo, respectivamente, RSD e RSS (do grupo A), através de parâmetros indicadores de poluição físico-química e toxicológica.
- Avaliar a toxicidade dos lixiviados gerados pelas células experimentais, através de ensaios *in vivo* com *Danio rerio*;
- Analisar a evolução temporal de ambas as células no tocante aos parâmetros empregados no estudo;
- Averiguar as relações recíprocas entre os parâmetros de avaliação, para uma mesma célula e entre as células, e suas possíveis influências nos potenciais poluidores dos lixiviados;
- Aplicar ferramentas estatísticas para a comparação entre os dados obtidos;
- Verificar a existência de diferenças e semelhanças entre os lixiviados de RSD e RSS;
- Discutir a viabilidade da disposição conjunta dos RSS do grupo A com os RSD e demais RSU, em aterros sanitários licenciados, como alternativa de destinação final para os RSS.

Esta tese esta estruturada da seguinte forma:

- o capítulo 1 contextualiza o assunto apresentando o problema e os objetivos da tese;
- o capítulo 2 mostra a revisão bibliográfica focando aspectos relacionados aos RSD e RSS;
- o capítulo 3 detalha a construção dos aterros experimentais, define os materiais e métodos empregados bem como o tratamento dos resultados e a análise estatística;
- o capítulo 4 apresenta e discute os resultados;
- o capítulo 5 apresenta as conclusões e considerações finais;
- o capítulo 6 relaciona a bibliografia utilizada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda diversos aspectos em relação aos resíduos sólidos: definição, classificação, características físicas e biológicas, riscos para a saúde humana e meio ambiente, processos de tratamento de RSS, disposição final, o lixiviado de aterros (geração, potencial poluidor, características físico-químicas e parâmetros de avaliação) e o emprego de aterros e células experimentais para monitoramento de lixiviados de resíduos sólidos.

2.1 – Definição de resíduos sólidos

A NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT define como resíduos sólidos os resíduos nos estados sólido e 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 (ABNT, 2004).

A Lei 12.305 de 02.08.10, que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), empregando conceitos da NBR 10.004/2004, define resíduos sólidos como: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semisólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ela dispõe sobre princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis. Entre outras medidas, estimula e determina a adoção de soluções consorciadas (ou compartilhadas) intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada em aterros sanitários licenciados.

A referida lei, determina também, que a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada em até 4 (quatro) anos após a data de sua publicação. Os rejeitos são definidos pela referida lei como sendo os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos

disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. Foi uma lei muito aguardada e espera-se que ela se constitua em uma ferramenta para o avanço efetivo da gestão dos resíduos sólidos no Brasil.

Segundo a Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e a Resolução nº 306, de 7 de dezembro de 2004 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, os Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) são todos aqueles resultantes de atividades exercidas nos serviços de saúde, resíduos estes, que por suas características necessitam de processos diferenciados em seu manejo, exigindo ou não tratamento prévio à sua disposição final. As atividades definidas anteriormente são os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento (tanatopraxia e somatoconservação); serviços de medicina legal; drogarias e farmácias inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos; importadores, distribuidores e produtores de materiais e controles para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de tatuagem, entre outros similares.

No âmbito do Município do Rio de Janeiro existe a Lei N° 3.273 de 06.09.01, que dispõe sobre a Gestão do Sistema de Limpeza Urbana, e define como resíduos sólidos ou resíduo qualquer substância ou objeto, com consistência sólida ou semi-sólida, de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer.

De acordo com Eigenheer (2002), a designação "Resíduos de Serviços de Saúde" foi introduzida 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 resíduo domiciliar produzido no hospital, que constitui a grande maioria, além daquele produzido pelos processos de diagnóstico (exames), terapêutica (tratamento) e imunização.

2.2 – Classificação dos resíduos sólidos

Os resíduos sólidos podem ser classificados de diversas maneiras, sendo que as mais comuns são quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, bem como quanto à natureza ou origem (IBAM, 2001).

Outras formas de classificação dos resíduos podem ser adotadas de acordo com um interesse específico. Dessa forma, os resíduos sólidos, podem ser classificados (agrupados) quanto às frações seca e úmida, frações reciclável e não reciclável, e quanto ao grau de biodegradabilidade, que é uma propriedade importante para a verificação da viabilidade de utilização de resíduos em processos de compostagem e digestão anaeróbia (CASTILHOS JUNIOR, 2006).

2.2.1 – Quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, através da NBR 10.004:2004, classifica os resíduos sólidos em:

- Resíduos Classe I – Perigosos: aqueles que apresentam periculosidade (característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente), inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, ou constem nos anexos A (Resíduos perigosos de fontes não específicas) ou B (Resíduos perigosos de fontes específicas).

- Resíduos Classe II – Não perigosos:
  - resíduos classe II A – Não inertes: aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes. Podem ter propriedades , tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubulidade em água.
  - resíduos classe II B – Inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da ABNT NBR 10.004 (Padrões para o ensaio de solubilização).

A Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos classifica os resíduos sólidos quanto à periculosidade em:

a) 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;

b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na classificação resíduos domiciliares.

2.2.2 – Quanto à natureza ou origem

De acordo com o IBAM (2001), o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos é a sua origem. Segundo este critério, os diferentes tipos de resíduos podem ser agrupados em: doméstico ou residencial, comercial, público, domiciliar especial, entulho de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, pneus, de fontes especiais, industrial, radioativo, de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários, agrícola e resíduos de serviços de saúde.

De acordo com a Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos sólidos são classificados quanto à origem em:

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

b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;

c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;

d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;

e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;

f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;

g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do’ Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);

h) 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;

i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Segundo Ferreira (1997) e Zanon e Zanon (2002), a classificação do resíduo pela sua origem, além de arbitrária, é extremamente imprecisa, porque o que existe no chamado resíduo domiciliar também pode ser encontrado no resíduo hospitalar e o que é encontrado neste pode ser achado naquele, só que em menor quantidade.

Para Eigenheer (2002), a classificação do resíduo em relação à sua procedência pode ser prática, mas é extremamente imprecisa, pois não existem diferenças qualitativas que permitam identificar com precisão as variedades de resíduos propostas e, citando Ferreira (1997), ressalta que estudos baseados nessas classificações são contraditórios ou inconcludentes e que podem se prestar, com sua utilização, a firmar preconceitos e crendices.

2.2.3 – Quanto aos tipos

Os resíduos podem ser classificados quanto aos tipos em resíduos sólidos urbanos e resíduos sólidos especiais como estabelece a Lei N° 3.273 de 06.09.01 que dispõe sobre a Gestão do Sistema de Limpeza Urbana no Município do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2001).

2.2.3.1 – Resíduos sólidos urbanos – Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD)

Os resíduos sólidos urbanos, identificados pela sigla RSU, abrangem:

I - o RSD produzido em habitação unifamiliar ou multifamiliar com características não perigosas, especialmente aquele proveniente das atividades de preparação de alimentos ou da limpeza regular desses locais;

II - os bens inservíveis oriundos de habitação unifamiliar ou multifamiliar, especialmente peças de mobília, eletrodomésticos ou assemelhados, cuja forma ou volume os impeçam de ser removidos pelo veículo da coleta domiciliar regular.

III - os resíduos de poda de manutenção de jardim, pomar ou horta de habitação unifamiliar ou multifamiliar, especialmente troncos, aparas, galhadas e assemelhados, de acordo com as quantidades e periodicidade estabelecidas pelo órgão ou entidade municipal competente;

IV - o entulho de pequenas obras de reforma, de demolição ou de construção em habitação unifamiliar ou multifamiliar, especialmente restos de alvenaria, concreto, madeiras, ferragens, vidros e assemelhados, de acordo com as quantidades e periodicidade estabelecidas pelo órgão ou entidade municipal competente;

V - o resíduo público, decorrente da limpeza de logradouros, especialmente avenidas, ruas, praças e demais espaços públicos;

VI - o resíduo proveniente de feiras livres;

VII - o resíduo oriundo de eventos realizados em áreas públicas; nomeadamente parques, praias, praças, sambódromo e demais espaços públicos;

VIII - os excrementos oriundos da defecação de animais em logradouros;

IX - o resíduo que possa ser tipificado como domiciliar produzido em estabelecimentos comerciais, de serviços ou unidades industriais ou instituições/entidades públicas ou privadas ou unidades de trato de saúde humana ou animal ou mesmo em imóveis não residenciais, cuja natureza ou composição sejam similares àquelas do resíduo domiciliar e cuja produção esteja limitada ao volume diário, por contribuinte, de cento e vinte litros ou sessenta quilogramas.

2.2.3.2 – Resíduos sólidos especiais (RSE)

Os resíduos sólidos especiais, identificados pela sigla RSE, abrangem:

I - o resíduo extraordinário, consistindo na parcela dos resíduos definidos em RSU (III, IV e IX) que exceda os limites definidos em lei ou estipulados pelo órgão ou entidade municipal competente;

II - o resíduo perigoso produzido em unidades industriais e que apresente ou possa apresentar riscos potenciais à saúde pública ou ao meio ambiente, devido à presença de agentes biológicos ou às suas características físicas e químicas;

III - o resíduo infectante resultante de atividades médico-assistenciais e de pesquisa produzido nas unidades de trato de saúde humana ou animal, composto por materiais biológicos ou

perfurocortantes contaminados por agentes patogênicos, que apresentem ou possam apresentar riscos potenciais à saúde pública ou ao meio ambiente;

IV - o resíduo químico resultante de atividades médico-assistenciais e de pesquisa produzido nas unidades de trato de saúde humana ou animal, notadamente medicamentos vencidos ou contaminados ou interditados ou não utilizados, e materiais químicos com características tóxicas ou corrosivas ou cancerígenas ou inflamáveis ou explosivas ou mutagênicas, que apresentem ou possam apresentar riscos potenciais à saúde pública ou ao meio ambiente;

V - o resíduo radioativo, composto ou contaminado por substâncias radioativas;

VI - os lodos e lamas, com teor de umidade inferior a setenta por cento, oriundos de estações de tratamento de águas ou de esgotos sanitários ou de fossas sépticas ou postos de lubrificação de veículos ou assemelhados;

VII - o material de embalagem de mercadoria ou objeto, para sua proteção e/ou transporte; que apresente algum tipo de risco de contaminação do meio ambiente;

VIII - resíduos outros objeto de legislação específica e que os exclua da categoria de resíduos sólidos urbanos, conforme definidos em RSU.

2.2.4 – Resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS)

As classificações existentes para os RSS são as estabelecidas pela ABNT, ANVISA e CONAMA. Entretanto, atualmente, a classificação mais adotada é a estabelecida em consenso por ANVISA e CONAMA.

As Resoluções ANVISA RDC n° 306 de 07/12/04 e CONAMA n° 358 de 29/04/2005 adotam a mesma classificação. Ela é feita com base na composição e características biológicas, físicas e químicas, e adota cinco grupos distintos:

GRUPO A

Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características, podem apresentar risco de infecção.

A1

- Culturas e estoques de micro-organismos; resíduos de fabricação de produtos biológicos, exceto os hemoderivados; 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, 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.
- 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.

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.

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 familiares.

A4

- Kits de linhas arteriais, endovenosas e dialisadores, quando descartados.
- 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.

- Resíduos de 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 contenha 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.
- Bolsas transfusionais vazias ou com volume residual pós-transfusão.

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; imunossupressores; 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.
- Demais produtos considerados perigosos, conforme classificação da NBR 10.004 da ABNT (tóxicos, corrosivos, inflamáveis e reativos).

GRUPO C

- Quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear – 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.

Em decorrência de aspectos conflitantes entre a Resolução CONAMA n° 283 de 12/07/2001 e a Resolução ANVISA RDC n° 33 de 25/02/03, e com o intuito de harmonizá-las, foram editadas as Resoluções ANVISA RDC n° 306 de 07/12/04 (que revogou RDC n° 33/03) e CONAMA n° 358 de 29/04/2005 (que revogou a RDC n° 283/01 e o artigo 1º da RDC n° 05/93). Os principais pontos são os seguintes: o estabelecimento da classificação dos resíduos de serviços de saúde no tocante aos riscos envolvidos com o seu manejo; a importância da

segregação na fonte e no momento da geração de acordo com as suas características como fator de redução do volume dos resíduos a serem tratados e dispostos; a possibilidade de codisposição de alguns resíduos do grupo A com resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários ou no solo, desde que aprovado pelo órgão ambiental.

2.3 – Características dos RSD e RSS

As características dos resíduos sólidos são determinadas por fatores tais como: aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos. Esses fatores também concorrem para o estabelecimento de diferenças entre os resíduos das comunidades. As características físicas, químicas e biológicas (especialmente com relação à composição microbiana e os agentes patogênicos presentes nos resíduos) dos resíduos sólidos estão entre os principais fatores que possibilitam a seleção de métodos adequados para o tratamento e sua disposição final (IBAM, 2001).

Diversos fatores podem exercer forte influência sobre as características dos resíduos sólidos. Entre eles, vale destacar as épocas chuvosas que levam ao aumento do teor de umidade dos resíduos, o outono com o aumento do teor de folhas e as épocas especiais, tais como o natal e ano novo, com o aumento de matéria orgânica. O nível cultural e educacional do gerador dos resíduos, bem como o seu poder aquisitivo, considerando também o consumo ao longo da semana e do mês, se refletem no aumento ou na diminuição da matéria orgânica e dos demais componentes (IBAM, 2001; COMLURB, 2012).

Entre as características físicas dos resíduos sólidos destacam-se: a massa específica, o teor de umidade, a compressividade e a composição gravimétrica (IBAM, 2001).

A massa específica é a massa do resíduo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m3, sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações.

O teor de umidade representa a quantidade de água presente no resíduo, medida em percentual do seu peso e é um parâmetro que se altera em função das estações do ano e da incidência de chuvas.

A compressividade é o grau de compactação ou a redução do volume que uma massa de resíduo pode sofrer quando compactada. Analogamente à compressão, a massa de resíduo

tende a se expandir quando é extinta a pressão que a compacta, sem, no entanto, voltar ao volume anterior.

A composição gravimétrica, por sua vez, possibilita determinar a percentagem de cada um dos componentes do resíduo, a partir da relação entre a massa do componente analisado e a massa total da amostra considerada. Fatores tais como, clima, sazonalidade, festas populares, férias escolares e catadores informais podem influenciar os resultados da caracterização (COMLURB, 2009).

Segundo Lee *et al*. (1991), Ferreira (1997) e Cussiol (2005), uma das características mais importantes dos resíduos sólidos, sejam eles domiciliares, urbanos ou de serviços de saúde, é a sua heterogeneidade.

2.3.1 – Composição gravimétrica dos RSD do Município do Rio de Janeiro

A caracterização gravimétrica dos RSD possibilita, em cada região da cidade, avaliar os percentuais dos componentes recicláveis, verificar o teor de matéria orgânica, o percentual de produtos eletro-eletrônicos e a massa específica. Com estes dados, pode-se estudar, em cada bairro, a conveniência da separação dos resíduos recicláveis, a possibilidade de utilização da matéria orgânica para produção de composto orgânico, as diversas alternativas de destino final, como incineração, aterros e outras, além de permitir adequado dimensionamento dos veículos e equipamentos (COMLURB, 2009).

A Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB avalia anualmente, desde 1981, a composição gravimétrica dos resíduos domiciliares do Município do Rio de Janeiro. Esses estudos visam avaliar as composições de resíduos provenientes de domicílios situados em áreas urbanizadas. A Tabela 1 apresenta a série histórica da caracterização gravimétrica dos resíduos domiciliares do Município de Rio de Janeiro no período de 1995 a 2012. Em relação à matéria orgânica, ao longo dos últimos 7 anos, houve tendência de decréscimo no percentual relativo ao total de resíduo domiciliar: passou de 60,64% em 2005 para 53,28% em 2012.

As amostragens ocorrem ao longo do primeiro semestre do ano. A coleta de amostras é interrompida antes, durante e depois de feriados prolongados, como Carnaval e Páscoa, e finais de semana. Esse procedimento tem por finalidade evitar a influência desses períodos sobre a quantidade e a qualidade dos componentes da amostra. Em 2012 foram caracterizados pouco mais de 19.857 kg de resíduos domiciliares.

As Figuras 1 e 2 mostram a composição gravimétrica (média) para o Município do Rio de Janeiro, no ano de 2012.

Os resultados apontam para a possibilidade de incremento da coleta seletiva de materiais recicláveis (papel e papelão, plástico, vidro e metais). O elevado percentual de matéria orgânica, da ordem de mais de 53%, sinaliza no sentido da produção de composto orgânico, cujo maior benefício seria o de redução da demanda de locais de destino de resíduos, cada vez mais distantes dos centros de massa de produção, tornando os aterros sanitários mais duráveis e menos dispendiosos, ao mesmo tempo em que reduziria a produção de lixiviado nos aterros (COMLURB, 2012).

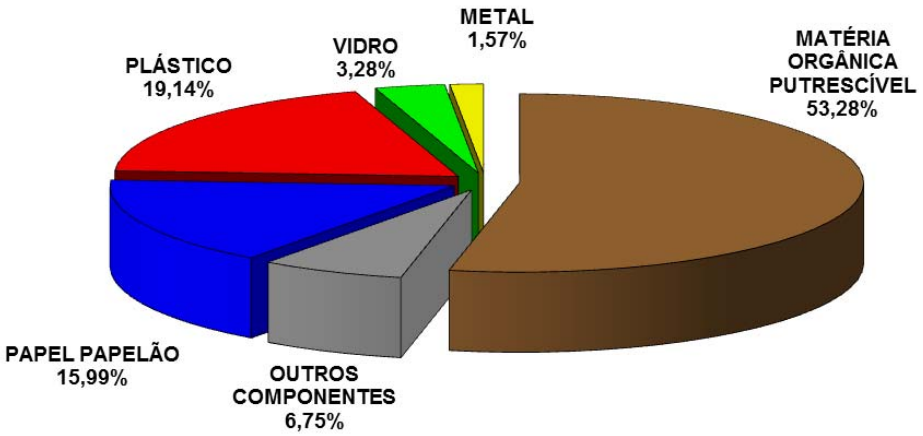


Figura 1 – Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares do Município do Rio de Janeiro em 2012: matéria orgânica, recicláveis e outros componentes (Fonte: COMLURB, 2012).

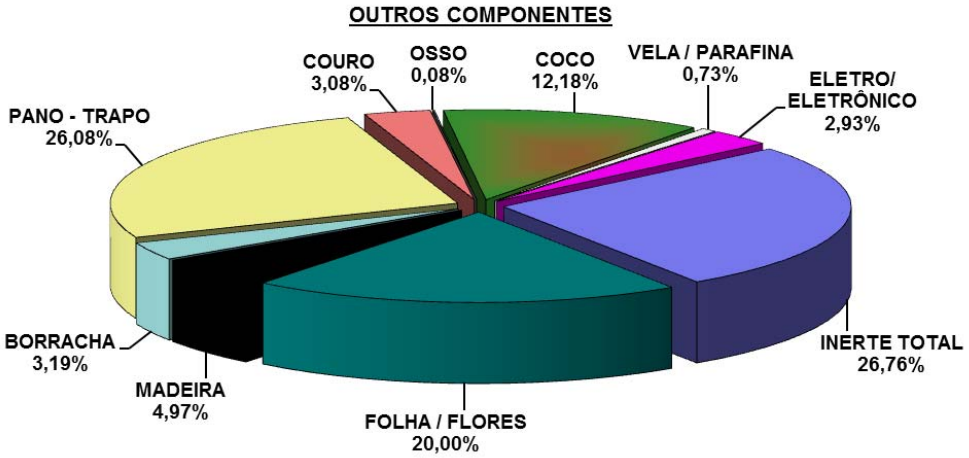


Figura 2 – Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares do Município do Rio de Janeiro em 2012: outros componentes (Fonte: COMLURB, 2012).

Tabela 1 – Caracterização gravimétrica (série histórica) dos resíduos domiciliares do Município de Rio de Janeiro no período de 1995 a 2012.

COMPONENTES (%)	**95**	**96**	**97**	**98**	**99**	**00**	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**
PAPEL - PAPELÃO	24,05	22,26	21,08	22,21	21,85	19,77	18,71	18,78	16,06	12,48	13,51	14,83	14,56	15,96	16,08	16,46	16,84	15,99
PLÁSTICO	15,07	15,09	16,11	16,78	19,90	17,61	19,77	17,61	19,17	15,44	15,34	14,69	17,15	18,58	20,31	19,11	19,29	19,14
VIDRO	2,62	3,63	3,22	3,68	3,48	3,22	3,52	2,74	2,99	3,23	3,24	2,71	2,96	2,79	2,84	2,96	3,19	3,28
MAT. ORG. PUTRESC.*	45,43	48,80	49,09	48,50	50,05	51,27	51,65	55,96	53,04	59,73	60,74	61,35	58,23	56,21	53,63	55,02	52,68	53,28
METAL	3,49	3,09	2,82	2,75	2,16	2,66	1,96	1,97	1,92	1,70	1,65	1,61	1,59	1,51	1,74	1,40	1,68	1,57
INERTE	0,44	0,97	1,53	0,89	0,63	0,94	0,72	0,35	1,46	1,37	0,86	0,75	0,74	1,01	1,09	1,03	1,39	1,81
FOLHA	4,81	2,46	3,04	1,97	0,72	1,91	1,50	0,60	2,34	2,12	1,06	1,30	1,75	1,09	1,26	1,06	1,12	1,35
MADEIRA	0,96	0,53	0,76	0,68	0,18	0,44	0,44	0,38	0,66	0,66	0,34	0,33	0,36	0,32	0,34	0,36	0,37	0,34
BORRACHA	0,17	0,18	0,24	0,33	0,11	0,30	0,29	0,18	0,25	0,22	0,24	0,32	0,21	0,20	0,23	0,21	0,29	0,22
PANO - TRAPO	2,43	2,50	1,71	1,92	0,79	1,61	1,28	1,21	1,83	1,51	1,58	1,61	1,67	1,60	1,75	1,57	2,09	1,75
COURO	0,26	0,16	0,27	0,21	0,10	0,18	0,10	0,15	0,27	0,27	0,22	0,07	0,23	0,23	0,18	0,14	0,21	0,21
OSSO	0,27	0,33	0,13	0,08	0,03	0,09	0,06	0,07	0,01	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,06	0,02	0,01
COCO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,26	1,17	0,40	0,55	0,47	0,40	0,40	0,60	0,82
VELA / PARAFINA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01	0,02	0,03	0,05
ELETRO / ELETRÔNICO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,20	0,23	0,20
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
PESO ESP. (Kg/m3)	203,58	194,79	163,98	168,15	186,10	198,47	169,02	150,81	154,44	153,60	148,35	144,93	143,57	140,60	123,96	111,15	109,09	133,02
TEOR DE UMIDADE	64,54	70,20	67,02	63,67	63,10	62,91	60,89	63,74	72,49	76,55	50,45	56,86	65,30	50,12	40,26	-	-	36,57

Fonte: COMLURB (2012).

Os valores médios de cada componente mostrados pelos referidos estudos são obtidos a partir das caracterizações efetuadas com os resíduos provenientes das dez áreas de planejamento que compõem o Município do Rio de Janeiro. Para a área de planejamento AP4, onde estão situados os bairros Barra da Tijuca, Recreio e Freguesia que originaram os resíduos utilizados neste estudo, no período de 1995 a 2012, os teores de matéria orgânica variaram de 39,16% em 1995 a 50,30% em 2012, atingindo o valor máximo de 57,09 % em 2005, como observado na Figura 3. Essa queda a partir de 2005, pode ser atribuída às mudanças de hábito e à melhoria do poder aquisitivo da população.

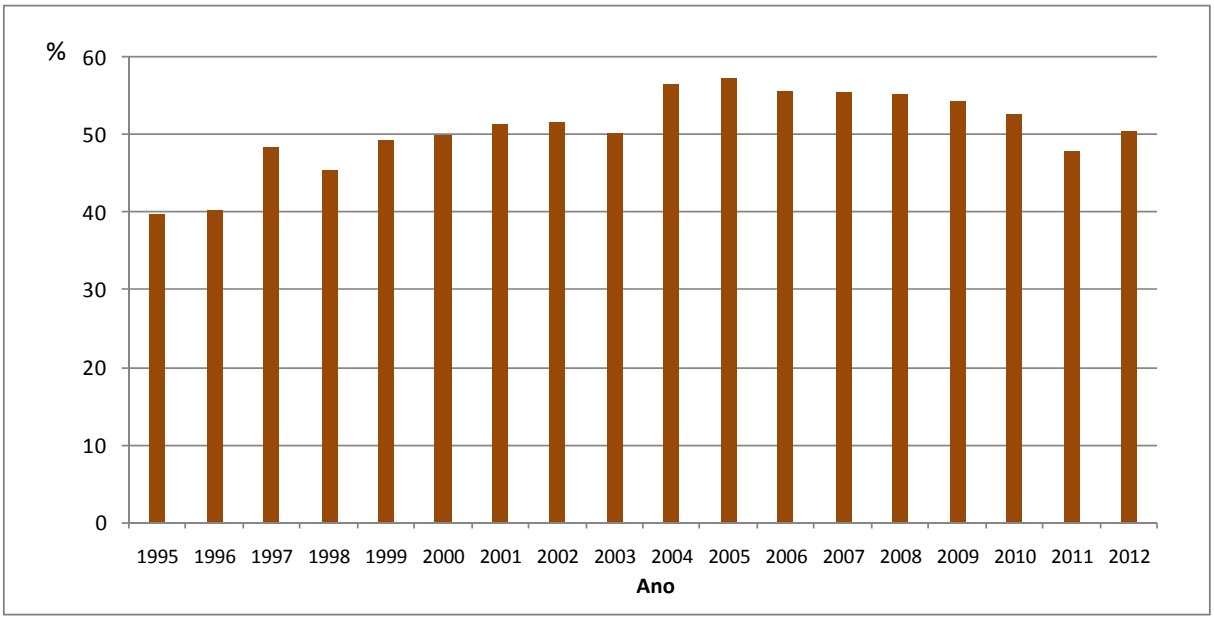


Figura 3 – Série histórica da matéria orgânica putrescível nos resíduos domiciliares da AP4.
Fonte: COMLURB (2012).

Nos trabalhos de caracterização gravimétrica dos resíduos domiciliares do município do Rio de Janeiro efetuados no período de 2005 a 2008 (COMLURB, 2008) observou-se que dentro do componente papel/papelão uma parcela do material se referia às embalagens de medicamentos. Vale destacar que diversas embalagens continham sobras e produtos vencidos.

A Figura 4 mostra as embalagens que apareceram com maior freqüência, agrupadas por ação terapêutica, no bairro da Barra da Tijuca (pertencente à AP4) no ano de 2008.

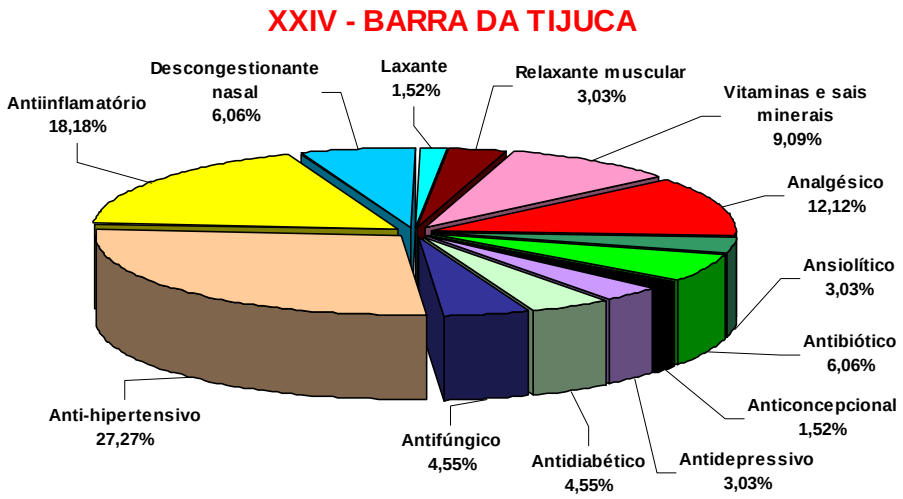


Figura 4 – Percentuais de medicamentos isolados dos resíduos da Barra da Tijuca em 2008. Fonte: COMLURB (2008).

Os resíduos sólidos urbanos também possuem na sua composição resíduos de eletro/eletrônicos (REE). Além disso, a substituição de equipamentos eletroeletrônicos em maior frequência por conta da inovação tecnológica e também da obsolescência programada, gera uma grande quantidade de material não utilizado que, sem destinação adequada, acaba sendo agregada aos RSD (DEMPSEY e OPPELT, 1993).

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA, 2012) a sucata de equipamentos eletroeletrônicos é composta por plásticos (20,6%), ferro/aço (47,9%), metais não ferrosos (12,7%), vidro (5,4%), placas de circuito impresso (3,1%), madeira (2,6%) e outros (7,7%).

COMLURB (2010) efetuou a caracterização gravimétrica de 15.444 kg de resíduos domiciliares provenientes das diversas regiões da cidade e selecionou 30,97kg (0,20% do total catado) de REE, totalizando 261 unidades, como pode ser observado na Figura 5.

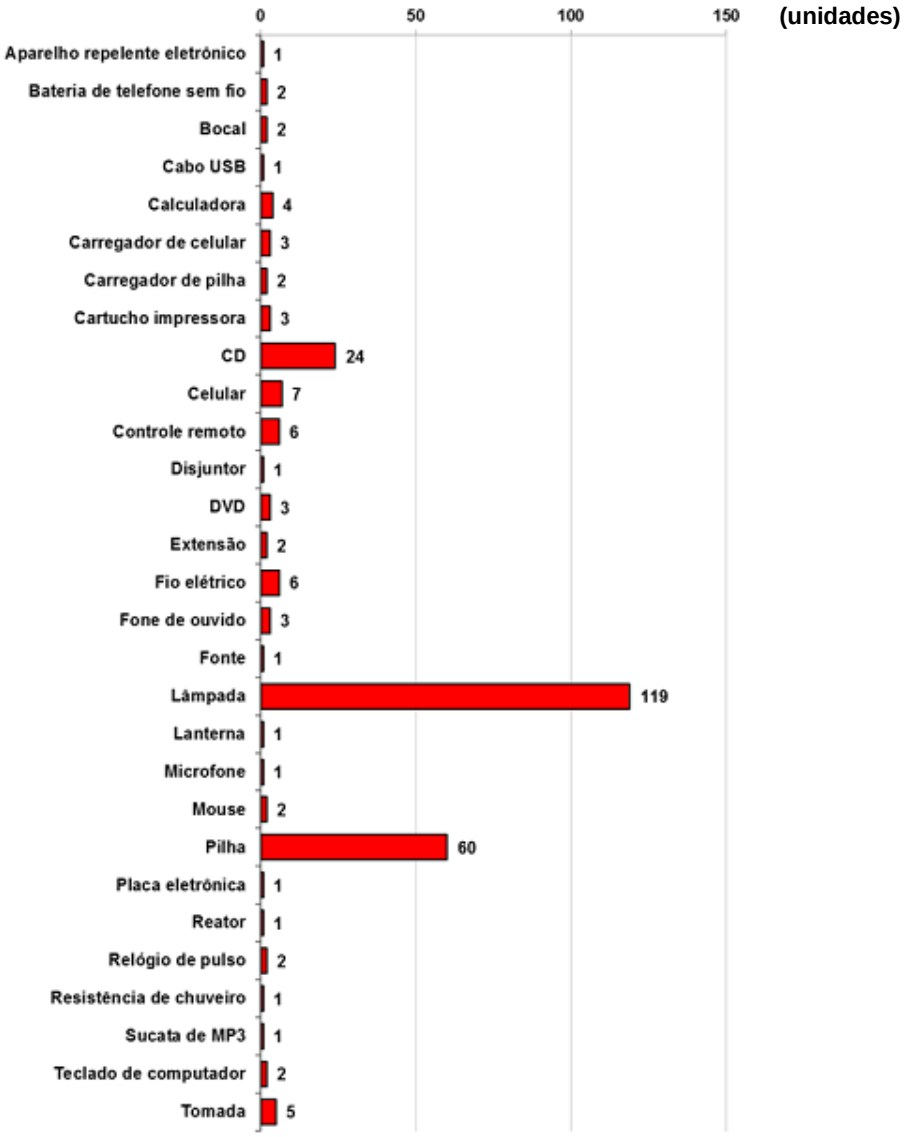


Figura 5 – Avaliação quali/quantitativa de resíduos eletro/eletrônicos (REE) provenientes dos resíduos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro em 2010 (valores unitários).
Fonte: COMLURB - Centro de Informações Técnicas. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

2.3.2 – Composição gravimétrica de RSS

A revisão da literatura revelou a escassez de trabalhos sobre caracterização gravimétrica de RSS. É provável que fatores, tais como, preconceitos por parte da população em geral e o desconhecimento sobre os riscos associados aos RSS, identificados por Zanon e Zanon (2002), contribuam para essa escassez.

Ferreira (1997) efetuou a caracterização gravimétrica de RSD e de RSS de dois hospitais, ambos localizados no bairro da Tijuca, Rio de Janeiro, conforme ilustrado na Tabela 2, e observou que os resultados convergem para a semelhança entre os resíduos. Os resultados

mostraram para ambos os resíduos a presença de embalagens de remédios, produtos químicos, pilha e bateria, lâmpada fluorescente e resto de tinta entre outros itens.

Tabela 2 – Composição gravimétrica de amostras dos resíduos sólidos dos Hospitais Evangélico e Gaffrée Guinle e de resíduos domiciliares da área da Tijuca – (%) em massa.

Componentes	Resíduos hospitalares		Resíduos domiciliares
	Hosp. Evangélico	Hosp. Gaffrée	
Papel	24,7	33,7	15,5
Metal ferroso	1,2	2,4	0,9
Metal não ferroso	4,4	3,5	2,1
Plástico	33,9	27,7	14,9
Pano e trapo	12,0	3,8	0,6
Vidro	5,6	15,0	6,3
Borracha	6,0	3,0	ne
Couro	ne	ne	0,2
Madeira	ne	ne	0,1
Folha	ne	ne	0,2
Matéria orgânica	6,8	8,0	41,5
Pedra	ne	ne	0,1
Agregado fino	5,6	3,2	17,8
To t a l	100,0	100,0	100,0
Massa específica (kg/m3)	121,0	154,0	160,1
Teor de umidade (%)	44,4	30,0	75,7

ne – não encontrado
Fonte: Ferreira (1997).

Cussiol *et al*. (2006) investigaram a parcela de resíduos potencialmente infectantes de origem domiciliar presentes nos resíduos sólidos urbanos da região sul de Belo Horizonte – MG e observaram que, em relação à fração total, 5,5% era composta por estes resíduos. As demais frações foram matéria orgânica putrescível (52,9%), materiais potencialmente recicláveis (32%), químicos potencialmente perigosos (1,9%) e materiais diversos (7,7%).

Um dos aspectos negativos do gerenciamento inadequado dos resíduos de saúde é a mistura de resíduos perigosos com resíduos considerados similares aos resíduos sólidos municipais. Essa prática torna toda a massa perigosa, acarreta o aumento considerável dos resíduos a serem tratados, eleva os custos do gerenciamento e amplifica os impactos negativos sobre a saúde pública e o meio ambiente (CHAERUL *et al*., 2008).

2.3.3 – Características biológicas de RSD e RSS

Os RSD apresentam composição microbiana diversificada, sendo possível a ocorrência de vírus, bactérias, fungos, protozoários e helmintos, entre outros. Essa microbiota é composta por micro-organismos não patogênicos e micro-organismos potencialmente patogênicos (COMLURB, 2012).

Micro-organismos e diversos agentes patogênicos chegam aos resíduos domiciliares através de papéis higiênicos, lenços de papel, fraldas descartáveis, absorventes, preservativos, carcaças e vísceras de animais, alimento deteriorado e outros materiais em decomposição, curativos e resíduos de saúde provenientes de doentes em residências e de fezes in natura, humanas e de animais (especialmente cães e gatos), entre outras fontes (COMLURB, 2012).

Encontram-se entre os micro-organismos mais estudados e observados em resíduos sólidos Escherichia coli, Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais, Clostridium perfringens, grupo Enterococos, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus, Enterovírus, Fungos, Salmonella, Klebsiella pneumoniae e Proteus mirabilis. (EPA, 1973; KALNOWSKI *et al*., 1983; CETESB, 1984; JAGER *et al*., 1989; ZANON, 1992; CEPIS/OPS/OMS, 1996; FERREIRA, 1997; BIDONE *et al*., 2000; SOARES *et al*., 2001; PEREIRA NETO *et al*., 2001; GIORDANO *et al*., 2002; MACHADO, 2004; CUSSIOL *et al*., 2006; COSTA E SILVA, 2005; MONTEIRO *et al*., 2006; COMLURB, 2012).

Semelhanças entre as composições e as densidades das populações microbianas presentes em RSS e em RSD, têm sido apontadas em diversos estudos. De acordo com Zanon (1992), os RSS são menos contaminados do que os domésticos, as espécies bacterianas presentes são semelhantes e patógenos primários podem ser encontrados tanto no resíduo hospitalar quanto no resíduo domiciliar, porém não sobrevivem por mais de oito dias, nem se disseminam para os resíduos adjacentes. Collins e Kenedy (1992) citam os trabalhos de Kalnowski *et al*. (1983), Trost *et al*. (1985) e Mose *et al*. (1985), que analisaram os conteúdos microbianos de resíduos domiciliares e de serviços de saúde e não encontraram diferenças significativas entre os resíduos. Mais semelhanças do que diferenças entre os RSD e RSS também foram observados por Ferreira (1997), Costa e Silva (2005) e Cussiol (2005) que efetuaram a caracterização microbiológica desses resíduos e seus lixiviados.

As características físico-químicas e microbiológicas de um resíduo sofrem influências recíprocas e se modificam ao longo do tempo quando confinado em aterro ou célula experimental (RAFIZUL e ALAMGIR, 2012).

No resíduo domiciliar, lodo de esgoto, dejeções, camas de animais e muitos outros resíduos orgânicos sólidos residem micro-organismos em quantidade e qualidade suficientes para a sua degradação e essa comunidade microbiana é influenciada por fatores, tais como, composição física e química dos resíduos, umidade, pH e oxigênio (PEREIRA NETO e MESQUITA, 1992; IBAM, 2001; KIEHL, 2002).

A capacidade de determinados micro-organismos em inibir o crescimento de outros micro-organismos deterioradores e patogênicos está associada a fatores tais como, alterações do potencial de óxi-redução, diminuição da quantidade de nutrientes disponíveis e produção de substâncias antagônicas como ácidos orgânicos, dióxido de carbono e enzimas (TAGG, DAJANI e WANNAMAKER, 1976; LAW e KOLSTAD, 1983; LEWUS e MONTIVILLE, 1991).

Além da contaminação química dos resíduos, a microbiota também é influenciada pela própria atividade das diversas populações microbianas residentes nos resíduos. A competição interespecífica e a atividade antibiótica da microbiota dos RSU em processo de decomposição são exemplos de fatores importantes na inativação de micro-organismos patogênicos provenientes de matéria fecal (humana e animal) em resíduos de serviços de saúde e resíduos sólidos urbanos (PEREIRA NETO e MESQUITA, 1992).

2.4 – Riscos para a saúde humana e meio ambiente associados aos RSS e RSD

O potencial de risco para a saúde humana e para o meio ambiente associado aos resíduos sólidos e em especial aos RSS tem sido motivo de controvérsias e polêmicas, envolvendo basicamente dois segmentos: os que consideram que os RSS oferecem maiores riscos, e portanto são mais perigosos do que os RSD, e os que não concordam com o maior potencial de risco dos RSS se comparados aos RSD.

De acordo com ANVISA (2006), por serem fontes potenciais de micro-organismos patogênicos, o manuseio, tratamento e/ou descarte inadequados dos RSS podem acarretar na disseminação de doenças infecto-contagiosas. Segundo Tavares *et al*. (2007), a Agenda 21

cita que, até o final do século passado, cerca de 4 milhões de crianças morreram por doenças provocadas por resíduos sólidos.

Para ZANON e ZANON (2002), as conclusões de Soares et al. (2000), que afirmam que os RSS oferecem riscos à comunidade, aos pacientes e aos funcionários dos serviços de saúde (diretos e indiretos), as afirmações contidas no Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (COELHO, 2000) com relação à periculosidade dos RSS, bem como as normas da ABNT e a legislação do CONAMA, que declaram que os RSS representam risco para o ambiente e para a saúde porque transmitem doenças infecciosas, contrariam fatos científicos e epidemiológicos, são preconceituosas pois não apresentam evidências científicas que as sustentem e se caracterizam pela falta de objetividade e pela não compreensão do significado epidemiológico dos resultados obtidos.

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, excetuando os perfurocortantes, nem mais contaminados do que os resíduos domiciliares (ZANON e EIGENHEER, 1991; ANDRADE, 1997; RUTALA e MAYHALL, 1992; ZANON e ZANON, 2002; FERREIRA, 2002; CUSSIOL, 2005).

De acordo com Faria (2002), os problemas de saúde pública decorrentes do contato das populações com os resíduos sólidos urbanos são pouco comuns, ocorrendo apenas em comunidades que residem sobre vazadouros e que os efeitos indesejáveis decorrentes do contato do homem com os resíduos sólidos urbanos são muito mais indiretos do que diretos e aponta para a necessidade de controle adequado da disposição final dos resíduos e dos vetores que venham a proliferar nas usinas e aterros, que são os efetivos veiculadores de moléstias.

Para Sisino (2002), os resíduos sólidos são, principalmente, uma via indireta de transmissão de doenças, gerando condições propícias que facilitam, ou mesmo possibilitam, a ação de múltiplos fatores e aponta como principais vias indiretas os roedores urbanos, insetos e animais que se alimentam dos resíduos.

Burke (1994) *apud* Ferreira (1997) destaca que a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), o Instituto Nacional de Saúde (NIH) e o Centro de Controle de Doenças (CDC), dos Estados Unidos, consideram que os resíduos hospitalares não constituem risco adicional para a saúde, em relação a qualquer outra forma de resíduos sólidos gerados nas cidades. Outros

autores comentam ainda que os RSS não representam riscos de infecção para o público e para o ambiente (RUTALA e MAYHALL, 1992; REINHARDT *et al*.,1996).

Segundo Collins *et al*. (1992), a preocupação quanto à presença no meio ambiente de agulhas, seringas, fraldas descartáveis e papel higiênico não deveria estar associada somente a unidades hospitalares como possíveis fontes, pois esses mesmos materiais também são descartados nos resíduos de residências e de serviços públicos.

De acordo com Ribeiro (1998), desde que sejam cumpridas as normas de segurança referentes a cada processo e que sejam adotadas medidas preventivas básicas, torna-se remota a possibilidade de transmissão de doenças a partir da contaminação ambiental por resíduos infectantes.

Para Boatright *et al*. (1995), a literatura científica fornece embasamento mostrando que é muito baixo o risco de contrair doença infecciosa pelo contato com resíduos biomédicos, entretanto, a população em geral entende como muito alto o risco de doenças a partir desses materiais.

Dugan (1992), após diversos estudos sobre a periculosidade dos resíduos médicos controlados, envolvendo órgãos de saúde pública e meio ambiente dos Estados Unidos: Office of Technology Assessment (OTA), General Accounting Office (GAO), New York State Department of Health, Centers for Disease Control (CDC), Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ASTDR) do Serviço de Saúde Pública dos EUA e Environmental Protection Agency (EPA), concluiu que os riscos de infecção para a comunidade dos referidos resíduos, excetuado a fração perfurocortante, não são maiores do que os resíduos domiciliares, e portanto, no que tange à legislação, deveriam ser tratados igualmente.

Para Ferreira (2002), os resíduos domiciliares e de serviços de saúde apresentam riscos semelhantes para a saúde pública e ao meio ambiente, devendo ser gerenciados da melhor forma possível, dentro de um mesmo sistema de gerenciamento, e não de forma diferenciada. E ainda, que existe uma parcela da população cujos receios dos riscos potenciais em relação aos RSS derivam da associação de doenças e morte à instituição hospitalar e, por conseguinte, transferem esse sentimento aos seus resíduos.

Segundo ZANON e ZANON (2002), não é possível diferenciar qualitativamente os resíduos produzidos nos serviços de saúde daqueles gerados no domicílio humano e ressalta o equívoco ao atribuir-se arbitrariamente aos RSS a capacidade de causar doenças infecto-contagiosas. E afirma que a doença infecciosa é resultado de uma interação simultânea de fatores que envolvem a presença do agente infeccioso em quantidade suficiente, uma via de transmissão adequada, uma porta de entrada e um hospedeiro em estado de susceptibilidade, e que, portanto, apenas a presença do agente não determina o risco infeccioso, há necessidade também de outros fatores que só podem ser avaliados pela análise epidemiológica.

2.5 – Processos de tratamento de RSS

Entende-se por tratamento a aplicação de processos e procedimentos que alterem as características físicas, físico-químicas, químicas ou biológicas dos resíduos e podendo promover a sua descaracterização, visando à minimização do risco para a saúde pública, a preservação da qualidade do meio ambiente, a segurança e a saúde do trabalhador (CONAMA, 2005). O tratamento pode ser aplicado no próprio estabelecimento gerador ou em outro estabelecimento, observadas nestes casos, as condições de segurança para o transporte entre o estabelecimento gerador e o local do tratamento. Os sistemas para tratamento de RSS devem ser objeto de licenciamento ambiental, por órgão do meio ambiente e são passíveis de fiscalização e controle pelos órgãos de vigilância sanitária e de meio ambiente (ANVISA, 2003).

Segundo a PNSB 2008 (IBGE, 2010), dos 4.469 municípios que responderam ao quesito existência de processamento de RSS, 2.613 municípios (58,5%) responderam possuir algum tratamento, sendo 2.218 empregando incineração, tratamento em autoclave ou tratamento por micro-ondas. Entretanto, 616 queimam a céu aberto, 131 queimam em fornos simples, em 56 não existe processamento desses resíduos e 291 empregam outros tratamentos não especificados na pesquisa. Acrescente-se a isso os 1.095 municípios (19,7%) que não responderam ao referido quesito.

As Resoluções ANVISA RDC n° 306 de 07/12/04 e CONAMA n° 358 de 29/04/2005 adotam as mesmas recomendações e determinações para tratamento dos RSS:

- Os resíduos do Grupo A1 devem ser submetidos a processos de tratamento utilizando processo físico ou outros processos validados e posteriormente encaminhados para

aterro sanitário licenciado ou local devidamente licenciado para disposição final de RSS.

- Os resíduos do Grupo A2 devem ser submetidos a processo de tratamento e posteriormente encaminhados, de acordo com as suas características, para: aterro sanitário licenciado ou local devidamente licenciado para disposição final de resíduos dos serviços de saúde, sepultamento em cemitério de animais ou para tratamento térmico por incineração.

- Os resíduos do Grupo A3 devem ser encaminhados para sepultamento em cemitério ou tratamento térmico por incineração ou cremação, em equipamento devidamente licenciado para esse fim.

- Para os resíduos do Grupo A4 não há exigência de tratamento prévio, eles podem ser encaminhados para local devidamente licenciado para a disposição final de RSS.

- Os resíduos do Grupo A5 devem ser submetidos a tratamento específico orientado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA.

- Os resíduos do Grupo A não podem ser reciclados, reutilizados ou reaproveitados, inclusive para alimentação animal.

- Os resíduos do Grupo B, em função das suas características de periculosidade, podem ou devem: ser submetidos a processo de reutilização, recuperação ou reciclagem, ter disposição final em aterro licenciado, ser submetidos a tratamento e disposição final específicos, ser dispostos em aterro de resíduos perigosos ou ser lançados em corpo receptor ou na rede pública de esgoto.

- Os resíduos do Grupo C são considerados quaisquer materiais que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados na norma CNEN-NE-6.02, para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista, são considerados rejeitos radioativos (Grupo C) e devem obedecer às exigências definidas pela CNEN. Os rejeitos radioativos não podem ser considerados resíduos até que seja decorrido o tempo de decaimento necessário ao atingimento do limite de eliminação. Os rejeitos radioativos, quando atingido o limite de eliminação, passam a ser

considerados resíduos das categorias biológica, química ou de resíduo comum, devendo seguir as determinações do grupo ao qual pertencem.

- Os resíduos do Grupo D, quando não forem passíveis de processo de reutilização, recuperação ou reciclagem, devem ser encaminhados para aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente.

- Os resíduos do Grupo E devem ter tratamento específico de acordo com a contaminação química, biológica ou radiológica. Devem estar acondicionados em coletores estanques, rígidos e hígidos, resistentes à ruptura, à punctura, ao corte ou à escarificação. Dependendo das suas características devem ser tratados e/ou destinados de acordo com as orientações constantes para os resíduos do grupo A1, A4, B ou C.

A Tabela 3 mostra exemplos de sistemas de tratamento para resíduos dos grupos A, B e C, indicados pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2001).

Tabela 3 – Tipos de sistemas de tratamento para resíduos de serviços de saúde.

Tratamento	Grupo A Risco Biológico	Grupo B Risco Químico	Grupo C Radioativos
Incineração	x	x	
Autoclave	x		
Tratamento Químico	x		
Micro-ondas	x		
Ionização (Irradiação)	x		
Decaimento			x

Fonte: Brasil, Ministério da Saúde – REFORSUS, 2001

A seguir, são apresentadas as características básicas das principais formas de tratamento adotadas pelos municípios brasileiros, apontadas pela PNSB 2008 (IBGE, 2010).

2.5.1 – Incineração

A incineração é um processo de queima dos resíduos, sólidos e líquidos, a temperaturas que variam entre 800 a 1.400°C, com redução do peso e volume, e geração de gases, cinzas e escórias (IBAM, 2001).

Os aspectos positivos da incineração se referem à garantia da eficiência de tratamento, quando em perfeitas condições de funcionamento e a redução de volume dos resíduos a serem dispostos, em torno de 95% do volume inicial (ASSAD *et al*., 2001).

Entre os principais aspectos negativos, destacam-se os elevados custos e as dificuldades de manutenção e operação dos incineradores (a incineração é 15 vezes mais cara do que o aterro sanitário), o elevado risco de contaminação do ar devido à geração de dioxinas, furanos e metais pesados a partir da queima de materiais clorados (luvas e sacos de PVC, desinfetantes hospitalares a base de cloro e outros) e emissão de materiais particulados, o elevado custo de tratamento dos efluentes gasosos e líquidos, e a dificuldade de adequação aos padrões dos órgãos de proteção ambiental (NEVES, 1992; FERREIRA, 1996; CONNETT, 1998; ASSAD *et al*., 2001).

De acordo com Ferreira (2002), os riscos relacionados com a poluição atmosférica e os avanços da pesquisa científica a respeito da poluição do ar, os órgãos de controle ambiental, a maior conscientização das pessoas e os altos custos de tratamentos dos efluentes gasosos e líquidos gerados, têm provocado sérias restrições técnicas e econômicas para utilização do processo de incineração. Ainda segundo o autor, a incineração necessita de disposição adequada para as cinzas e para o lodo resultante do tratamento dos gases, o que não resolve de maneira integral o problema da destinação dos RSS. Além disso, a operação contínua, o uso intermitente, a carga excessiva e o conteúdo de umidade, entre outros, podem interferir na incineração e conseqüentemente na esterilização do resíduo.

2.5.2 – Autoclavação

Trata-se de um processo desenvolvido originalmente para a esterilização de material cirúrgico, que foi posteriormente empregado para a esterilização de resíduos. Consiste na exposição dos resíduos a altas temperaturas (entre 105 e 150°C), numa câmara estanque em presença de vapor d'água e sob determinadas condições de pressão, o que permite a destruição dos micro-organismos. O vapor deve penetrar de maneira uniforme na massa de resíduo de forma a garantir a eficiência do processo. Os resíduos permanecem na câmara por tempo determinado, geralmente de 20 a 30 minutos (podendo chegar a 1 hora), havendo o descarte da água por um lado e dos resíduos pelo outro (IBAM, 2001; ASSAD *et al*., 2001).

Esse processo apresenta como vantagens o baixo custo operacional, a não emissão de efluentes gasosos, o efluente líquido estéril e a manutenção relativamente fácil e barata. Em

contrapartida, apresenta como desvantagens a não garantia de que o vapor d'água atinja todos os pontos da massa de resíduos, exceto se houver trituração prévia, a não redução do volume dos resíduos, a não ser que também haja trituração prévia e o fato de ser um processo em batelada o que impede um trabalho continuado de tratamento (IBAM, 2001; ASSAD *et al.*, 2001).

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

2.5.3 – Esterilização por micro-ondas

Processo que consiste inicialmente na trituração dos resíduos, seguida de umedecimento com vapor d'água a 150ºC e colocação continuada (ou por batelada) em um 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 (IBAM, 2001).

As vantagens desse processo são a ausência de emissão de efluentes de qualquer natureza e o fato de ser um processo contínuo. As principais desvantagens referem-se ao alto custo operacional e a redução do volume de resíduos, que só será obtida se ocorrer trituração (IBAM, 2001; ASSAD *et al.*, 2001).

2.5.4 – Outros processos de tratamento

– **Pirólise**

A exemplo da incineração, a pirólise também é um processo de destruição térmica, porém, nesse caso existe absorção de calor e o processo ocorre em ausência de oxigênio. Na pirólise há formação de combustíveis gasosos ou líquidos e carvão a partir do processamento de compostos de carbono. Nos modelos de câmara simples a temperatura atinge em torno de 1000°C. Nos modelos de câmaras duplas as temperaturas variam de 600 e 800°C na câmara primária e de 1000 a 1200°C na câmara secundária. Podem apresentar sistema de alimentação contínua ou em batelada e podem operar com queimadores auxiliares: óleo combustível ou gás (IBAM, 2001).

Suas principais vantagens são a garantia da eficiência de tratamento, quando em perfeitas condições de funcionamento e a redução substancial do volume de resíduos a ser disposto (cerca de 95%). Suas principais desvantagens referem-se aos elevados custos e dificuldades

no tocante à operação e manutenção, alto risco de contaminação do ar, com geração de dioxinas e furanos a partir da queima de materiais clorados existentes nos sacos de PVC, luvas e desinfetantes, risco de contaminação do ar pela emissão de materiais particulados e elevado custo de tratamento dos efluentes gasosos e líquidos (IBAM, 2001; ASSAD *et al.*, 2001).

– **Radiação ionizante**

Processo que consiste na exposição dos resíduos à ação de raios gama gerados por uma fonte enriquecida de cobalto 60 que provoca a inativação dos micro-organismos, através de sua ionização e quebra do DNA celular (IBAM, 2001; ASSAD *et al.*, 2001).

As vantagens deste processo referem-se à ausência de emissão de efluentes de qualquer natureza, assim como pelo fato de ser um processo contínuo. Como desvantagens destaca-se a eficiência questionável de tratamento, tendo em vista a possibilidade de não exposição de partes da massa de resíduos aos raios eletromagnéticos, o custo operacional relativamente alto, a dificuldade de manutenção do equipamento, a não redução do volume de resíduos a ser aterrado (salvo se houver trituração) e a necessidade de disposição adequada da fonte exaurida de cobalto 60 (radioativa). Se o processo não for conduzido adequadamente pode oferecer risco de mutação em seres vivos (IBAM, 2001; ASSAD *et al.*, 2001).

– **Desativação eletrotérmica**

Esta forma de tratamento consiste numa dupla trituração seguida pela exposição da massa triturada a um campo elétrico de alta potência gerado por ondas eletromagnéticas de baixa freqüência, culminando em temperatura entre 95 e 98°C (IBAM, 2001; ASSAD *et al.*, 2001).

Os aspectos positivos são a ausência de efluentes de qualquer natureza, a redução do volume de resíduos na trituração e o processo contínuo. Os aspectos negativos relacionam-se ao custo operacional relativamente alto, a garantia questionável da eficiência do tratamento dos resíduos, pois existe possibilidade de partes da massa de resíduos não ficarem expostas aos raios eletromagnéticos e não há garantia da descaracterização dos resíduos (IBAM, 2001; ASSAD, 2001).

– **Tratamento químico**

Este processo consiste na trituração dos resíduos com posterior desinfecção em solução desinfetante, a exemplo do hipoclorito de sódio, do dióxido de cloro e do gás formaldeído. O tratamento se dá por contato direto do desinfetante com a massa de resíduo por um período de

até 30 minutos. Os resíduos passam por um sistema de secagem antes de serem dispostos no contêiner de saída, o que ocasiona a geração de efluente líquido que precisa de tratamento (IBAM, 2001; ASSAD *et al*., 2001).

São vantagens deste processo: a economia operacional, a manutenção e a eficiência do tratamento dos resíduos. Entre as desvantagens destaca-se a necessidade de neutralização dos efluentes líquidos e a não redução do volume do resíduo que poderá ocorrer se houver trituração independente (IBAM, 2001; ASSAD *et al*., 2001).

– **Incinerador de plasma**

O plasma é um gás ionizado eletricamente condutivo, constituído de partículas carregadas e de nêutrons. Neste processo a energia elétrica é transformada em plasma, que atua como um mecanismo de transferência e conversão de energia. Esta energia libera elétrons que rompem as ligações entre as moléculas. As ligações químicas são quebradas diretamente, sem passar por reações químicas e o resfriamento rápido impede a recombinação das moléculas (KOMPAC, 2009).

Entre as vantagens desta tecnologia destacam-se a capacidade de tratar qualquer tipo de resíduo, a elevada redução de massa e volume do resíduo e a possibilidade de eliminação da disposição final em aterros caso os produtos vitrificados sejam aproveitados para alguma finalidade (MENEZES *et al*., 1999; KOMPAC, 2009). Como desvantagens destaca-se o alto custo de implantação, operação e manutenção, bem como a necessidade de mão de obra especializada.

O plasma térmico pode ser aplicado ao processamento de resíduos perigosos, incluindo resíduos organoclorados, lamas de eletrodeposição, borras de produção de alumínio, sucatas metálicas, cinzas de incineração e resíduo hospitalar (MENEZES *et al*., 1999).

É um processo onde não há combustão de resíduos, o material resultante é formado por sólidos inertes vitrificados e gases combustíveis e existe a possibilidade de recuperação de energia em quantidade superior à empregada caso os resíduos apresentem elevado poder calorífico. É preferencialmente indicado para o tratamento de resíduos do grupo B (químicos) tendo em vista o alto custo de processamento (CUSSIOL *et al*., 2003).

2.6 – Disposição final de RSD e RSS

De acordo com a Lei 12.305/2010, disposição final ambientalmente adequada consiste na distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

A Lei N° 3.273 de 06.09.01 do Município do Rio de Janeiro define por disposição final o conjunto de atividades que objetive dar destino final adequado ao resíduo sólido, com ou sem tratamento, sem causar danos ao meio ambiente.

2.6.1 – Aterros Sanitários

O aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é definido pela NBR 8419 (ABNT, 1984) como sendo uma técnica de disposição dos resíduos sólidos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. 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. Prevê a impermeabilização da área, sistema de drenagem de líquidos e gases e tratamento de percolado.

No âmbito do Estado do Rio de Janeiro, o Instituto Estadual do Ambiente – INEA, estabelece as instruções técnicas: IT 1.302, de 1984, para apresentação de projetos de aterros sanitários e IT 1.303, de 1984, para apresentação de projetos de aterros controlados.

A impermeabilização do aterro é obtida através da aplicação de camada de argila, concreto ou geomembrana plástica, um sistema de drenagem capta os líquidos e gases, os líquidos são encaminhados para uma unidade de tratamento e os gases enviados para queima ou aproveitamento energético (IBAM, 2001).

Do ponto de vista técnico e econômico, os aterros sanitários se constituem na forma de disposição de resíduos sólidos urbanos mais viável para a realidade brasileira (FERREIRA, 2002; GOMES, 2009). Segundo El-Fadel *et al*. (2002), do ponto de vista econômico, os aterros sanitários se constituem na via de eliminação mais atraente para os resíduos sólidos urbanos.

De acordo com a PNSB 2008 (IBGE, 2010), os vazadouros ainda são o destino final dos resíduos sólidos em 50,8% dos municípios brasileiros. As regiões Nordeste (89,3%) e Norte (85,5%) registraram as maiores proporções de municípios que destinavam seus resíduos aos lixões, enquanto as regiões Sul (15,8%) e Sudeste (18,7%) apresentaram os menores percentuais. A Figura 6 mostra o destino final dos RSS coletados por municípios brasileiros em 2008 (IBGE, 2010).

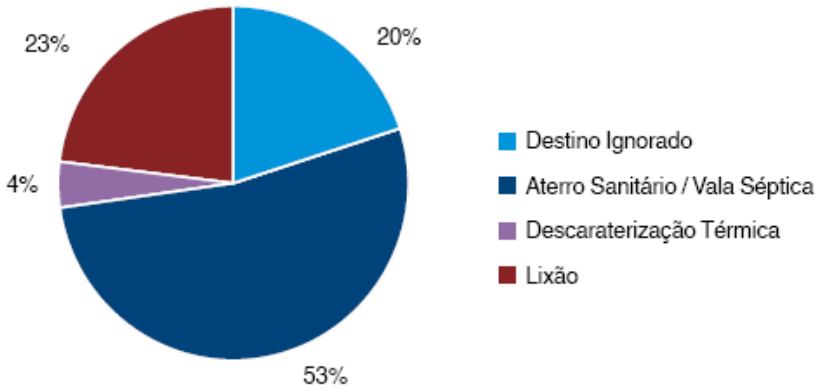


Figura 6 – Destino final dos resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS) coletados por municípios brasileiros em 2008. Fonte: PNSB 2008 (IBGE, 2010).

A pesquisa revelou que 20% dos municípios (1.108) dispõem os RSS sépticos em lixões em conjunto com os demais resíduos e 11,5% (642) fazem a disposição em aterro convencional em conjunto com os demais resíduos.

Vale destacar que a Resolução 404 de 11.11.08 do CONAMA admite a disposição final de RSS em aterros sanitários (licenciados) de pequeno porte, que são aqueles com disposição diária de até 20 toneladas de resíduos sólidos urbanos. A resolução se aplica aos RSS que não requerem tratamento prévio à disposição final e aqueles que pela sua classificação de risco necessitam de tratamento prévio à disposição final, de acordo com a RDC ANVISA 306 de 07.12.04 e a Resolução CONAMA 358 de 29.04.05.

O aterro sanitário representa uma importante meta a ser alcançada pelas municipalidades para um tratamento adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Na Europa os aterros sanitários são bastante utilizados para a disposição de RSU. A Figura 7 mostra o emprego de aterros sanitários em diversos países da Europa.

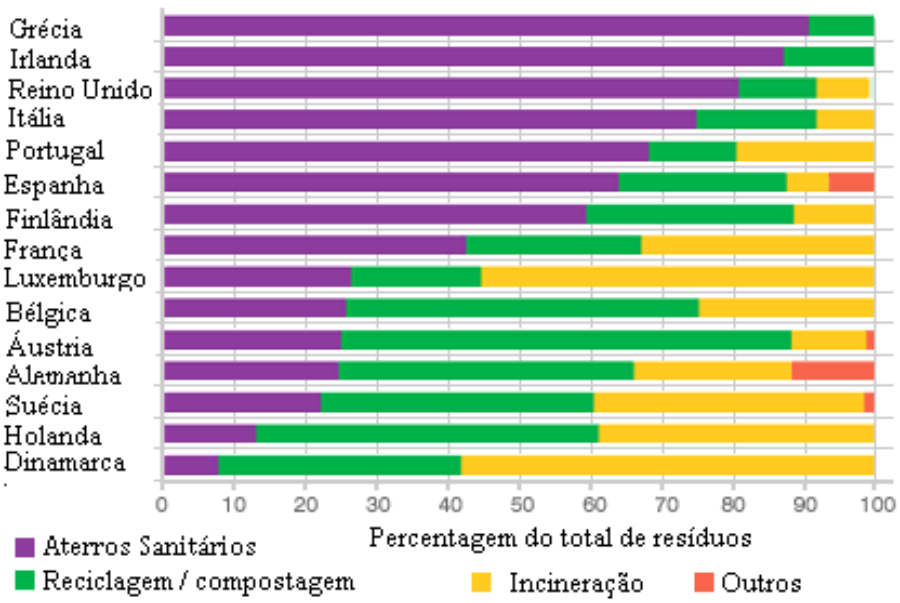


Figura 7 – Formas de tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos em países da Europa. Fonte: BBC (2005). Disponível em http://www.bbc.co.uk/news/

Assad *et al*. (2001) consideram a disposição de resíduos infectantes em aterros existentes como uma fase transitória, até a implantação das unidades de tratamento. Para tal, essa área destinada aos resíduos infectantes deverá estar isolada do restante do aterro, cercada e com acesso restrito à equipe de trabalho. Na parte inferior deverá receber impermeabilização com manta plástica de polietileno de alta densidade e uma camada de argila compactada de 1,00m de espessura, com coeficiente de permeabilidade $\leq 10^{-7}$cm/s. Também deverá haver cobertura diária da frente de trabalho, com uma camada de argila compactada resultando numa espessura mínima de 0,20 m.

2.6.2 – Valas sépticas

Um dos processos indicados para a disposição final de RSS é a vala séptica. Não existe norma ou legislação definindo a característica de uma vala séptica. Em alguns manuais é referida como se fosse um aterro industrial Classe II (IBAM, 2001). Em outros ela é definida como uma forma simplificada de disposição de RSS em locais onde não existam aterros sanitários (LIMA, 2001).

Os resíduos recebem cobertura diária, a impermeabilização superior é obrigatória e não ocorre a coleta do percolado. As valas sépticas podem ser individuais ou podem estar acopladas ao aterro sanitário municipal. As individuais são as mais empregadas por hospitais de grande porte e se constituem de trincheiras escavadas no solo, com largura igual à da lâmina do trator e altura entre 3,00 e 4,50 metros. O fundo e as laterais da trincheira recebem impermeabilização e os resíduos devem ser cobertos diariamente. Quando os resíduos

atingem a altura final da trincheira, efetua-se a impermeabilização superior. Quando acoplada ao aterro municipal, a vala séptica deve estar localizada em lote cercado e isolada do resto do aterro (IBAM, 2001).

O aspecto positivo mais importante das valas sépticas é o baixo custo operacional e como principal aspecto negativo destaca-se a não desinfecção dos resíduos em curto prazo (ASSAD *et al*., 2001).

A disposição de RSS nos mesmos aterros que recebem os resíduos domiciliares, não se constitui necessariamente em medida inadequada tendo em vista a aceitação por alguns órgãos de controle ambiental da disposição de RSS em valas sépticas, isoladas e protegidas do acesso de pessoas (MONTEIRO, 2002).

2.6.3 – Disposição conjunta de RSS com RSD

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010) constatou que a maioria dos municípios brasileiros praticava a disposição conjunta de RSS e RSD, mais comumente, em lixões. A região sudeste apresentou 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 foram os vazadouros em conjunto com os demais resíduos. As Regiões Sul e Centro-Oeste se destacaram no tocante à forma de disposição dos RSS, em aterros específicos para resíduos especiais.

A codisposição de RSS e de RSD em aterros sanitários vem sendo preconizada por muitos profissionais da área (FERREIRA,1996; BIDONE *et al*., 2000; COSTA E SILVA, 2005, CUSSIOL, 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, 1990; ZANON e EIGENHEER, 1991; RUTALA e MAYHALL, 1992; CUSSIOL, 2005; FERREIRA, 2002).

Exceção se faz aos resíduos perfurocortantes e de culturas microbiológicas (não inviabilizadas), pois os riscos de contaminação pelo manuseio desses resíduos são elevados, 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 microbiana, requerendo, por isso, normas seguras de manuseio e acondicionamento (NAZAR *et al*., 2005 *apud* NASCIMENTO, 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).

Para Cussiol (2005), a disposição de resíduos infectantes em aterros sanitários é a forma segura e menos onerosa, tendo em vista a situação econômica do país e considera inadmissível que esses resíduos ou quaisquer outros, continuem sendo depositados em lixões.

De acordo com Faria (2002), aos resíduos encaminhados para aterros sanitários são incorporados matéria fecal humana, absorventes higiênicos, fraldas descartáveis, lenços de papel e lodos frescos provenientes de processos de tratamento de esgotos, e que esses resíduos são dotados de grandes concentrações de organismos patogênicos. Ressalva, no entanto, que a codisposição desses materiais atenua ou diminui os aspectos nocivos, atribuindo esse efeito ao processo de estabilização da matéria orgânica e à existência, nas massas de resíduos, de organismos saprófitos, o que praticamente elimina a possibilidade de existência de organismos patogênicos, tornando improvável a ocorrência de problemas de saúde pública.

Keene (1991) *apud* Zanon e Zanon (2002), referindo-se aos pareceres de instituições governamentais dos EUA, relata que a disposição de resíduos infectantes em aterros sanitários não acarreta risco significante para a saúde pública e ressalta que, embora os resultados de

pesquisas científicas mostrem o contrário, a população insiste em considerar perigosa a disposição final desses resíduos.

Ferreira (2002) defende a disposição dos RSS em aterros sanitários, especialmente para os municípios de pequeno porte, como condição básica para o estabelecimento de mudanças gradativas para a melhoria da gestão de resíduos sólidos em geral e dos RSS em particular.

Cabe ressaltar ainda as resoluções da ANVISA e do CONAMA, comentadas a seguir, que abordam o tema codisposição de RSS e RSD.

As Resoluções ANVISA RDC n° 306 de 07.12.04 e CONAMA n° 358 de 29.04.05 estabelecem a possibilidade de codisposição de alguns resíduos do grupo A (subgrupos A1 e A2 previamente tratados e para o A4 não há exigência para tratamento destes resíduos) com resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários devidamente licenciados e a permissão para municípios com população urbana até 30.000 habitantes, e que não disponham de aterros sanitários, efetuarem a disposição final dos RSS no solo, obedecendo a critérios mínimos, com a devida aprovação do órgão ambiental.

A Resolução CONAMA nº 404 de 11.11.08 estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Para os aterros tratados nesta resolução, que estejam dispensados da apresentação de Estudo de Impacto Ambiental com o respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), é admitida a disposição final de RSD, RSS e industriais, entre outros. Entretanto, essa medida aplica-se somente aos resíduos que não sejam perigosos, e que tenham características similares aos gerados em domicílios, bem como aos resíduos de serviços de saúde que não requerem tratamento prévio à disposição final e aqueles que pela sua classificação de risco necessitam de tratamento prévio à disposição final, conforme estabelecido pelas Resoluções ANVISA RDC n° 306/04 e CONAMA n° 358/05.

2.7 – Lixiviado de aterros

2.7.1 Geração e características do lixiviado

Utilizando o termo "chorume", a norma brasileira NBR 8849 (ABNT, 1984) define lixiviado como sendo o líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, de cor escura, mau cheiro e elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

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). É o líquido proveniente da umidade natural e da água de constituição presente na matéria orgânica dos resíduos, dos produtos da degradação biológica dos materiais orgânicos e da água de infiltração na camada de cobertura e interior das células de aterramento, somado a materiais dissolvidos ou suspensos que foram extraídos da massa de resíduos (CASTILHO JUNIOR, 2006).

De acordo com Tchobanoglous *et al.* (1993), no processo de percolação de líquidos através das camadas de resíduos no aterro ocorre a solubilização de substâncias orgânicas e inorgânicas formando um novo líquido de composição bastante variável.

As características físico-químicas e biológicas do lixiviado são função da origem, composição e idade dos resíduos originalmente dispostos, bem como da fase de decomposição do processo (IBAM, 2001; KJELDSEN *et al.,* 2002; SISINO *et al.,* 2002; OLIVEIRA e JUCÁ, 2004; GOMES, 2009).

O histórico de chuvas sobre o aterro são fatores determinantes para as vazões do lixiviado e as concentrações das diversas substâncias nele contidas estão ligadas ao tempo de aterramento (GOMES, 2009).

De acordo com Nanny e Ratasuk (2002) e Kulikowska e Klimiuk (2008), os dois principais fatores que caracterizam os lixiviados de aterros são o volume gerado e sua composição, sendo que ambos os fatores dependem de uma variedade de parâmetros, tais como o tipo de resíduos, condições climáticas e o modo de operação. Ainda, segundo os pesquisadores, a composição dos lixiviados depende da idade do aterro.

A Tabela 4 descreve as fases de degradação dos resíduos sólidos e a Figura 8 ilustra um esquema resumido da evolução de diferentes parâmetros de poluição (POHLAND e HARPER, 1986).

Tabela 4 – Fases de degradação dos resíduos sólidos segundo Pohland e Harper (1986).

	Aterramento dos resíduos nas células e início do acúmulo de umidade.
Fase 1 Fase inicial	Compactação inicial dos resíduos e fechamento das células do aterro.
	Detecção das primeiras mudanças nos diferentes parâmetros de degradação dos resíduos.
	Capacidade de retenção de água nos resíduos é ultrapassada e inicia-se a formação de lixiviados.
Fase 2 Fase de transição	Passagem de condições aeróbias para anaeróbias. O aceptor de elétron passa do oxigênio para os nitratos e sulfatos.
	Concentrações importantes de metabólitos intermediários (ácidos graxos voláteis) aparecem nos lixiviados.
	Tendências perceptíveis de instalação de condições redutoras no meio.
	Os ácidos graxos voláteis se tornam preponderantes nos lixiviados.
Fase 3 Formação ácida	Diminuição do pH, acompanhada de mobilização e possível complexação de espécies metálicas.
	Consumo de nitrogênio e fósforo para o crescimento dos micro-organismos.
	Crescimento do pH até valores mais elevados, controlado pela capacidade tampão do sistema.
Fase 4 Fermentação metanogênica	Potencial de óxi-redução se encontra em valores baixos e consumo importante de nutrientes.
	Produtos intermediários que apareceram na fase ácida são transformados em metano e dióxido de carbono em excesso.
	Fenômenos de complexação e precipitação de metais continuam a ocorrer.
	Carga orgânica dos lixiviados decresce e a produção de gases aumenta proporcionalmente.
	Estabilização dos componentes orgânicos disponíveis nos resíduos e solubilizados nos lixiviados.
	Concentrações em nutrientes inicialmente elevadas se tornam limitantes.
Fase 5 Maturação final	Produção de gases entra em queda acentuada, e em seguida, cessa.
	Oxigênio e espécies oxidadas reaparecem lentamente e aumento do potencial redox é observado.
	Matérias orgânicas resistentes à biodegradação são convertidas em moléculas como ácidos húmicos.

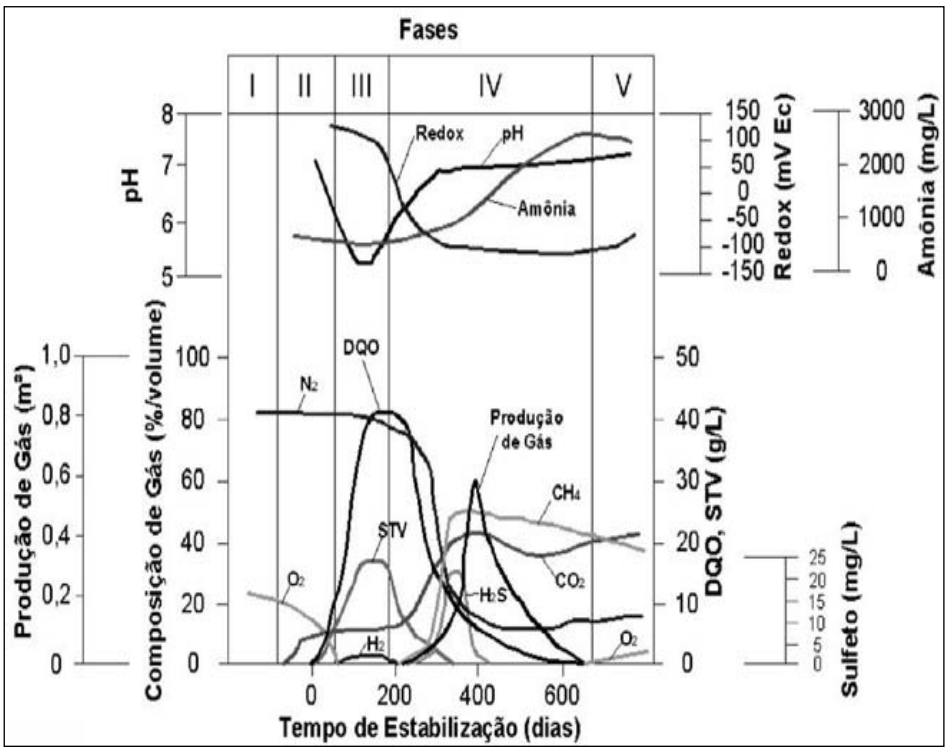


Figura 8 – Fases de estabilização dos resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros sanitários. Fonte: Pohland e Harper (1986).

El-Fadel *et al.* (2002) relataram que a composição do lixiviado de aterro pode apresentar variações espaciais e temporais consideráveis, dependendo do local, características dos resíduos (composição e idade), dos processos internos de aterro (hidrólise , adsorção, dissolução , troca iônica, reações redox, precipitação, etc.) e da interação de fatores, tais como, composição e profundidade dos RSU, decomposição e idade dos RSU, procedimentos de enchimento e grau de compactação dos RSU, projeto e operação do aterro, camadas de impermeabilização (superior e de base), disponibilidade de umidade, oxigênio disponível, taxa de circulação de água e temperatura, podem influenciar nas variações da qualidade dos lixiviados.

Os primeiros estudos sobre a composição do lixiviado de aterros tiveram início no princípio da década de 1970, entretanto, só a partir da década de 1990 é que os estudos se ampliaram possibilitando o melhor conhecimento das suas características (FLECK, 2003).

2.7.2 – Parâmetros físico-químicos empregados na avaliação de lixiviados de RSD e RSS

De acordo com Barker e Stuckey (1999) *apud* Gomes (2009) e Moravia (2007), a caracterização físico-química do lixiviado pode ser realizada com o emprego de parâmetros

coletivos específicos e não específicos. Os parâmetros coletivos específicos, a exemplo da DQO inerte, biodegradabilidade aeróbia, distribuição de massa molecular e identificações de compostos são métodos de caracterização, ainda não padronizados, encontrados na literatura e que fornecem informações direcionadas a uma determinada propriedade do efluente. Os parâmetros coletivos não específicos ou convencionais são métodos padronizados na literatura e usualmente empregados na caracterização de efluentes, sendo que os principais são: potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), relação DBO/DQO, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-NH3), fósforo, cloretos, alcalinidade, sólidos, metais pesados (Cd, Ni, Zn, Cu e Pb, principalmente) e outros metais (por exemplo Al e Fe) e toxicidade para organismos de diferentes níveis tróficos.

A seguir, são apresentadas as principais características de parâmetros físico-químicos, empregados na análise de lixiviados, baseadas em Weishaar *et al.* (2003), APHA (2005), Von Sperling (2005), Castilho Junior (2006) e Giordano (2008).

- **Absorbância para constituintes orgânicos**

Compostos orgânicos contidos em uma amostra absorvem luz UV, proporcionalmente à sua concentração. Compostos tais como a lignina, taninos, substâncias húmicas e vários compostos aromáticos, absorvem fortemente a radiação ultravioleta (UV) e são comumente encontrados em água e esgoto. Existe correlação entre absorção de raios UV e o teor de carbono orgânico. A absorbância em 254nm (ABS254) tem sido usada para avaliar a remoção de compostos orgânicos em processos de tratamento de águas e efluentes (WEISHAAR *et al.,* 2003). Também pode ser empregada como indicador da presença de duplas e triplas ligações, características de compostos aromáticos (ALATON, 2007). A redução da absorbância 254nm pode indicar a ruptura dessas ligações e conseqüentemente a degradação destes tipos de compostos.

- **Alcalinidade**

Indicador da capacidade tampão do meio (resistência às variações do pH), devido à presença de bicarbonato, carbonato e íon hidroxila.

- **Condutividade**

É a medida da capacidade de uma solução aquosa de transportar uma corrente elétrica. Esta habilidade depende da presença de íons (concentração, mobilidade e valência). Soluções da

maioria dos compostos inorgânicos são boas condutoras. Por outro lado, as moléculas de compostos orgânicos que não se dissociam em solução aquosa conduzem muito mal a corrente elétrica. Está relacionada à concentração de sais solúveis (dissolvidos) nos efluentes, que podem apresentar efeitos inibidores da atividade microbiana.

- **Cor Verdadeira**

É responsável pela coloração da amostra. A cor aparente é diferente da cor verdadeira. No valor da cor aparente pode estar incluída uma parcela devida à turbidez da água. Quando esta parcela é removida por centrifugação obtém-se a cor verdadeira. A cor está relacionada aos corantes orgânicos sintéticos e ou residuais, aos inorgânicos (metais pesados), aos compostos húmicos e outros subprodutos de biodegradação.

- **Carbono Orgânico Total (COT)**

É uma medida direta da matéria orgânica carbonácea. É determinado através da conversão do carbono orgânico a gás carbônico.

- **Cloreto**

O cloreto (Cl^-) é originado da dissolução de sais. São poluentes inorgânicos importantes. São indicadores de despejos domésticos e industriais. Em esgotos e águas residuárias podem prejudicar o tratamento biológico, quando em concentrações muito elevadas.

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5)**

É uma determinação indireta da matéria orgânica biodegradável. É uma medida do oxigênio consumido após 5 dias a 20ºC pelos micro-organismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica. O consumo elevado de oxigênio na água e em efluentes pode causar impactos negativos ao ambiente, tais como mortandade de peixes e condições sépticas. A relação DBO_5/DQO é um bom indicador do nível de degradação biológica do efluente. Dependendo da magnitude da relação, pode-se tirar conclusões sobre a biodegradabilidade dos despejos e do processo de tratamento a ser empregado: uma relação DBO_5/DQO elevada sinaliza fração biodegradável elevada e provável indicação para tratamento biológico, ao passo que quando a relação DBO/DQO é baixa, a fração inerte (não biodegradável) é elevada. À medida que um efluente, passível de tratamento biológico como o esgoto doméstico bruto (cuja relação DBO_5/DQO varia em torno de 0,4 a 0,6), passa pelas diversas unidades da estação, a relação tende a diminuir devido à fração biodegradável, enquanto que a fração inerte permanece

aproximadamente inalterada. Assim, o efluente final do tratamento biológico possui valores da relação DBO_5/DQO usualmente inferiores a 0,3.

- **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

É uma determinação indireta da matéria orgânica. Representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea. Utiliza fortes agentes oxidantes (dicromato de potássio) em condições ácidas, por isso, tanto a fração biodegradável quanto a fração inerte da matéria orgânica são oxidadas. O consumo elevado de oxigênio na água e em efluentes pode causar impactos negativos ao ambiente, tais como mortandade de peixes e condições sépticas. O teste de DQO nos afluentes e no efluente final fornece um excelente índice para indicar a eficiência de uma estação de tratamento de esgotos domésticos (ETE), de esgotos industriais (ETEI) ou de tratamento de lixiviado de aterros (ETC).

A relação DBO/DQO no lixiviado, indica o estágio de degradação da maioria dos resíduos aterrados. Através da relação DBO/DQO é possível, teoricamente, avaliar e categorizar as fases de estabilidade dos resíduos aterrados. Uma relação DBO/DQO > 0,5 indica um aterro novo e instável. Relações ente 0,1 e 0,5 indicam estabilidade moderada. Uma relação DBO/DQO < 0,1 indica um aterro antigo e estável. A relação DBO/DQO também permite inferir o grau de tratabilidade biológica do lixiviado.

De acordo com Kjeldsen *et al.* (2002), na fase metanogênica, o conteúdo da matéria orgânica dissolvida decai significativamente e a relação DBO/DQO apresenta tendência de decaimento ao longo do tempo de confinamento dos resíduos.

- **Fósforo**

Existe na forma orgânica e inorgânica. É um nutriente essencial para o crescimento dos micro-organismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e para o tratamento biológico de esgotos e outros resíduos líquidos. É um elemento indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos, represas e outros corpos receptores, pode gerar crescimento exagerado desses organismos, levando à aceleração do processo de eutrofização.

- **Nitrogênio Amoniacal**

Corresponde à determinação da amônia, substância que é produzida como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico pela atividade biológica. Indica contaminação recente.

O nitrogênio na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes. O nitrogênio é um nutriente essencial para o crescimento dos micro-organismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e para o tratamento biológico de esgotos e outros resíduos líquidos. É um elemento indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos, represas e outros corpos receptores, pode gerar crescimento exagerado desses organismos, levando ao processo de eutrofização. O nitrogênio, nos processos bioquímicos de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato, implica no consumo de oxigênio dissolvido do meio (o que pode afetar a vida aquática).

- **pH**

Potencial hidrogeniônico. Representa a concentração de íons hidrogênio H^+ (em escala antilogarítmica). Indica a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade em uma faixa de pH de 0 a 14. As variações de pH nos efluentes ocorrem devido à presença de ácidos, bases e pela decomposição de matéria orgânica, formando ácidos orgânicos, seus sais e amônia, pela decomposição de proteínas.

- **Sólidos Totais (ST)**

Compreendem os sólidos: orgânicos e inorgânicos; suspensos e dissolvidos; sedimentáveis ou não. As partículas de menores dimensões, capazes de passar por um papel de filtro de tamanho especificado correspondem aos sólidos dissolvidos, enquanto que as de maiores dimensões, retidas pelo filtro são consideradas sólidos em suspensão. São os sólidos que ficam na cápsula de porcelana após evaporação e secagem da amostra em estufa a 105ºC. A determinação dos ST no afluente e no efluente de uma estação de tratamento permite verificar a quantidade de sólidos removidos pelo tratamento.

- **Sólidos Suspensos Totais (SST)**

Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são retidos em filtros de papel de malha entre 0,45 a 2,0 μm. Também é denominado Resíduo Não Filtrável Total. Podem causar efeitos poluidores, tais como problemas estéticos, depósito de sedimentos, adsorção de poluentes e conferir proteção a organismos patogênicos.

- **Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)**

Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que não são retidos em filtros de papel de malha entre 0,45 a 2,0 μm. Também é denominado Resíduo Total Dissolvido. Podem causar efeitos poluidores, tais como salinidade excessiva, prejuízo às plantações (irrigação), toxicidade para

plantas (alguns íons) e problemas de permeabilidade do solo (sódio). Indica a parte do despejo que geralmente não é afetada pelo tratamento primário.

- **Sulfato**

O enxofre pode ser encontrado na natureza em quatro estados de oxidação: sulfeto (S^{-2}), enxofre elementar (S^0), sulfito (SO_3^{-2}), sulfato (SO_4^{-2}). O enxofre é constantemente transformado e transportado no meio ambiente e, muitas dessas transformações podem causar transtornos como por exemplo, a corrosão, a toxicidade e a liberação de maus odores pela redução de sulfato para sulfeto.

- **Turbidez**

Representa o grau de interferência com a passagem da luz através da amostra líquida, conferindo uma aparência turva à mesma. Permite o conhecimento da transparência dos efluentes e a presença de colóides. É devida principalmente a despejos domésticos e industriais, micro-organismos, algas, partículas de rocha, argila e silte.

- **Metais pesados**

São importantes porque podem causar toxicidade, bioacumulação nas cadeias alimentares, inibição da atividade microbiana no tratamento biológico de esgotos e outros efluentes, problemas na disposição do lodo (de estações de tratamento de efluentes) na agricultura, e contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

2.7.3 – Avaliação da toxicidade em lixiviados de RSD e RSS

A toxicidade pode ser traduzida como a capacidade da substância química de produzir efeitos danosos a um organismo vivo e está relacionada com a concentração do agente químico e do tempo de exposição. Dessa forma, os testes de toxicidade são muito importantes porque permitem avaliar os efeitos adversos para as comunidades aquáticas, causados por efluentes contendo substâncias tóxicas complexas, sem a necessidade de identificação de um agente específico (BILA e DEZOTTI, 2003).

A toxicidade de lixiviados de aterros pode ser avaliada através de bioensaios, empregando organismos, tais como peixes, crustáceos, algas, bactérias, protozoários, rotíferos e plantas, que permitem verificar o efeito dos seus constituintes sobre sitemas biológicos, possibilitando a avaliação direta de fatores como a biodisponibilidade, efeitos sinérgicos ou antagônicos,

sem a necessidade de suposições e extrapolações feitas a partir de análises químicas (KJELDSEN *et al*., 2002).

De acordo com Silva (2002), Sisino (2002) e Ferreira *et al.* (2009), a fim de evitar que os efluentes descartados nos corpos hídricos causem efeitos tóxicos, de natureza aguda ou crônica, à biota aquática e à saúde humana, é necessário que o seu controle não esteja restrito aos parâmetros físico-químicos de controle de poluição. Um efluente pode apresentar baixas concentrações de poluentes, estar enquadrado dentro dos padrões estabelecidos para o descarte, e ser extremamente tóxico. Segundo Silva (2002), nem sempre os resultados obtidos das análises físico-químicas podem ser comparados com os dados apresentados nos testes de toxicidade.

Os testes de toxicidade devem ser considerados como uma análise indispensável no controle da poluição hídrica, pois se fundamentam na utilização dos organismos vivos que são diretamente afetados pelo desequilíbrio que eventualmente ocorre nos ecossistemas aquáticos onde vivem, uma vez que as análises químicas apenas identificam e quantificam as substâncias presentes na água ou sedimentos, mas não detectam os efeitos sobre a biota. Nesse contexto, torna-se claro o papel da ecotoxicologia na avaliação e no monitoramento dos sistemas naturais, de modo a auxiliar na redução dos impactos ou até mesmo recuperar áreas degradadas (LUNDSTEDT e FERNANDEZ, 2003).

De acordo com Silva (2002), os testes de toxicidade são realizados através de metodologias padronizadas por órgãos ambientais para organismos-teste de diferentes níveis tróficos, sendo que os mais utilizados são: *Daphnia similis* e *Artemia salina* (microcrustáceos consumidores primários ou secundários), *Danio rerio* (peixes consumidores do nível superior na cadeia alimentar de um ecossistema aquático)*, as bactérias* (produtores e decompositores) *Photobacterium fisheri, Photobacterium phosphoreum, Spirillum volutans, Beneckea harveyi* e o Microtox (*Vibrio fisheri*).

Entre as espécies de peixes que atendem aos diversos critérios, está o *D. rerio*, conhecido vulgarmente como “paulistinha” ou “peixe zebra”. Este peixe é capaz de suportar grandes faixas de temperatura, pH e de dureza da água (LUNDSTEDT e FERNANDEZ, 2003).

A sensibilidade de organismos aos efeitos de agentes tóxicos pode variar consideravelmente de uma espécie para outra devido a diferenças em seus metabolismos e a natureza de seus

habitats. Os peixes são utilizados como indicadores desses efeitos há mais de um século, porque dentre os organismos aquáticos são os mais estudados e conhecidos biologicamente (LUNDSTEDT e FERNANDEZ, 2003).

Kjeldsen *et al.* (2002), citando diversos pesquisadores, relacionam a toxicidade dos lixiviados provenientes de mais de 98 aterros e comentam a alta toxicidade observada em lixiviados de aterros que recebem resíduos sólidos urbanos.

Amônia, alcalinidade, pH, condutividade elétrica e as concentrações de cloreto, cobre e zinco, são parâmetros de grande importância para a avaliação da toxicidade aquática através de bioensaios (KJELDSEN *et al.,* 2002).

A toxicidade dos resíduos confinados no aterro tende a diminuir ao longo do tempo. Pesquisadores empregaram lisímetros com resíduos sólidos municipais e constataram que 5 anos de envelhecimento dos resíduos resultou em uma diminuição de 80 vezes na toxicidade para o peixe truta arco-íris (CAMERON e KOCH, 1980 *apud* KJELDSEN *et al.,* 2002).

A Resolução 430 de 13.05.11, que complementa a Resolução 357 de 17.03.05, ambas do CONAMA, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos na referida resolução. E determina que o efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor e que deverão ser realizados, nos efluentes, ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos.

Para o Estado do Rio de Janeiro, os efluentes devem atender aos limites de lançamento da Norma Técnica NT-213 R.4 de 1990, do Instituto Estadual do Ambiente – INEA, que estabelece os critérios e padrões para controle de toxicidade em efluentes líquidos industriais, como é o caso do lixiviado de aterros. Para os efeitos desta Norma são consideradas as seguintes definições:

- Toxicidade - capacidade de um efluente líquido industrial provocar um efeito observável em um organismo aquático vivo;
- Teste de toxicidade - teste padronizado no qual organismos aquáticos vivos são utilizados para detectar a toxicidade de um efluente líquido industrial;

- Toxicidade aguda - toxicidade em que os efeitos observáveis nos organismos testes ocorrem em curto período de tempo, ou seja, no período máximo de 96 (noventa e seis) horas;
- Toxicidade crônica - toxicidade em que os efeitos observáveis nos organismos testes são observados em períodos relativamente longos de tempo, geralmente relacionados ao ciclo de vida desses organismos. Esses efeitos caracterizam-se por mudanças nas condições fisiológicas;
- CENO (concentração de efeito não observado) - maior concentração de um efluente líquido industrial que não cause efeito letal em peixes, num prazo de 48 (quarenta e oito) horas, em testes de toxicidade. É expressa em porcentagem de efluente líquido industrial na solução;
- Número de unidades de toxicidade ou fator de diluição (UT) - definido pela fórmula: UT = 100/CENO

De acordo com o padrão de toxicidade estabelecido pela NT-213 R4 de 1990, não é permitido o lançamento de efluentes líquidos industriais, em qualquer corpo receptor, com um número de unidades de toxicidade (UT) superior a 8 (oito), obtido em testes de toxicidade aguda realizados com peixes *D. rerio*.

Sisino (2002) determinou a toxicidade de resíduos urbanos e industriais, através de análises químicas e testes de toxicidade com *Danio rerio*. A toxicidade aguda para *Danio rerio* no lixiviado bruto gerado no aterro de Gramacho mostrou em 2 amostras o valor de CL50 de 2,24%. Os resultados mostraram alta toxicidade do lixiviado, evidenciando o grande impacto para a vida aquática, ocasionado pelo despejo deste efluente continuamente nos cursos d'água superficiais existentes nas proximidades das áreas de disposição. A autora ressalta que embora o *D. rerio* seja um organismo dulcícola, este peixe pode ser considerado também como um organismo estuarino.

Ferreira *et al.* (2009) avaliaram a eficiência do tratamento do lixiviado do aterro do Morro do Céu, combinado com esgoto doméstico na ETE Icaraí (Niterói – RJ), empregando ensaios ecotoxicológicos agudos, realizados com *D. rerio* e *D. similis*. Para *D. rerio* o fator de toxicidade variou entre 2 e 4 unidades de toxicidade (UT) nas amostras coletadas na entrada da ETE e entre 1,3 e 2 UT nas amostras da saída da estação. O lixiviado do aterro apresentou fator de toxicidade variando entre 32 e 64 UT e o esgoto puro contribuinte à estação entre 2 e 4 UT. Para *D. similis*, o fator de toxicidade para a mistura de lixiviado e esgoto afluente como

também para o efluente da ETE variou entre 8 e 16 UT, para esgoto puro, entre 4 e 32 UT e, para o lixiviado, entre 32 e 64 UT. Os resultados mostraram que, embora o lixiviado seja muito mais tóxico a esses organismos do que o esgoto, a mistura do lixiviado ao esgoto, em relações de volume que não ultrapassaram 1,5%, não resultou em um afluente ao tratamento mais tóxico do que o esgoto puro.

Telles (2010) avaliou processos combinados para tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Nova Iguaçu (RJ) e empregou ensaios de toxicidade aguda com *D. rerio*. O lixiviado do aterro apresentou elevada toxicidade, CL 50 igual a 3,99%.

2.7.4 – Aterros, reatores e células experimentais para resíduos sólidos e seus lixiviados

Aterros, reatores e células experimentais (reatores) têm sido utilizados para pesquisar o potencial poluidor do lixiviado, o comportamento da massa de resíduos sólidos e o efeito do confinamento dos resíduos sólidos sobre a dinâmica das populações microbianas.

Bidone *et al.* (2000) construiram em um aterro sanitário seis células, com volume de 70m^3 cada uma e isoladas com manta PEAD, onde foram dispostos os RSD e RSU e suas misturas (codisposição) em diferentes concentrações, e analisaram as características microbiológicas dos lixiviados dessas células ao longo do tempo. Depois de preenchidas, as células receberam uma camada de argila compactada de 60cm.

El-Fadel *et al.* (2002) investigaram por 18 meses, a variação temporal da qualidade do lixiviado de resíduos sólidos urbanos com altos teores de matéria orgânica e umidade, proveniente de um aterro sanitário, implantado em uma pedreira abandonada localizada a 16 km ao sul de Beirute (Líbano), com área aproximada de 27 hectares e disposição diária de 1.700 a 2.000 toneladas de resíduos.

Oliveira e Jucá (2004) estudaram o acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de célula de aterro de resíduos sólidos. A célula, de aproximadamente 150 m x 200 m x 20 m de altura, era dotada de piezômetros para coleta de líquido, de tubulações para canalização e queima dos gases originados pela biodegradação do resíduo, bem como de sistemas de impermeabilização lateral e de topo.

Cussiol (2005) utilizou 15 contêineres compactos fabricados em polietileno de alta densidade, com capacidade nominal de 1000 litros, medindo 1200 mm de comprimento, 1000 mm de

largura e 1160 mm de altura, denominados reatores, onde pesquisou a ocorrência de micro-organismos em lixiviados de resíduos sólidos urbanos, resíduos sólidos de serviços de saúde e da codisposição de ambos. Sobre os resíduos de cada contêiner, foi aplicada uma camada de cobertura de solo de 15 cm de altura.

Monteiro *et al.* (2006) empregaram um biorreator (lisímetro), construído em alvenaria com seção transversal de 2,0 m de diâmetro e volume aproximado de 11 m^3, para avaliação do processo biodegradativo de RSU com o objetivo de correlacionar parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

Com relação aos materiais de cobertura empregados, a Tabela 5, adaptada de Santos (2012), mostra os resultados encontrados em ensaios granulométricos de diversos solos de cobertura utilizados em aterros brasileiros. O autor destaca que os resultados encontrados nos ensaios granulométricos situaram-se dentro dos limites citados na literatura, respeitando as particularidades de cada solo, a qualidade da amostra e a forma como tais solos foram empregados em cada área de disposição de RSU estudada.

Tabela 5 – Caracterização granulométrica de solos de cobertura de vários aterros brasileiros.

Autor(es)/Ano	Composição granulométrica (%)						
	Pedregulho	Areia				Silte	Argila
		Grossa	Média	Fina	Total		
Corrêa Sobrinho (2000)[1]	-	nt	nt	nt	47	45,2	7,8
Ritter *at al,* (2002)[2]	-	nt	nt	nt	48	18	34
Maciel (2003)[3]	1	1	24	23	48	24	27
Oliveira e Jucá (2004)[3]	-	-	15	27	42	26	32
Franceschet *at al,* (2005)[4]	-	nt	nt	nt	47	45,2	7,8
Borba (2006)[5]	6	27	17,5	10,7	55,2	15,5	23,3
	4,9	26,7	18,7	11,7	57,1	24,7	13,3
Catapreta (2008)[6]	34	nt	nt	nt	28	20	18
Santos (2012)[7]	1-3	5-9	11-18	22-28	nt	30-35	18-25

[1]Aterro sanitário de Presidente Prudente (SP), [2]Aterro sanitário de Piraí (RJ), [3]Aterro sanitário experimental da Muribeca (PE), [4]Solos utilizados em aterros sanitários de Santa Catarina, [5]Aterro sanitário de Nova Iguaçu (RJ), [6]Aterro sanitário experimental da CTR de Belo Horizonte (MG) e [7]Aterro Sanitário de Caucaia – ASMOC (CE).

nt = valor não tabulado
Fonte: Adaptado de Santos (2012).

Raziful e Alamgir (2102) investigaram a influência climática tropical nas características do lixiviado, utilizando três lisímetros com diferentes camadas de cobertura (argila) compactadas. O lisímetro A recebeu 15 cm, como empregada no aterro de Bangladesh, o lisímetro B 60 cm e o lisímetro C 90 cm.

Para Andrade (2002) *apud* Gomes (2009), os materiais de cobertura podem ser eventuais fontes de metais.

Farqhuar (1989) relata que, pela facilidade em controlar e monitorar as condições experimentais, os lisímetros foram adotados por muitos pesquisadores, para simular aterros, mas que muitos deles não simularam com sucesso as condições de aterros sanitários, produzindo lixiviados atípicos e mais concentrados do que aqueles observados no campo.

2.7.5 – Características físico-químicas de lixiviados de RSD e RSS

No lixiviado são encontrados, em concentrações variadas, diversos compostos orgânicos e elementos inorgânicos, muitos deles com características poluentes e tóxicas, provenientes de materiais diversos (orgânicos putrescíveis, saneantes, tintas e fármacos, entre outros) que são descartados nos RSD e RSS.

Segundo Andrade (2002), a constituição básica do lixiviado de aterro sanitário é uma mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas, compostos em solução e em estado coloidal.

Para Christensen *et al.* (2001) e Morais (2005), o lixiviado é uma matriz complexa composta por quatro frações principais: matéria orgânica dissolvida (principalmente metano, ácidos graxos voláteis, compostos húmicos e fúlvicos), compostos orgânicos xenobióticos (hidrocarbonetos aromáticos, compostos de natureza fenólica e compostos organoclorados alifáticos), macro componentes inorgânicos, com destaque para Ca^{2+}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}, NH_4^{+}, $Fe^{+3,}$ Mn^{+2}, Cl^{-}, SO_4^{2-} e HCO_3^{-}, e metais potencialmente tóxicos tais como, Cd^{2+}, Cr^{3+}, Cu^{2+}, Pb^{2+}, Ni^{2+} e Zn^{2+}.

De acordo Garcia *et al.* (1997) e Gomes (2009), os lixiviados de aterros brasileiros frequentemente apresentam elevada concentração de nitrogênio, encontrado principalmente na forma amoniacal, e que diversos estudos têm dado ênfase para a remoção dessa substância.

Oman e Junestedt (2007) examinaram amostras de lixiviados de 12 aterros municipais na Suécia, para 400 parâmetros e compostos, e detectaram mais de 90 compostos orgânicos e 50 elementos inorgânicos, alguns dos quais, sem relato de detecção anterior. Os compostos detectados incluem halogenados alifáticos, benzeno e benzenos alquilados, fenóis e fenol alquilado, etoxilados, policíclicos aromáticos, ésteres de ftalato, benzenos clorados, fenóis clorados, PCB, dioxinas cloradas e cloro furanos, bromados, pesticidas, metil-mercúrio e metais pesados.

A seguir são apresentados vários exemplos de composição físico-química de lixiviados provenientes de aterros estrangeiros e brasileiros.

Silva (2002) realizou a caracterização físico-química do lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ) e evidenciou elevada concentração de material orgânico recalcitrante, bem como elevados teores de N-amoniacal no lixiviado bruto.

El Fadel *et al.* (2002) investigaram a variação temporal da qualidade do lixiviado de resíduos sólidos urbanos com alto teor de matéria orgânica e umidade, gerado em um aterro sanitário localizado a 16 km de Beirute (Líbano), por um período de 18 meses. O monitoramento mostrou queda gradual das concentrações de DBO, DQO (Relação DBO/DQO), COT, sulfato, amônia e dos metais cádmio, chumbo, cromo, ferro, mercúrio, níquel e zinco, aumento do pH (de menor que 6,0 a maior que 8,0) e uma discreta elevação da concentração do cloreto.

Castillo *et al.* (2007) analisaram o lixiviado gerado no aterro sanitário localizado em Bucaramanga (Colômbia), com o objetivo de avaliar o desempenho de um sistema aeróbio (reator biológico de contato - RBC) e de um sistema anaeróbio (reator anaeróbio de fluxo ascendente - UASB). A Tabela 6 mostra as características físico-químicas do lixiviado do aterro sanitário nos anos de 2002 e 2003. Os autores evidenciam a variabilidade das características físico-químicas dos lixiviados no intervalo de um ano e atribuem esse fato às diferenças nas composições dos resíduos devido a mudanças nos hábitos de consumo por parte da população geradora dos resíduos.

Tabela 6 – Características físico-químicas típicas do lixiviado do aterro sanitário localizado em Bucaramanga (Colômbia).

Parâmetro*	**2002**	**2003**
pH	8,3	7,6
Alcalnidade total	6.210	10.900
Cloretos	Não disponível	1.932
Dureza	2.420	920
DBO_5	7.782	2.670
DQO	14.000	3.950
Sólidos totais	16.230	11.684
Sólidos voláteis totais	7.264	4.800
Sólidos suspensos totais	405	158
Sólidos suspensos voláteis totais	190	97

* Todos os parâmetros em ($mg.L^{-1}$) exceto pH (adimensional).
Fonte: Castillo *et al.* (2007)

Castrillón *et al.* (2010) analisaram a evolução das características físico-químicas dos lixiviados de um aterro municipal de resíduos sólidos em Astúrias (Espanha), operando desde 1986, bem como avaliou diferentes opções de tratamento. A Tabela 7 mostra as variações das características físico-químicas do lixiviado de RSU gerado no aterro sanitário no período de 1988 a 2006. As observações dos autores estão registradas após a apresentação da Tabela 7.

Tabela 7 – Variação nas características físico-químicas do lixiviado gerado no aterro sanitário em Astúrias (Espanha).

Parâmetro*	**Valores médios**							
	1988	**1989**	**1990**	**1991**	**1994**	**1999**	**2003**	**2006**
pH	7,6	8,0	8,0	8,3	8,3	8,2	8,4	8,5
DQO	15.425	13.478	10.789	5.132	3.893	2.838	3.757	3.650
DBO_5	-	8.275	-	2.414	800	700	858	670
DBO_5/DQO	-	0,62	-	0,45	0,2	0,24	0,23	0,14
$N\text{-}NH_3$	1.862	1.478	2.142	1.485	2.156	2.300	2.132	1.880
Cu	-	0,16	0,22	0,04	0,10	< 0,1	0,15	-
Zn	-	0,79	2,96	0,49	1,06	0,26	0,42	-
Pb	-	1,18	0,82	0,23	0,65	0,04	< 0,05	-
Cd	-	0,07	0,10	0,02	0,04	< 0,1	0,02	-
Cr	-	0,59	0,72	0,27	0,54	0,41	-	-

* Todos os valores em $mg.L^{-1}$, exceto pH e relação DBO/DQO (que são adimensionais).
Fonte: Castrillón. (2010)

Os autores observaram que, no período de 7 anos, os lixiviados mostraram a diminuição gradual dos parâmetros relacionados, excetuando o N-amoniacal que mostrou tendência de elevação de valores seguida de queda, e do pH, cujos valores se elevaram com o tempo de aterramento dos resíduos.

Raziful e Alamgir (2012) utilizaram três lisímetros para investigar a influência climática tropical nas características do lixiviado preveniente de resíduos sólidos urbanos. Os lisímetros operaram em condições diferenciadas, inclusive quanto às espessuras das camadas de cobertura (argila) compactadas. O monitoramento ocorreu no período de junho de 2008 a maio de 2010. A Tabela 8 mostra os resultados obtidos para os três lisímetros: lisímetro A (com dois pontos de monitoramento A_1 e A_2), B e C. As observações dos autores estão registradas após a apresentação da Tabela 8.

Tabela 8 – Características do lixiviado gerado em três lisímetros, a partir de resíduos sólidos urbanos.

Parâmetro*	**Condição de operação do lisímetro**			
	A1	**A2**	**B**	**C**
pH	5,98–8,17 (6,77)	6,14–8,02 (7,25)	6,40–8,61 (7,42)	6,30–8,38 (7,48)
Cloreto	970–3.097 (2.238)	1.155–3.572 (2.395)	510–1.870 (1.086)	110–1.810 (1.181)
Sólidos totais	280–10.400 (6.026)	5.019–36.690 (13.244)	5.019–36.690 (13.244)	500–27.280 (14.047)
N-Amoniacal	187–705 (428,50)	127,9–901,3 (547,57)	190–997 (653,26)	187–965,7 (598,34)
Dureza	129,8–3.241 (2.083)	1.000–10.000 (2.371)	1.210–14.000 (2.962)	1.096–10.000 (2.449)
Alcalinidade	400–5.550 (1.100)	980–10.000 (2.930)	1.000–8.770 (4.805)	900–9.435 (4.642)
DQO	160–20.800 (2.498)	800–60.000 (8.425)	320–60.000 (5.654)	300–60.000 (11.137)
Condutividade	5,3–17,7 (7,30)	3,1–24,7 (9,38)	5,2–16,5 (7,70)	3,7–21,7 (11,26)
Sulfato	–	100–1.180 (607,50)	110–1.110 (543)	–
Nitrato	–	6–22 (14,43)	2–24 (12,2)	–

* Todos os parâmetros em $mg.L^{-1}$, exceto pH (adimensional) e condutividade ($mS.cm^{-1}$).
Fonte: Raziful e Alamgir (2012).

Os autores observaram que após 50 dias de monitoramento os valores (em $mg.L^{-1}$) para dureza, alcalinidade, cloreto e DQO, caíram rapidamente: 10.000 – 2222, 10.000 – 3100, 3572 – 1850 e 60.000 – 2240, respectivamente. Ao longo do monitoramento, houve relação

de proporcionalidade entre dureza, alcalinidade, cloreto e DQO, ou seja, a diminuição dos valores de DQO foi acompanhada da diminuição dos valores de dureza, alcalinidade e cloreto, e de maneira continua. O Nitrogênio amoniacal diminuiu ao longo do tempo, para os três lisímetros, com os valores variando de 901 - 128 para o lisímetro A, 997 - 190 para o B e 966 - 187 mg/L para o lisímetro C. O pH mostrou elevação acentuada nos primeiros 50 dias de monitoramento, passando da fase ácida para a alcalina. A Condutividade elétrica diminuiu com o tempo decorrido. Durante a estação chuvosa o cloreto aumentou, enquanto que o pH e os valores de DQO, condutividade e sólidos totais foram reduzidas nos lixivados dos três lisímetros. Os resultados evidenciaram que as diferentes camadas de coberturas e as mudanças sazonais influenciaram na qualidade dos lixiviados.

A Tabela 9 apresenta intervalos de variação da composição do lixiviado com a idade do aterro sanitário (EL-FADEL *et al.,* 2002). Os lixiviados são provenientes de aterros sanitários norte americanos e canadenses (onde apenas resíduos sólidos urbanos foram depositados) cujas condições climáticas e socioeconômicas diferem das brasileiras. As observações dos autores estão registradas após a apresentação da Tabela 9.

Tabela 9 – Variação da composição do lixiviado de aterros sanitários norte americanos e canadenses em diferentes idades de operação.

Parâmetros*	**Idade do aterro (anos)**			
	0 a 5	**5 a 10**	**10 a 15**	**> 20**
pH	3 - 6	6 - 7	7 - 7,5	7,5
DBO	10.000 - 25.000	1.000 - 4.000	50 - 1.000	< 50
DQO	15.000 - 40.000	10.000 - 20.000	1.000 - 5.000	< 1.000
NTK	1.000 - 3.000	400 - 600	75 - 300	< 50
N-NH3	500 - 1500	300 - 500	50 - 200	< 30
SDT	10.000 - 25.000	5.000 - 10.000	2.000 - 5.000	< 1.000
Cálcio	2.000 - 4.000	500 - 2.000	300 - 500	< 300
Na e K	2.000 - 4. 000	500 - 1.500	100 - 500	< 100
Fe e Mg	500 - 1.500	500 -1.000	100 - 500	< 100
Zinco	100 - 200	50 - 100	10 - 50	< 10
Cloreto	1.000 - 3.000	500 - 2.000	100 - 500	< 100
Sulfato	500 - 2.000	200 - 1.000	50 - 200	< 50
Fósforo	100 - 300	10 - 100	-	<10

* Todos os valores em $mg.L^{-1}$, exceto o pH (adimensional)
Fonte: Farquhar (1989) *apud* El-Fadel *et al.* (2002)

Segundo os autores, embora seja difícil fazer generalizações quanto à concentração de um poluente em particular no lixiviado (em um tempo específico) na maioria dos casos as concentrações tendem a diminuir continuamente com o tempo. É possível observar que as faixas de concentração dos parâmetros relativas os aterros novos são mais elevadas que nos aterros antigos.

De acordo com Lange e Amaral (2009), os dados apresentados na Tabela 9 são de lixiviados provenientes de aterros sanitários norte americanos e canadenses, cujas condições climáticas e socioeconômicas, dentre outras, diferem das brasileiras. Em complemento, os autores afirmam que esses lixiviados tendem a apresentar diferentes concentrações dos diversos constituintes presentes na sua composição em relação aos lixiviados gerados em aterros brasileiros.

Kjeldsen *et al.* (2002) efetuaram a revisão da literatura no tocante a composição do lixiviado de aterros sanitários e, baseado no trabalho de Ehrig (1988), tabelaram os valores médios de diversos parâmetros para as fases ácida e metanogênica de decomposição dos resíduos. A Tabela 10 mostra a composição do lixiviado em termos de valores médios e faixas para diversos parâmetros, para as fases ácida e metanogênica. Os autores relatam que na fase ácida o lixiviado mostra valores baixos de pH e altas concentrações de muitos compostos, especialmente os orgânicos facilmente degradáveis, enquanto que na fase metanogênica, longa e mais estável, o lixiviado apresenta valores elevados de pH e concentrações mais baixas de DBO e DQO bem como de valores reduzidos para a relação DBO/DQO, o que sugere baixas concentrações de ácidos graxos voláteis e quantidades relativamente maiores de compostos húmicos e fúlvicos que se originam da mineralização da matéria orgânica.

Tabela 10 – Composição do lixiviado em termos de valores médios e faixas de valores para diversos parâmetros, para as fases ácida e metanogênica.

Parâmetro*	**Fase ácida**		**Fase metanogênica**	
	Média	**Faixa**	**Média**	**Faixa**
pH	6,1	4,5 – 7,5	8,0	7,5 – 9,0
DBO	13.000	4.000 – 40.000	180	20 – 550
DQO	22.000	6.000 – 60.000	3000	500 – 4500
DBO/DQO	0,58		0,06	
Sulfato	500	70 – 1750	80	10 – 420
Ferro	780	20 – 2100	15	3 – 280
Zinco	5	0,1 – 120	0,6	0,03 – 4

* Parâmetros em $mg.L^{-1}$, exceto pH e relação DBO/DQO (que são adimensionais)
Fonte: Adaptado de Ehrig (1988) *apud* Kjeldsen *et al.* (2002)

A Tabela 11 mostra os valores médios para DBO, DQO, relação DBO/DQO e nitrogênio amoniacal para lixiviados de aterros sanitários em fase metanogênica, de acordo com a revisão efetuada por Kjeldsen *et al.* (2002). Os autores relatam que, além das concentrações mais baixas para DBO, DQO e DBO/DQO quando comparadas com os valores observados na fase ácida, as concentrações de nitrogênio amoniacal variaram de 500 a 2000 $mg.L^{-1}$ e não mostraram tendência de queda com o tempo, sendo, por isso, considerado o componente mais significativo do lixiviado para o longo prazo.

Tabela 11 – Valores médios observados para DBO, DQO, relação DBO/DQO e Nitrogênio Amoniacal de lixiviados de aterros em fase metanogênica.

DBO ($mg.L^{-1}$)	**DQO ($mg.L^{-1}$)**	**DBO/DQO**	**N-Amoniacal ($mg.L^{-1}$)**	**Referência**
290	1225	0,24	445 (12 – 1571)	Concentrações médias de aterros alemães com idade entre 21-30 anos (Krumpelbeck e Ehrig, 1999).
44	320	0,11	110 (aterro 106 dias)	Concentrações médias de aterros na Dinamarca (Kjeldsen e Christophersen, 2001).
39	398	0,10	233	Aterro Sandsfarrn no Reino Unido, (Robinson, 1995).
11	190	0,06	282	Aterro Bishop Middleham no Reino Unido (Robinson, 1995).
38	517	0,07	399	Aterro Odsal Wood no Reino Unido (Robinson, 1995).
1,0	53	0,02	43	Aterro East Park Drive no Reino Unido (Robinson, 1995).
2,5	64	0,04	30	Aterro Marton Mere (Reino Unido) (Robinson, 1995).
180	3000	0,06	740	Concentrações médias de lixiviado em fase metanogênica (Ehrig, 1988).

Fonte: Adaptado de Kjeldsen *et al.* (2002).

A Tabela 12 mostra as concentrações médias e faixas de ocorrência de metais pesados em lixiviados provenientes de aterros europeus, segundo a revisão realizada por Kjeldsen *et al.* (2002). Os autores relatam que as concentrações médias de metais pesados foram bastante reduzidas, situando-se abaixo dos padrões de água potável dos EUA, e afirmam que os metais pesados no lixiviado não são a maior preocupação.

Tabela 12 – Concentrações médias e faixas de valores para metais pesados em lixiviados de aterros europeus em comparação com o padrão EPA/EUA para água potável.

Metal*	**Origem**								**Padrão**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**EUA**
Cd	0,006	0,005	0,006	0,0002	0,0004	0,0003	0,0036	<0,01 a <0,04	0,005
Ni	0,130	0,17	0,05	0,028	0,084	0,054	0,062	<0,01 a <0,1	-
Zn	0,67	0,60	2,2	0,2	0,36	0,085	5,31	<0,01 a 0,47	5,0
Cu	0,07	0,065	0,04	0,002	0,007	0,034	0,002	<0,02 a 0,17	1,3
Pb	0,07	0,09	0,02	<0,005	<0,005	0,056	0,188	<0,04 a 0,13	0,0
Cr	0,08	0,28	0,01	0,003	0,016		0,002	<0,01 a 0,05	0,1

1. Aterro com 106 dias na Dinamarca (Kjeldsen e Christophersen, 2001).
2. Valores médios para vinte aterros sanitários em fase metanogênica, na Alemanha (Christensen *et al.*, 1999).
3. Célula teste operada com recirculação de lixiviado (Flyhammar *et al.*, 1998).
4-7. Quatro aterros sanitários na Dinamarca (Jensen e Christensen, 1999).
8. Faixas de valores para seis aterros sanitários no Reino Unido (Robinson, 1995).
* Valores em $mg.L^{-1}$
Fonte: Kjeldsen *et al.* (2002).

No sentido de fornecer subsídios para o tratamento de lixiviados gerados no Brasil, Souto e Povineli (2007) realizaram um trabalho descrevendo as características usuais para o lixiviado gerado em aterros sanitários brasileiros. Para tal elaboraram uma tabela que resume as características mais prováveis do lixiviado de aterros brasileiros. A Tabela 13 apresenta a composição do lixiviado para os principais aterros brasileiros, onde os valores indicam as possíveis variações encontradas nos lixiviados para diferentes aterros.

Tabela 13 – Variação da composição do lixiviado gerado em aterros brasileiros.

Parâmetro*	**Faixa máxima**	**Faixa mais provável**	**FVMP (%)**
pH	5,7 - 8,6	7,2 - 8,6	78
Alcalinidade total	750 - 11.400	750 - 7.100	69
Dureza	95 - 3.100	95 - 2.100	81
Condutividade	2.950 - 2.500	2.950 – 17.660	77
DBO	< 20 - 30.000	< 20 - 8.600	75
DQO	190 - 80.000	190 - 22.300	83
NTK	80 - 3.100	-	-
N-amoniacal	0,4 - 3.000	0,4 - 1.800	72
N-orgânico	5 - 1.200	400 - 1.200	80
N-nitrito	0 - 50	0 - 15	69
N-nitrato	0 - 110	3,5 - 69	69
P-total	0,1 - 40	0,1 -15	63
Sulfeto	0 - 35	0 - 10	78
Sulfato	0 -5.400	0 - 1.800	77
Cloreto	500 - 5.200	500 - 3.000	72
Sólidos totais	3.200 - 21.900	3.200 - 14.400	79
Sólidos totais fixos	630 - 20.000	630 - 5.000	60
Sólidos totais voláteis	2.100 – 14.500	2.100 - 8.300	74
Sólidos suspensos totais	5 - 2.800	5 - 700	68
Sólidos suspensos voláteis	5 - 530	5 - 200	62
Ferro	0,01 - 260	0,01 - 65	67
Manganês	0,04 - 2,6	0,04 - 2,0	79
Cobre	0,005 - 0,6	0,05 - 0,15	61
Níquel	0,03 - 1,1	0,03 - 0,5	71
Cromo	0,003 - 0,8	0,003 - 0,5	89
Cádmio	0 - 0,26	0 - 0,065	67
Chumbo	0,01 - 2,8	0,01 - 0,5	64
Zinco	0,01 - 8,0	0,01 - 1,5	70

* Todos os valores em $mg.L^{-1}$, exceto pH (adimensional) e condutividade ($\mu S.cm^{-1}$).
FVMP - Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis.
Fonte: Adaptado de Souto e Povinelli (2007).

Oliveira e Jucá (2004) investigaram as características físico-químicas do percolado do aterro de resíduos sólidos (urbanos, hospitalares e industriais) da Muribeca, situado na região metropolitana de Recife (Pernambuco), para verificar o acúmulo de metais pesados e a capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula do aterro. Os autores observaram, entre outros aspectos, a existência de uma frente de contaminação em direção ao fundo e alertaram para a problemática da disposição conjunta de resíduos urbanos

e industriais. Relataram também, que as concentrações dos vários parâmetros analisados aumentaram com a profundidade e aventaram a possibilidade deste fato estar associado à infiltração de águas de chuva pela camada de cobertura das células, o que permitiu maior diluição do líquido originado pela decomposição dos resíduos dispostos nas partes mais superficiais da célula. A Tabela 14 mostra os resultados da caracterização físico-química dos lixiviados.

Tabela 14 – Resultados dos ensaios físico-químicos realizados nas amostras do percolado do Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca, em função da profundidade de amostragem.

Parâmetro*	**Resultado em função da profundidade**	
	de 1 a 3 m	**> 3 m**
pH	7 - 8,3	7 - 8,3
Alcalinidade	2.220 - 5.600	4.750 - 12.480
Cloretos	580 - 1.700	1.500 - 4.800
DQO	500 - 4.000	3.000 - 16.000
DBO	200 - 2.170	1.750 - 6.000
Sódio	420 - 1.500	1.000 - 3000
Cálcio	20 -105	30 - 1.700
Alumínio	24 - 500	50 -1.800
Ferro	15 - 220	30 - 770
Cobre	0,2 - 2,9	0,2 - 4,4
Cromo	<0,01 - 3,5	<0,01 - 6,9
Chumbo	<0,01 - 1,5	<0,01 - 1,8
Manganês	<0,01 - 35	<0,01 - 19

* Todos os parâmetros em $mg.L^{-1}$, exceto pH (adimensional).
Fonte: Oliveira e Jucá (2004)

Cussiol (2005) pesquisou a ocorrência de micro-organismos e a composição físico-química de lixiviados provenientes de resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS) e da codisposição de ambos 99% de RSU + 1% de RSS (codisposição - COD), com tempo de aterramento de 566 dias. Para cada resíduo utilizou 5 contêineres (reatores) com capacidade nominal de 1000 litros, simulando aterros sanitários. A Tabela 15 mostra os resultados médios das análises físico-químicas dos lixiviados dos reatores.

Tabela 15 – Resultados médios das análises físico-químicas dos lixiviados dos reatores contendo resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS) e da mistura RSU (99%) + RSS (1%) denominada COD.

Parâmetro	Valores médios		
	RSU	RSS	COD
Temperatura (ºC)	23,0 ± 0,5	22,9 ± 0,5	22,8 ± 0,5
pH	5,8 ± 0,1	5,6 ± 0,2	5,7 ± 0,1
Potencial oxi-redução (mV)	–147 ± 13,6	–56 ± 16	–144 ± 12,6
Condutividade ($mS.cm^{-1}$)	10,4 ± 0,85	8,5 ± 0,68	10,4 ± 0,88
DQO ($mg.L^{-1}$)	48.000	44.000	49.000

Fonte: Cussiol (2005)

As Tabelas 16 e 17 apresentam, respectivamente, os dados gerais dos aterros brasileiros estudados pelo Programa de Saneamento Básico – PROSAB e da caracterização convencional dos respectivos lixiviados (LANGE e AMARAL, 2009).

Tabela 16 – Dados gerais dos aterros brasileiros estudados pelo PROSAB.

Aterro	Localização (Cidade/Estado)	Idade em 2008 (anos)
Gramacho	Rio de Janeiro / RJ	30
Gericinó	Rio de Janeiro / RJ	21
Morro do Céu	Niterói / RJ	25
Muribeca	Jaboatão dos Guararapes/PE	23
São Leopoldo	São Leopoldo/RS	-
Londrina	Londrina / PR	33
João Pessoa	João Pessoa / PB	6
Belo Horizonte	Belo Horizonte / MG	21

Fonte: Lange e Amaral (2009)

Os autores relatam que:

- os lixiviados apresentam elevada concentração de matéria orgânica (DQO e DBO);

- a razão dos valores de DQO e DBO sugere que os lixiviados dos aterros de João Pessoa, Gericinó, Morro do Céu, Muribeca e São Leopoldo apresentam biodegradabilidade variável, ora como lixiviado novo (maior biodegradabilidade) ora como lixiviado antigo (menor biodegradabilidade) e atribuem esse fato à operação contínua desses aterros;

- para os lixiviados dos demais aterros prevalece a natureza refratária onde as reações microbiológicas de degradação da DBO são limitadas. Os autores relacionam a baixa biodegradabilidade desses lixiviados com a idade dos aterros, pois a biodegradabilidade tende a diminuir com o aumento da idade dos aterros;

- a principal forma do nitrogênio nos lixiviados é a amoniacal e que os elevados valores observados sugerem a demanda por sistemas de tratamento que permitam a sua remoção;

- a elevada concentração de íons cloreto nos lixiviados pode prejudicar seu tratamento na etapa de remoção de matéria orgânica e na remoção de amônia por processos biológicos;

- a maior parte dos sólidos presentes nos lixiviados corresponde aos sólidos dissolvidos.

Tabela 17 – Caracterização convencional dos lixiviados gerados nos aterros brasileiros estudados pelo PROSAB.

Parâmetro*	Aterro								
	Gramacho	**Gericinó**	**Morro do Céu**	**Muribeca**	**São Leopoldo**	**Londrina**	**João Pessoa**	**Belo Horizonte**	**Experimental UNB**
Alcalinidade	8.607 2.800-24.000	5.613 1.350-9.000	4.618 77-6.105	7.443 4.976-11.593	5.129 538-13.048	4.277 2.588-5.395	10.770 8.200-14.291	6.115 672-8.272	1.391 272-4.540
pH	8,4 7,7-9,1	8,1 7,4-9,0	7,8 7,5-8,5	8,2 7,6-8,7	7,8 7,0-9,0	-	8,3 8-8,6	8,2 8,0-8,6	8,5 6,9-9,3
Cor	4.129 240-13.400	2.275 302-9.500	3.158 1.148-6.200	10.089 6.115-14.535	-	-	-	-	-
DBO	361 118-857	279 106-2.491	600 158-1.414	2.788 467-4.526	3.211 115-7.830	11 42-248	3.638 3.516-3.760	24 20-260	-
DQO	2.767 804-4.255	1.623 672-2.592	1.525 685-1.913	4.750 2.102-8.416	5.141 9.777-1.319	2.151 931-3.306	12.924 3.244-25.478	2.739 1.504-3.089	1.820 170-5.210
Nitrogênio Total	1.187 420-3.122	10.001 7,28-2.774	-	-	1.225 210-3.896	821 458-1.081		1.352 581-1.716	139 67-241
Nitrogênio Amoniacal	1.547 76-3.565	1.323 68-2.630	903 677-1.394	1.492 697-2.052	826 136-1.803	713 373-1.110	2.004 1.024-2.738	1.175 527-1.716	98 5-274
Nitrito	0,3 0,02-2,4	0,22 0,01-2,29	< 0,01	-	0,25 0,1-0,5	-	238 176-288	-	1 0-7
Nitrato	1,6 0,1-6,2	0,89 0,1-3,1	-	-	15 2,9-32	-	10 7,7-13	-	41 3,3-104
Fósforo Total	35 14-60	22 3-49	5,5 5,4-5,5	11,3 0,6-22	14 1,9-26	2 1-3	23 23-23	23 11-38	-
Cloreto	3.822 1.904-5.804	2.639 767-24.001	2.103 247-5.727	469 227-760	-	-	-	2.314 1.432-3.857	-
Turbidez	208 19-605	104 9-251	44 2-390	206 135-288	-	-	-	-	-
ST	11.878 440-18.160	5.872 397-8.370	5.945 4.612-7.726	10.396 7.760-11.651	-	7.669 4.010-	16.331 11.852-25.490	-	-

* Todos os parâmetros em $mg.L^{-1}$, exceto pH (adimensional) e cor (UC).

Fonte: Lange e Amaral (2009)

COMLURB (2012a) efetuou a análise do lixiviado gerado no Centro de Tratamento de Resíduos (CTR Santa Rosa), inaugurado em abril de 2011 no município de Seropédica, que recebe os resíduos sólidos urbanos de vários municípios da região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, entre eles o do município do Rio de Janeiro que é o de maior contribuição. A Tabela 18 apresenta os resultados das análises físico-químicas dos lixiviados coletados com um intervalo de 8 meses. Decorridos 8 meses, os resultados mostram uma redução discreta de valores para diversos parâmetros e a elevação do pH, o que é característico da fase metanogênica. Os valores de pH, DBO, DQO e N-amoniacal estão próximos aos observados no Aterro Metropolitano de Gramacho, enquanto que os valores de alcalinidade e sólidos totais se aproximam dos valores observados para o Aterro de Gericinó. Vale lembrar que os três aterros recebem os RSD e demais RSU coletados no município do Rio de Janeiro.

Tabela 18 – Análises físico-químicas do lixiviado do Centro de Tratamento de Resíduos (CTR Santa Rosa), localizado no município de Seropédica.

Parâmetro*	**28/6/2011**	**21/2/2012**
pH	7,0	8,2
DBO	nd	313
DQO	2.205	1.757
N-Amoniacal	1.373	846
Dureza Total	90	1.120
Turbidez (NTU)	33,3	30,3
Condutividade ($\mu S.cm^{-1}$)	1.792	1.691
Potencial Redox (mV)	-150	nd
Fósforo Total	nd	4,46
Alcalinidade	nd	8.680
Cloretos	nd	2.991
Sólidos Sedimentáveis	< 0,01	< 0,01
Sólidos Totais	nd	11.100
Niquel	< 0,01	0,06
Chumbo	< 0,01	< 0,01
Zinco	0,30	0,32
Cobre	0,10	< 0,01
Ferro	5,00	1,98
Cadmio	< 0,01	< 0,01
Cromo	< 0,01	0,09

nd - não determinado

* Todos os parâmetros em $mg.L^{-1}$, exceto pH, turbidez e condutividade.

Fonte: COMLURB (2012a)

2.7.6 – Potencial poluidor do lixivado

A Constituição Federal, em seu artigo 23, 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).

A Lei 6.938 de 31.08.1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, no Art. 3º define poluição como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem saúde, segurança e bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas/sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

A poluição pode ainda ser definida como sendo as alterações indesejáveis nas características físicas, químicas e biológicas da atmosfera, hidrosfera ou litosfera que cause ou possa causar prejuízo à saúde, à sobrevivência ou às atividades dos seres humanos e outras espécies ou ainda deteriorar materiais (BRAGA, 2007).

Os lixiviados têm sido identificados na literatura como fontes potenciais de poluição das águas superficiais e subterrâneas, apresentando elevadas concentrações de substâncias poluentes (KJELDSEN *et al.,* 2002; CASTILHOS JUNIOR, 2006; CASTILLO *et al.,* 2007; SILVA *et al.,* 2007; IZQUIERDO e MENDOZA, 2008; CASTRILLÓN *et al.,* 2010; RAFIZUL e ALAMGIR, 2012).

De acordo com Tchobanoglous *et al.* (1993), o potencial poluidor do lixiviado está ligado, principalmente, aos altos valores de carga orgânica que apresenta, o que leva à redução do

oxigênio disponível em cursos d'água com que tenha contato prejudicando a fauna e a flora nesses meios.

O lixiviado geralmente apresenta valores elevados de DBO, DQO, traços de metais dissolvidos e nitrogênio amoniacal (SOUTO, 2009). No meio aquático a carga orgânica do lixiviado reduz a concentração de oxigênio dissolvido podendo causar a morte de peixes e outros seres vivos. O nitrogênio e o fósforo, atuando como nutrientes, podem levar à eutrofização e substâncias químicas podem ser tóxicas ou se acumular na cadeia alimentar (CASTILHOS JUNIOR, 2006).

Para avaliar os riscos relacionados a lixiviados de aterros sanitários, Buta e Oduyemib (2003) utilizaram os parâmetros pH , DBO, Zinco, Ferro e N-amoniacal.

Teixeira e Nagle (2002) avaliaram a influência do lixiviado proveniente de aterro em vala, sobre a qualidade da água subterrânea. Para tal, empregaram os seguintes parâmetros no monitoramento: pH, condutividade elétrica, alcalinidade, DQO, sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), sólidos totais fixos (STF), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV) e metais pesados. Os autores constataram que o aterro em vala desprovido de impermeabilização apresenta real potencial poluidor para o subsolo e as águas subterrâneas.

O nitrogênio amoniacal tem sido apontado como o mais importante constituinte do lixiviado, no que tange aos impactos ambientais e às aplicações biotecnológicas de tratamento (KJELDSEN *et al.,* 2002; MOURA, 2008).

A toxicidade dos altos teores de nitrogênio amoniacal é nociva para os organismos aquáticos e para as bactérias utilizadas na degradação e estabilização dos resíduos (SILVA, 2002; KJELDSEN *et al.,* 2002; OMAN e JUNESTEDT, 2007)

Os cloretos e a alcalinidade, quando em elevadas concentrações, também estão entre os fatores que contribuem de maneira significativa para o potencial poluidor do lixiviado (CLÉMENT e MERLIN, 1995; KJELDSEN *et al.,* 2002; SILVA, 2002; OMAN e JUNESTEDT, 2007; RAFIZUL e ALAMGIR, 2012).

O lixiviado produzido indistintamente em aterros antigos e jovens não pode ser lançado diretamente em corpos receptores sem o devido tratamento, que, aliás, tem sido apontado pela grande maioria dos técnicos da área como o principal problema associado aos aterros sanitários (JARDIM, 2006; CASTILHOS JUNIOR, 2006; OMAN e JUNESTEDT, 2007).

De acordo com Moura (2008), a elevada concentração de nitrogênio amoniacal e a presença de substâncias orgânicas recalcitrantes são empecilhos à utilização de processos tradicionais de tratamento, como o processo biológico.

De acordo com Morais (2005), a implantação de sistemas de coleta e tratamento do lixiviado é essencial tendo em vista que o impacto produzido pelo lixiviado no meio ambiente pode ser bastante acentuado, com efeitos observados no solo, mesmo a distâncias superiores a 100 m do aterro, assim como alterações na biota aquática, principalmente nas imediações do lançamento.

A maioria dos aterros de resíduos sólidos urbanos não dispõe de um sistema efetivo de drenagem e tratamento dos lixiviados (HAMADA *et al.* 2003). A necessidade de tratamento dos lixiviados decorre das altíssimas concentrações de matéria orgânica, 60 vezes superior às encontradas nos esgotos domésticos, e com tratabilidade muito diferente da dos esgotos (CASTILHOS JUNIOR, 2006).

Os resíduos eletroeletrônicos (REE), por sua vez, têm representado um problema crescente do ponto de vista ambiental por apresentarem em sua constituição diversos metais pesados que podem, pelo contato direto ou indireto, causar danos aos seres vivos e à atividade biológica (MOREIRA e MOREIRA, 2004). Associado a isso, está a substituição de equipamentos eletroeletrônicos em maior freqüência, por conta das inovações tecnológicas e da obsolescência programada, gerando uma grande quantidade de material não utilizado que, sem destinação adequada, acaba tendo como destino os resíduos domiciliares (DEMPSEY e OPPELT, 1993). Quando em contato com a água em aterros, grande parte desses metais passa a fazer parte do lixiviado, podendo contaminar o solo e as águas superficiais e subterrâneas (CELERE, 2007).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nos subitens deste capítulo, são abordados em seqüência: a montagem das células experimentais, as procedências, quantidades e caracterização gravimétrica dos RSD e RSS dispostos nas células experimentais, a amostragem e os procedimentos analíticos adotados para o material de base e cobertura das células e lixiviados de RSD e RSS, e o tratamento e análise estatística dos resultados.

3.1 – Montagem das células experimentais

O estudo utiliza como modelo células experimentais de grande porte, construídas no pátio da Usina de Reciclagem e Compostagem da Companhia Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB localizada no bairro de Jacarepaguá (Vargem Pequena), no Município do Rio de Janeiro, atualmente funcionando como estação de transferência de RSU (Figura 9).

Figura 9 – Foto área do local de construção das células experimentais na Usina da COMLURB. Fonte: Centro de Informação Técnicas da COMLURB.

São 2 células experimentais dispostas lado a lado. Cada célula possui dois taludes laterais (2,0 m largura), 4,5 m de largura, 6,0 m de comprimento e 5,0 m de altura, totalizando um volume de 157,5 m^3 (Figura 10).

Não foi encontrado na literatura, referência à célula(s) experimental(ais), construída(s) fora de aterro, com dimensões semelhantes ou maiores às utilizadas neste trabalho. Bidone *et al.* (2000) construíram e monitoraram, em aterro, 6 células de 70 m^3 cada.

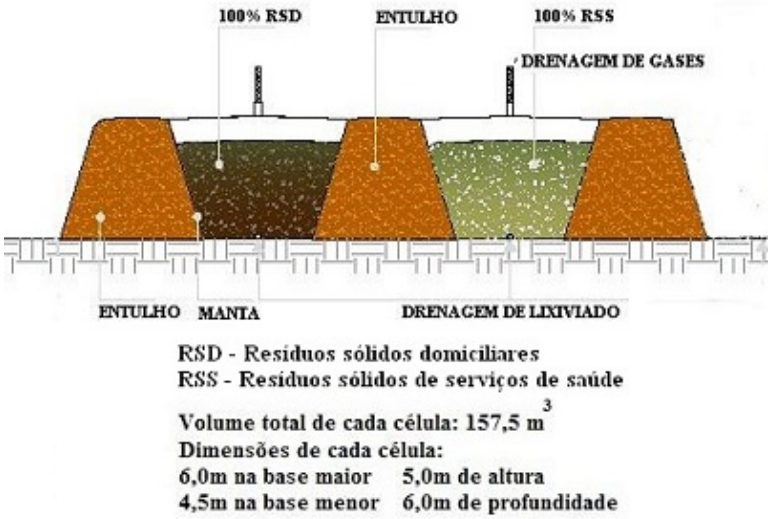
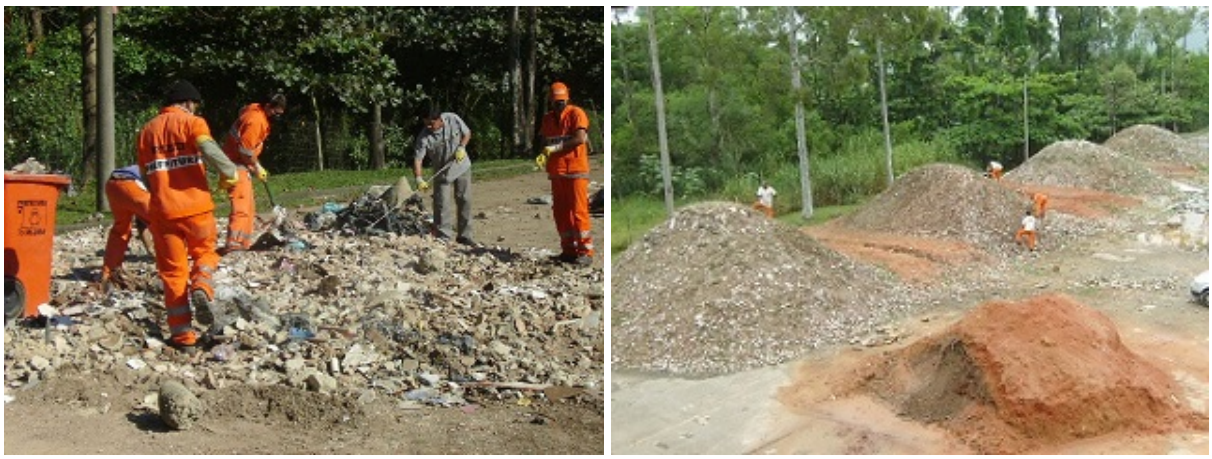


Figura 10 – Desenho esquemático das células experimentais

Para formação dos 3 taludes foram utilizados resíduos de construção civil (entulho). Sobre os taludes, foi colocada, inicialmente, uma camada de argila compactada para evitar possíveis danos e perfurações à manta de polietileno de alta densidade (PEAD), provenientes de algum resíduo de construção civil (RCC). Em seguida, a manta PEAD foi estendida sobre a superfície acompanhando a configuração dos taludes. As especificações da manta PEAD são: manta GEOTENE, 1,00 mm de espessura, PEAD (marca Nortene Plásticos Ltda, São Paulo, Brasil) cód. 80155970GEO10G (Figuras 11 e 12). Após a conclusão dessa etapa, as células receberam uma camada de 20 cm de argila (com exceção da área destinada ao sistema de drenagem de lixiviado e de gases), compactada com o auxílio de um compactador manual (Figura 13). As Figuras 14 a 17 mostram as demais etapas do processo de montagem e finalização das células experimentais.



(a) (b)

Figura 11 – Etapas iniciais para a formação dos taludes com a utilização de resíduos de construção civil previamente selecionados para evitar danos à manta PEAD.

(a) (b)

Figura 12 – Cobertura de argila sobre o talude e etapa inicial de colocação da manta PEAD.

(a) (b)

Figura 13 – Aplicação de argila sobre a manta PEAD seguida de compactação.

(a) (b) (c)

Figura 14 – Tubo kanaflex sobre a manta geotextil (bidim), colocação da brita e torneira para drenagem e coleta do lixiviado.

(a) (b)

Figura 15 – Drenagem do biogás: fixação do tubo de PVC perfurado e aplicação de tela metálica e brita.

(a) (b)

Figura 16 – Chegada dos RSD e dos RSS ao local do experimento.

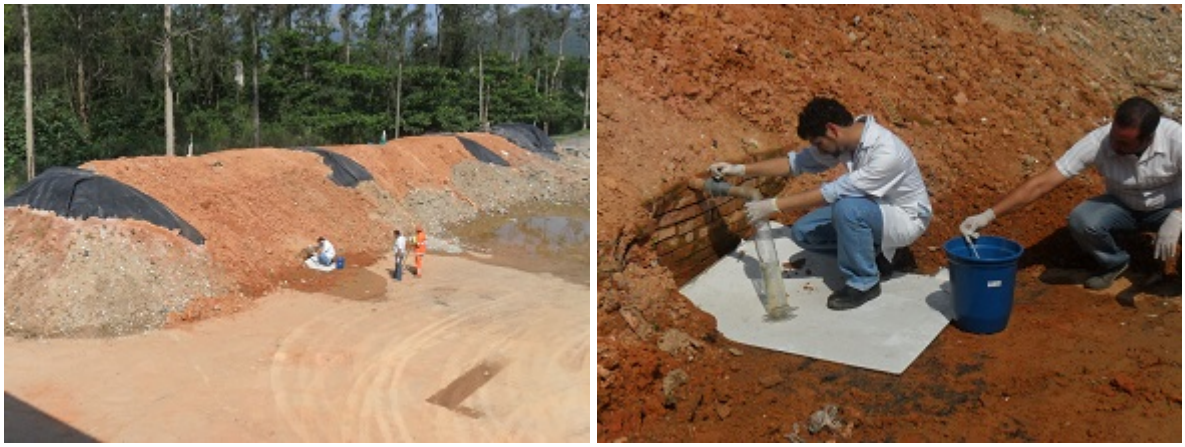
(a) (b)

Figura 17 – Cobertura dos resíduos com manta plástica durante o período de enchimento da célula e aplicação de camada de cobertura de argila sobre os resíduos.

Para captação do lixiviado, em cada célula, foi construído um sistema de drenagem composto por um tubo kanaflex (PVC perfurado marca Kanaflex, São Paulo, Brasil), de 4" e 9,0 m de comprimento, brita nº 3 (em torno de 2,0 m^3 para cobertura do kanaflex), um receptor de tubo PVC 50 mm acoplado a uma união-registro de PVC 50 mm e a uma torneira com saída curva de 90° para coleta do lixiviado.

Nos drenos, entre a manta PEAD e o tubo kanaflex, foi aplicada uma manta geotextil (marca Mexichem Brasil – Bidim, São Paulo, Brasil) 400 (5 m x 2,5 m) para evitar possíveis danos à manta PEAD ocasionados pela brita. Os tubos de drenagem do lixiviado foram dispostos com uma inclinação de 2% para permitir o escoamento horizontal do lixiviado até a torneira.

Na posição central da célula, a partir do fundo, foi construída uma estrutura tubular para drenagem de gases, composta por tela metálica, brita nº 3 e tubo de PVC 50 mm perfurado. Essa estrutura ganhou sustentação na medida em que os resíduos foram sendo colocados na célula. Após a colocação dos resíduos foi aplicada, em cada célula, uma camada de cobertura de 20 cm de argila compactada. À medida que os resíduos entravam nas células os sacos eram fragmentados com a ajuda da ferramenta denominada gadanho e em seguida eram compactados manualmente por meio de batente com 20 kg. A brita e a argila foram provenientes da IBRATA Mineração Ltda, Rio de Janeiro, Brasil. A Figura 18 mostra a imagem panorâmica das células experimentais finalizadas e a coleta do lixiviado.



(a) (b)

Figura 18 – Foto panorâmica das células concluídas, torneira para drenagem do lixiviado e coleta de amostra.

3.2 – Origens e quantidades dos resíduos dispostos nas células experimentais

Os RSD utilizados na formação da célula 1 foram os resíduos domiciliares gerados em três bairros: Barra da Tijuca (Barra), Recreio e Freguesia.

O Município do Rio de Janeiro é divido em Áreas de Planejamento. Os bairros Barra, Recreio e Freguesia pertencem à Área de Planejamento 4 (A.P4). A Figura 19 mostra a distribuição das Áreas de Planejamento com detalhe para A.P4 e a Tabela 19 os dados do ano de 2010 sobre a A.P4.

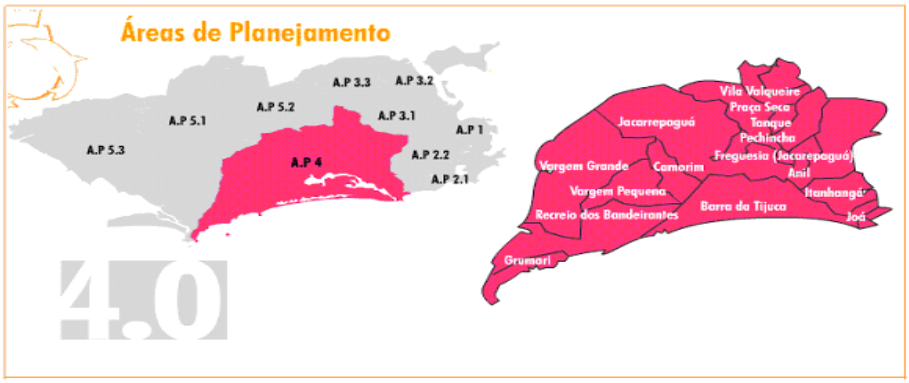


Figura 19 – Áreas de Planejamento do Município do Rio de Janeiro com detalhe para a A.P4.
Fonte: www.rio.rj.gov.br

Tabela 19 – Dados sobre a A.P4 para o ano de 2010.

População residente	644.035 habitantes
Área territorial	29.339,96 ha
Percentual da população em relação ao total do Município do Rio de Janeiro	11,90 %
Bairros componentes	Barra da Tijuca, Recreio dos Bandeirantes, Jacarepaguá, Anil, Gardênia Azul, Curicica, Freguesia, Pechincha, Taquara, Tanque, Praça Seca, Vila Valqueire, Joá, Itanhangá, Camorim, Vargem Pequena, Vargem Grande, Grumari e Cidade de Deus.

Fonte: http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/index.htm

Os RSS depositados na célula 2 foram provenientes de oito roteiros de coleta envolvendo diversos bairros do município do Rio de Janeiro e se originaram de hospitais, maternidades, postos de saúde, clínicas, residências com pacientes portadores de doenças infecto-contagiosas, Hospital Santa Casa da Misericórdia, postos de saúde da família, clínicas

veterinárias, Instituto de Veterinária Municipal, Sociedade Protetora de Animais – SUIPA e Centros de Proteção Animal. Esses resíduos foram denominados RSS.

Todos os resíduos utilizados nas duas células foram provenientes da coleta regular realizada pela COMLURB. A Figura 20 mostra a chegada do caminhão à Usina da COMLURB após a realização do roteiro de coleta. A Tabela 20 apresenta as quantidades de resíduos sólidos colocadas nas células experimentais 1 (RSD) e 2 (RSS).

Figura 20 – Pesagem do caminhão coletor, na Usina da COMLURB em Jacarepaguá, após percorrer o roteiro de coleta.

Tabela 20 – Disposição dos resíduos nas células e conteúdos em massa.

Célula	Conteúdo	Origens dos resíduos	Totais de resíduos dispostos (ton.)
1	RSD	Barra, Recreio e Freguesia	43,350
2	RSS	Estabelecimentos de Assistência à Saúde	13,680

Através do trabalho de caracterização foi possível observar que a massa de RSD para o preenchimento da célula 1 foi aproximadamente três vezes superior à massa de RSS necessária ao preenchimento da célula 2. Isso se deve às diferenças no parâmetro de massa específica entre os RSD e os RSS. A massa específica é a razão entre a massa e o volume do resíduo, expressa em kg/m^3. Essa característica está relacionada às propriedades de compressão ou compactação dos resíduos. Os RSD apresentaram massa específica de 320 kg/m^3, enquanto que os RSS 101 kg/m^3.

3.3 – Caracterização gravimétrica dos RSD e RSS

Para conhecimento da composição dos resíduos que entraram nas células 1 e 2, foram retiradas de cada massa de resíduos, seis amostras (contêineres) de 240 litros para a caracterização detalhada dos seus constituintes (COMLURB, 2009).

A caracterização gravimétrica foi realizada de acordo com os procedimentos preconizados pela Norma ASTM D5231-92 - "Método para determinação da composição de resíduos sólidos municipais", e foi efetuada no Centro de Pesquisas Aplicadas da COMLURB.

As Figuras 21 a 24 mostram as etapas do processo de caracterização que consistem, basicamente, na recepção dos resíduos e pesagem para determinação da massa específica e percentuais dos componentes em relação à massa total, catação, triagem e pesagem dos componentes, e colocação de uma parcela dos resíduos em estufa (65 ºC por 24 horas) para determinação do teor de umidade.

Figura 21 – Mesa de catação e triagem

Figura 22 – Pesagem de componentes maiores.

Figura 23 – Pesagem de componentes menores.

Figura 24 – Estufa para secagem de resíduos.

3.4 – Amostragem dos lixiviados de RSD e RSS

A coleta dos lixiviados, para as análises físico-químicas, foi programada para acontecer quinzenalmente a partir do fechamento das células com a camada de argila. Entretanto, algumas coletas não ocorreram como programado devido a problemas operacionais.

A drenagem das células foi programada para ocorrer diariamente (dias úteis) quando eram anotados os volumes gerados e as temperaturas dos lixiviados. As coletas de amostras ocorreram em dias da semana, 24 horas após o procedimento de drenagem. No momento da coleta da amostra era feita a medição da temperatura e posteriormente era realizado o procedimento de drenagem com medição de volume. Após a coleta, as amostras eram encaminhadas, sob refrigeração, para os laboratórios. Para os testes de toxicidade, as amostras foram acondicionadas em bombonas de 5 litros e mantidas congeladas (em freezer) até a análise cujos procedimentos estão descritos no item 3.5.3.

3.5 – Dados pluviométricos

As condições climáticas (pluviometria) no período de monitoramento das células foram utilizadas para a análise dos resultados. A estação pluviométrica mais próxima das células experimentais é a Estação Recreio (Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro), situada a 2.836 m de distância. Os dados fornecidos por essa estação serviram de base para acompanhar as chuvas que caem sobre as células experimentais no período de monitoramento.

3.6 – Procedimentos analíticos

3.6.1 – Análise do material de base e cobertura das células

Com o intuito de verificar se o solo era apropriado para utilização como camada de base e cobertura das células, três amostras de 40 kg foram encaminhadas para o Laboratório de Mecânica dos Solos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), onde foram analisadas quanto à Granulometria (ABNT NBR-7181/1984), Limite de Liquidez (ABNT NBR-6459/1984), Limite de Plasticidade (ABNT NBR-7180/1984) e Densidade Real dos Grãos.

Para verificar possíveis influências do material de cobertura sobre a qualidade dos lixiviados gerados pelas células experimentais, três amostras do solo foram submetidas a ensaios de solubilização (ABNT NBR 10006:2004). Em seguida, os solubilizados foram submetidos a

análises físico-químicas e de toxicidade e os resultados comparados com os obtidos nos lixiviados. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Tratamento de Águas e Reuso de Efluentes (LABTARE) da Escola de Química (EQ) da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ e metais pesados no Centro de Pesquisas Aplicadas e no Laboratório de Solos (LASP) da EMBRAPA localizado no Jardim Botânico (RJ).

3.6.2 – Análises físico-químicas dos lixiviados de RSD e RSS

A Tabela 21 apresenta os parâmetros físico-químicos analisados nos lixiviados. As metodologias foram baseadas nos procedimentos preconizados pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

Tabela 21 – Metodologia analítica empregada na análise do lixiviado e do solubilizado e o laboratório responsável pela análise.

Parâmetro	**Unidade**	**Método (APHA, 2005)**	**Laboratório**
Absorbância (ABS254)	cm^{-1}	5910-B Shimadzu UV mini 1240	UFRJ
Alcalinidade	$mgCaCO_3.L^{-1}$	2320-B Método titulométrico	COMLURB
COT	$mg.L^{-1}$	5310-C TOC Analyser Hipertoc 1000	UERJ UFRJ
Cloreto	$mg.L^{-1}$	4500-Chloride-B Método argentométrico	UFRJ
Condutividade	$\mu S.cm^{-1}$	2510-B Condutivímetro Quimis	COMLURB
Cor Verdadeira	$mgPtCo.L^{-1}$	2120-B Método comparação visual	UFRJ
DBO	$mg.L^{-1}$	5210-B Oxímetro Thermo	UFRJ
DQO	$mg.L^{-1}$	5220-D Espectrofotômetro Hach DR2800	UFRJ
Dureza	$mgCaCO_3.L^{-1}$	2340-C EDTA	COMLURB
Fósforo Total	$mg.L^{-1}$	4500-P-F Espectrofotômetro	COMLURB
N-Amoniacal	$mg.L^{-1}$	4500 NH_3 –E Orion 4 star Thermo	UFRJ
pH	0 a 14	4500 H^+-B pH metro	COMLURB
Sólidos Totais (ST)	$mg.L^{-1}$	2450-B Estufa Fanem Orion 515	COMLURB
Sulfato	$mg.L^{-1}$	4500 SO_4^{2-}-E Espectrofotômetro	UFRJ
Turbidez	UNT	2130-B Turbidímetro	UFRJ

As análises foram realizadas no Laboratório de Físico-Química do Centro de Pesquisas Aplicadas da COMLURB, no Laboratório de Tratamento de Águas e Reuso de Efluentes (LABTARE) da Escola de Química (EQ) da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ e no Laboratório de Solos (LASP) da EMBRAPA localizado no Jardim Botânico (RJ).

Além dos parâmetros físico-químicos relacionados na Tabela 21, foram determinados: Sólidos Sedimentáveis – SSED ($mL.L^{-1}$) através de sedimentação da amostra em cone Imhoff por 1 hora (Amitel Vidros de Laboratório Ltda, São Paulo, Brasil) e metais pesados por meio de espectrofotômetro de absorção atômica modelo 3110 marca Perkin Elmer (Perkin Elmer do Brasil Ltda, São Paulo, Brasil) e um por um equipamento ICP OES da marca Perkin-Elmer, modelo OPTIMA 3000 com software ICP Winlab (RIBEIRO *et al*., 2008), após digestão nitro-perclórica da amostra de lixiviado. Essas análises foram efetuadas no Laboratório de Físico-Química do Centro de Pesquisas Aplicadas da COMLURB e no Laboratório de Solos (LASP) da EMBRAPA localizado no Jardim Botânico (RJ).

3.6.3 – Avaliação da toxicidade do lixiviado

É importante destacar que o presente trabalho não objetiva avaliar o efeito do lixiviado em cadeias tróficas de organismos dulcícolas e de água salgada. Isso implicaria na necessidade de realização de ensaios de toxicidade aguda e toxicidade crônica empregando diversos organismos teste de diferentes níveis tróficos. Dessa forma, optou-se pelo uso de um organismo consumidor do nível superior na cadeia alimentar de um ecossistema aquático, o peixe *Danio rerio.*

Os lixiviados foram submetidos a ensaios ecotoxicológicos para a determinação da toxicidade aguda para o peixe da espécie *Danio rerio* ("paulistinha"). Para tal foi empregada a metodologia descrita na norma NBR 15088/2004 (ABNT, 2004). Ao longo do monitoramento foram realizados 12 ensaios com as amostras de lixiviados de RSD e RSS. Os intervalos entre os ensaios foram de, aproximadamente, 2 meses para os 9 primeiros ensaios e 3 meses para os demais. Os testes foram realizados no Laboratório de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – LES da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ.

Em linhas gerais, o ensaio consiste na exposição de peixes a diferentes diluições da amostra, 3,125%, 6,25%, 12,5%, 25%, 50% e 100% (lixiviado bruto), em um sistema estático por um

período de 48 horas, com leituras após 24h e 48h de exposição. Como controle, é realizada a exposição do organismo teste à água de diluição nas mesmas condições da amostra. São verificados nos instantes 0h, 24h e 48h, os parâmetros pH, condutividade, teor de oxigênio dissolvido e a temperatura cuja faixa desejada para os ensaios é entre 23 ºC e 27 ºC.

O resultado é expresso em CL 50 e fator de toxicidade (FT). Sendo considerados válidos se ao término do período de ensaio, a porcentagem dos organismos mortos no controle for inferior ou igual a 10%. A CL 50 é a concentração de uma amostra, letal a 50% dos organismos-teste. Ao final do ensaio, a CL 50 pode ser calculada pelo programa GWBASIC, onde seu resultado é expresso em porcentagem.

O fator de toxicidade é um fator de diluição, que por sua vez, é o número de vezes que a solução-teste a 100% deve ser diluída para que se tenha um mínimo de 6 concentrações distintas (as concentrações, % v/v, seguem sempre uma progressão aritmética sequencial de razão 1/2) para a realização do teste de toxicidade. Este pode ser obtido pela seguinte expressão: FT = 100 / % amostra

A unidade de toxicidade (UT) é o fator de toxicidade que representa o menor valor da concentração da amostra no qual não se observa letalidade maior que 10% dos organismos expostos. Ou seja, a UT de uma amostra será o FT onde se observa apenas um óbito ou nenhum, na menor concentração desta, já que usa-se 10 peixes em cada concentração.

Vale ratificar que, no Estado do Rio de Janeiro o INEA (anteriormente FEEMA) estabelece, através da Norma Técnica 213.R-4 (FEEMA, 1990), um limite para lançamento de efluentes industriais, em qualquer corpo receptor, de no máximo 8 UT para ensaios de toxicidade com o organismo *Danio rerio*.

3.7 – Tratamento dos resultados e análise estatística

Aos dados obtidos no âmbito deste estudo, foram aplicadas ferramentas estatísticas com intuito de verificar o comportamento entre as células estudadas (RSD e RSS), a evolução temporal das variáveis (parâmetros) por célula e apontar quais variáveis se correlacionam. As ferramentas utilizadas foram:

- Análise exploratória e descritiva dos dados.

Foi elaborada uma tabela contendo o número de dados válidos, mínimo, máximo, percentil 25 e 75, mediana, média, desvio padrão, erro padrão e o intervalo de confiança da média (com 95% de confiança). Todas estas estatísticas foram geradas para cada variável, diferenciando-se por célula. Para representação gráfica foram utilizados, por célula, gráficos para as séries temporais de cada variável e gráficos de *boxplot* (diagramas de caixa) para o conjunto de dados no período de aterramento e agrupando os resultados por ano de aterramento.

A "caixa" propriamente dita é formada pelos quartis inferior (1° Quartil) e superior (3° Quartil) dos dados da amostra. A linha que aparece dentro dela representa a mediana. As linhas horizontais à direita e à esquerda da caixa, representam, respectivamente, o extremo inferior e superior do conjunto de dados "normais" (i.e. não outliers). São considerados outliers aqueles dados cuja distância a qualquer dos quartis é maior que 1,5 vezes o intervalo inter-quartil (i.e. a diferença entre o quartil superior e o inferior, ou seja, o "tamanho" da caixa). Os outliers são representados por rótulos inseridos na direção das linhas horizontais do diagrama. O software estatístico utilizado faz uma diferenciação entre os outliers que estão a uma distância dos quartis maior que 3 vezes o intervalo inter-quartil, denominando-os "pontos extremos".

- Comparação de médias (Teste *t*).

O Teste *t* é aplicado para duas amostras independentes quando se pretende comparar as médias de uma variável quantitativa entre dois grupos diferentes de sujeitos (tratamentos) e se desconhecem as respectivas variâncias. Neste estudo foram comparadas as médias de cada variável para as duas células pareadas (RSD x RSS), assumindo-se igualdade de variâncias entre elas. O erro assumido para o teste foi de 5% (p-valor) com 95% de confiança, isto é, quando o p-valor for inferior a 5% as variáveis são consideradas diferentes. Quando o p-valor for superior a 5% as variáveis são consideradas iguais.

- Correlação de Pearson (Bivariável)

O coeficiente de correlação de Pearson (σ) mede o grau da correlação (e a direção dessa correlação, se positiva ou negativa) entre duas variáveis de escala métrica (intervalar ou de razão).

- $\sigma = 1$, significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis, ou seja, quando uma variável cresce a outra também cresce e quando uma decresce a outra também decresce, são variáveis com crescimento proporcional.

- $\sigma = -1$, significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta a outra sempre diminui. Quando uma variável cresce a outra decresce e vice-versa, são variáveis com crescimento inversamente proporcional.
- $\sigma = 0$, significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

Foi feita a correlação de cada variável do estudo com a variável tempo de aterramento, para verificar a significância da correlação quanto à evolução das variáveis por célula. O coeficiente de correlação positivo mostra tendência de aumento ao longo do tempo estudado e o coeficiente negativo tendência de queda. Quando o resultado é considerado não significativo (positivo ou negativo), assume-se que não houve alteração temporal. A correlação também foi efetuada entre todas as variáveis. O erro assumido para o teste (σ) foi de 5%, ou seja, a correlação é considerada significativa, com 95% de confiança, quando o p-valor for inferior a 5%. As correlações entre as variáveis estão reunidas em duas tabelas (para RSD e RSS).

Para a análise exploratória, descritiva e tabulação dos resultados foi utilizado o programa Microsoft Excel. Para a elaboração dos gráficos de boxplot, teste *t* e correlações de Pearson empregou-se o software IBM SPSS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos subitens deste capítulo, são mostrados os resultados na seguinte seqüência:

- caracterização gravimétrica dos RSD e RSS;
- análise do material empregado como base e cobertura das células;
- comparação entre as célulasa partir dos parâmetros empregados no estudo (onde os resultados são expressos em valores médios acompanhados da faixa mínima e máxima)e o comportamento de cada parâmetro durante o tempo de aterramento (evolução temporal);
- comparação entre as concentrações dos parâmetros físico-químicos dos lixiviados de RSD e RSS com as concentrações desses parâmetros em lixiviados relatados na literatura;
- correlações entre as os parâmetros (físico-químicos e toxicológico) para verificar a existência de influências recíprocas entre eles;
- considerações complementares sobre os resultados;
- avaliação do potencial poluidor das células de RSD e RSS.

4.1 – Caracterização gravimétrica dos RSD

As Figuras 25 e 26 mostram a composição gravimétrica dos RSD dispostos na célula 1.

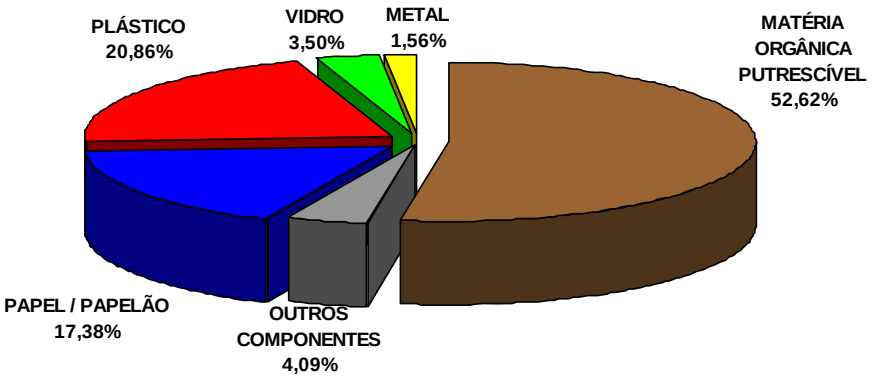


Figura 25 – Composição gravimétrica dos resíduos RSD.

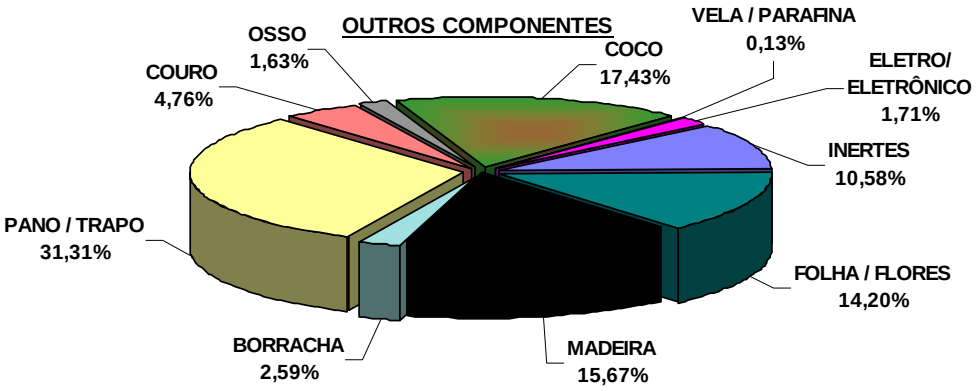


Figura 26 – Composição gravimétrica dos RSD: outros componentes.

A composição gravimétrica dos RSD utilizados no experimento foi considerada compatível com os estudos de caracterização gravimétrica realizados por COMLURB (2009) ao longo dos anos na Área de Planejamento 4 (AP4) que inclui os bairros Barra, Recreio e Freguesia (Figura 3), com ênfase para o teor de matéria orgânica putrescível (56,62%), principal componente dos resíduos e elemento determinante na qualidade e formação do lixivado nos aterros.

4.2 – Caracterização gravimétrica dos RSS

As Figuras 27 e 28 apresentam a composição gravimétrica dos RSS depositados na célula 2.

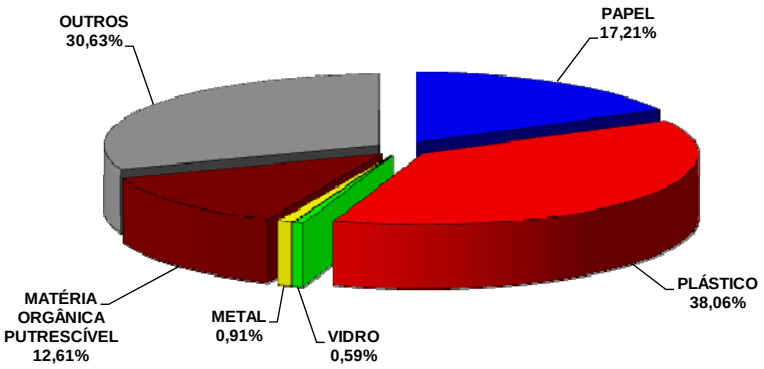


Figura 27 – Composição gravimétrica dos resíduos RSS.

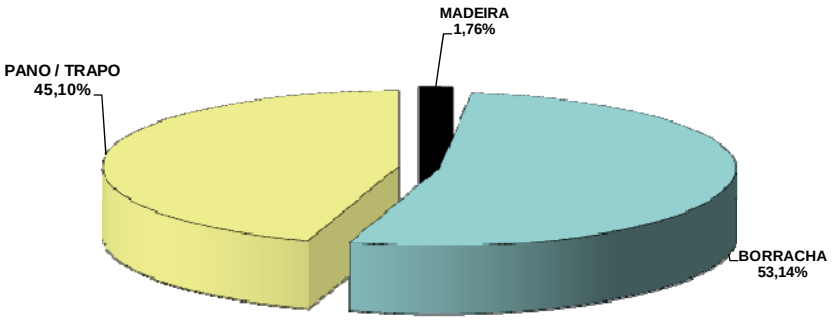


Figura 28 – Composição gravimétrica dos RSS: outros componentes.

Para o melhor conhecimento da composição qualitativa dos RSS seis contêineres de 240 litros, cheios de amostras retiradas aleatoriamente da massa de resíduos que entraram na célula 2, foram dispostos sobre filme plástico e seus componentes identificados e anotados.

A Tabela 22 mostra os resultados onde é possível observar que os RSS estão representados pelas classes A (A1, A2, A3 e A4), B, D e E. Segundo o profissional da COMLURB, Cláudio Araújo Silva (comunicação pessoal, consulta *ad hoc*), responsável pela coleta de RSS no município do Rio de Janeiro, os resultados obtidos foram compatíveis com os verificados regularmente para esses resíduos.

Tabela 22 – Composição qualitativa do RSS utilizados na célula 2.

Componentes	**Descrição**
Papel e papelão	Papel toalha, papel higiênico, caixas coletoras de perfurocortantes, remédio, pasta de dente.
Plástico	Soro, seringas, povidine, colher, canudo, embalagem para autoclave, copo coletor de urina, garafa de álcool, bolsa transfusional, copo descartável, laxante, frasco com sangue.
Vidro	Ampolas para injeção, dipirona sódica, kit com material biológico.
Metais	Vaselina sólida, cartela de comprimido, agulhas, remédio.
Pano/trapo	Ataduras, gaze, algodão, tecido utilizado para autoclave, fralda, jaleco descartável, máscara descartável, babador.
Borracha	Luvas, tubo de látex, garrote, torniquete.
Outros	Esponja, esparadrapo, aparelho de diálise, filtro, peças anatômicas, placenta, vísceras, restos de alimento.

As caracterizações gravimétricas mostraram que o teor de matéria orgânica putrescível nos RSD (56,62%) foi quase 4,5 vezes superior ao encontrado nos RSS (12,61%). Dessa forma, a célula de RSD recebeu um conteúdo de substrato orgânico, propício à decomposição microbiana, muito mais elevado do que a célula de RSS.

4.3 – Análises do material empregado como base e cobertura das células

A Tabela 23 resume os resultados da caracterização granulométrica do solo de cobertura utilizado nas células experimentais. No Apêndice 1 constam os conjuntos de ensaios realizados em três amostras do solo: granulometria, limites de consistência (limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade), porcentagem de material (areia, silte e argila) e curva granulométrica.

De acordo com a classificação HRB (Highway Research Board), o material de cobertura empregado nas células é classificado como A-6 solo argilo-siltoso (SANTOS, 2006).

Tabela 23 – Caracterização granulométrica do solo de cobertura utilizado nas células experimentais.

Amostra	Composição granulométrica (%)						
	Pedregulho	Areia				Silte	Argila
		Grossa	Média	Fina	Total		
1	2	11	35	18	64	23	13
2	1	11	33	19	63	22	15
3	3	13	29	19	61	23	16

O resultado obtido é similar ao usado no Aterro Sanitário de Nova Iguaçu (SANTOS, 2012). Esse fato e o conjunto dos resultados obtidos nos ensaios demonstram que o solo empregado neste estudo é apropriado para utilização em aterros como material de cobertura.

A Tabela 24 apresenta os resultados das análises físico-químicas e de toxicidade dos solubilizados das 3 amostras da argila utilizada como material de cobertura. Excetuando o sulfato, os demais resultados mostraram valores inferiores aos observados nos lixiviados das células, demonstrando que a argila não influenciou nos resultados obtidos nos lixiviados, ou seja, os valores de qualidade dos lixiviados são devidos unicamente aos resíduos aterrados nas células.

Tabela 24– Comparação dos resultados das análises da argila com os resultados obtidos nos lixiviados das células.

Parâmetros	Amostras de argila			Células (valores médios)	
	1	2	3	RSD	RSS
Absorbância (cm^{-1})	0,04	0,03	0,06	3,43	6,93
Cloreto ($mg.L^{-1}$)	17	12	19	716	239
Condutividade ($\mu s.cm^{-1}$)	280	133	233	4.538	2.208
DQO ($mg.L^{-1}$)	5,03	8,43	8,56	415,47	207,69
Fósforo ($mgP.L^{-1}$)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,29	0,36
N-amoniacal ($mg.L^{-1}$)	0,12	0,18	0,22	351,23	294,43
Sulfato ($mg.L^{-1}$)	66,1	37,2	29,9	18,6	9,6
Toxicidade para *D.rerio*(UT)	1,0	1,0	1,0	5,6	5,6
Cádmio ($mg.L^{-1}$)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01
Chumbo ($mg.L^{-1}$)	0,20	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01
Cobre ($mg.L^{-1}$)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01
Cromo ($mg.L^{-1}$)	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
Ferro ($mg.L^{-1}$)	0,15	0,17	0,15	7,97	9,64
Níquel ($mg.L^{-1}$)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02
Zinco ($mg.L^{-1}$)	0,13	0,13	0,12	0,08	0,19

Quanto à presença mais elevada de sulfato na argila, em comparação aos lixiviados das células, não há evidências de que isso possa ter influenciado de maneira significativa nas concentrações de sulfato dos lixiviados. Se houve alguma influência, essas concentrações permaneceram com valores muito abaixo do que se observa normalmente para lixiviados de aterros.

4.4 – Monitoramento físico-químico e toxicológico: comparação entre as células e evolução temporal.

A seguir, encontram-se detalhados, os resultados de concentração dos parâmetros avaliados para os lixiviados de cada célula. Os Apêndices 2, 3, 4, 5 e 6 apresentam, respectivamente, as tabelas de resultados, a estatística descritiva, a comparação entre as médias (Teste *t*), as correlações dos parâmetros com o tempo de aterramento (correlação de Pearson) e as correlações entre os parâmetros (correlação de Pearson).

4.4.1 – Volume

Os valores médios de volume diário nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 43,4 L (1 a 812 L) para os RSD e 51,7 L (1 a 501 L) para os RSS.

A Figura 29 apresenta os resultados das medições de volume nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou quenão há diferenças significativas (p-valor maior que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados das células são semelhantes.

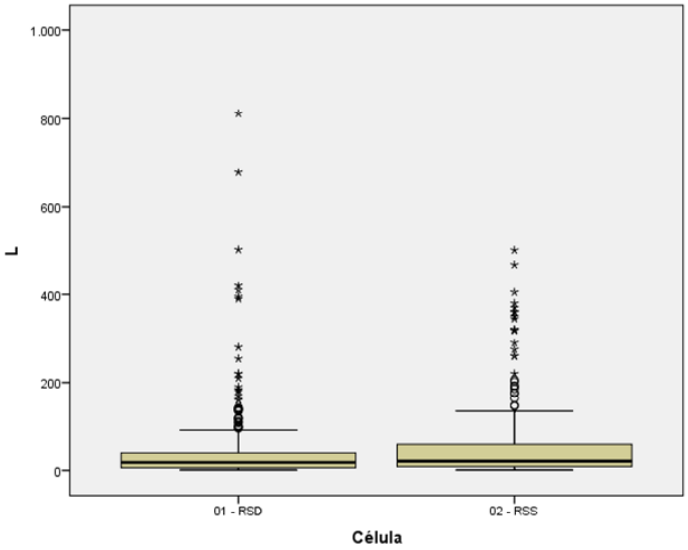


Figura 29 – Box-plot das medições de volume para os lixiviados para RSD e RSS durante todo o período monitoramento.

A Figura 30 apresenta os resultados das medições de volume durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 31 apresenta a distribuição das medições de volume ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação do volume com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) não foi estatisticamente significativa para as células de RSD (0,23 com p-valor 6,20) e RSS (0,00 com p-valor 49,10). Embora tenha havido flutuações dos volumes drenados no período monitorado, ambas ascélulasnão apresentaram tendências de elevação ou queda dos valores de volumeao longo do tempo.

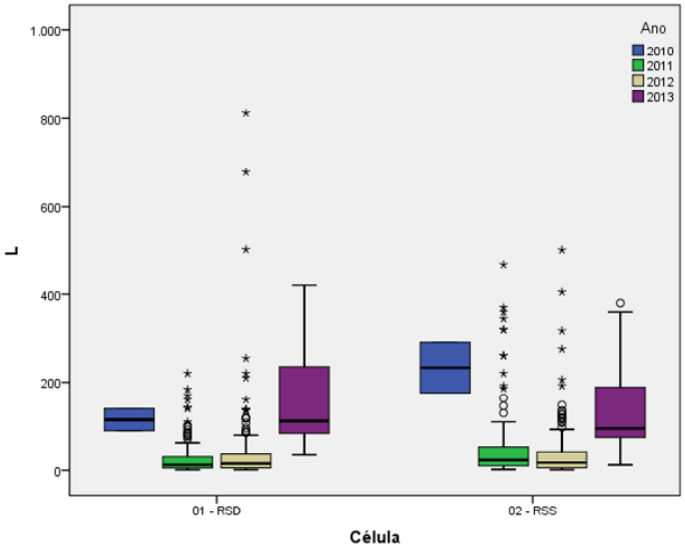


Figura 30 – Box-plot das medições de volume para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

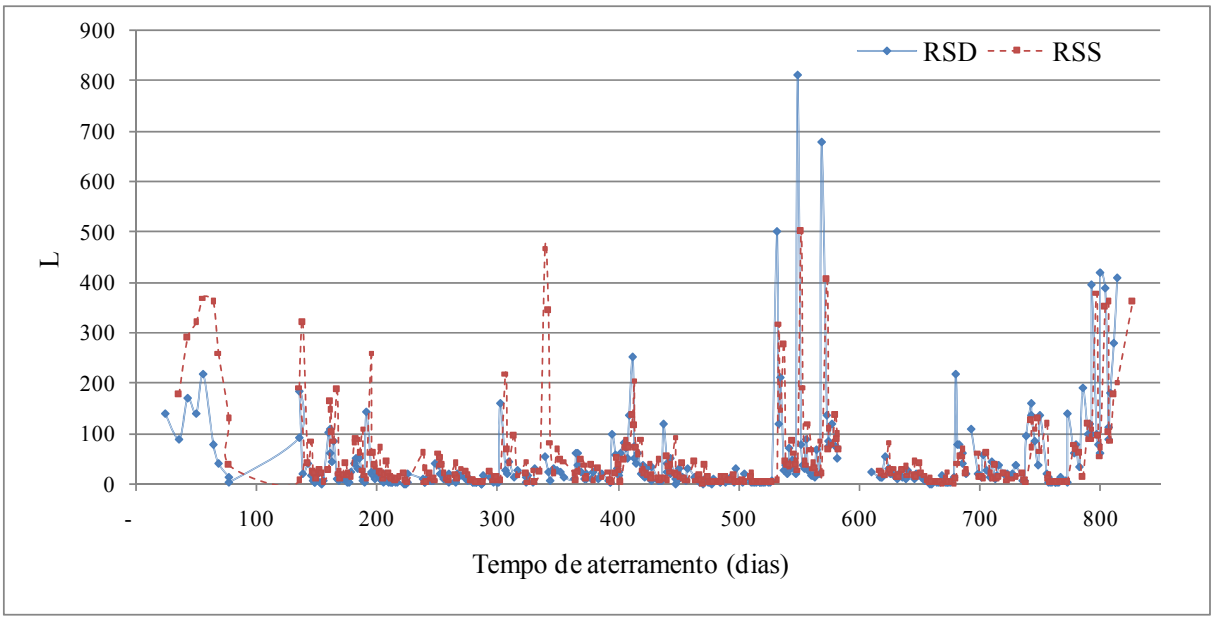


Figura 31 – Distribuição das medições de volume para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Os totais de lixiviados drenados das células foram 14.747 L em RSD e 17.684 L em RSS.

Considerando que ambas as células foram construídas de maneira semelhante (formação estrutural e geométrica) e que foram submetidas às mesmas condições externas (precipitação pluviométrica e intempéries), é possível supor, a despeito das perdas de água por evaporação em ambas as células, que os RSD apresentaram uma capacidade de retenção de água superior aos RSS, tendo como principal fator o seu conteúdo mais elevado em matéria orgânica. Esse fato pode ter favorecido a atividade microbiana em RSD. De acordo com Farquhar (1989) *apud* EL-FADEL *et al.* (2002), a elevação da umidade aumenta a atividade microbiana dentro do aterro.

As Figuras 32 e 33 mostram, respectivamente a evolução da chuva diária e acumulada em comparação com os volumes de lixiviados de RSD e RSS medidos ao longo do tempo de monitoramento. É possível observar que as alterações dos volumes de lixiviados foram influenciadas pelas chuvas.

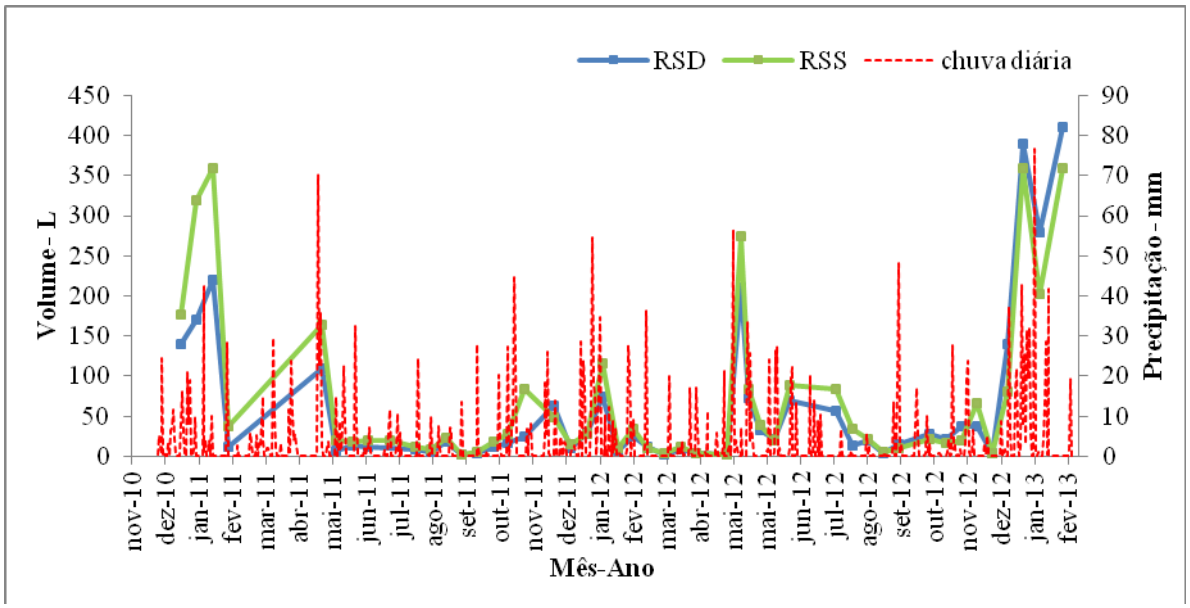


Figura 32 – Evolução da chuva diária em comparação com os volumes de lixiviados de RSD e RSS medidos ao longo do tempo de monitoramento.

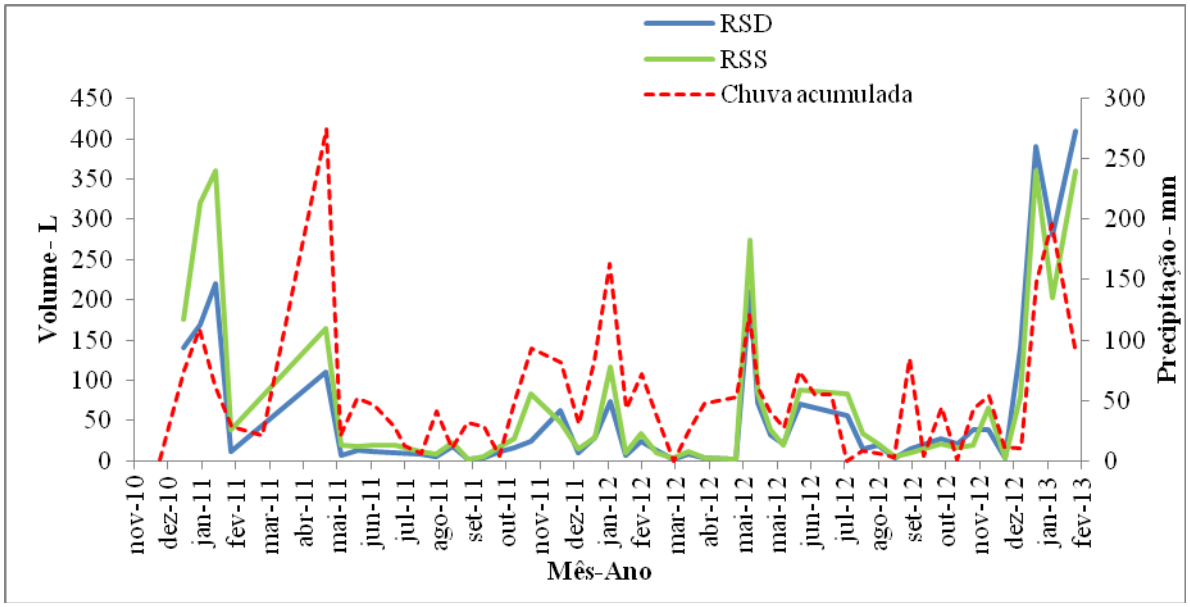


Figura 33 – Evolução da chuva acumulada em comparação com os volumes de lixiviados de RSD e RSS medidos ao longo do tempo de monitoramento.

4.4.2–Temperatura

Os valores médios de temperatura nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 29,1ºC (25,0 - 38,0ºC) para os RSD e 28,3ºC (25,0 - 33,0ºC) para os RSS. A Figura 34 apresenta os resultados das medições de temperaturanos lixiviadosdas células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado sinaliza que os resultados da célula de RSD são mais elevados do que os observados em RSS.

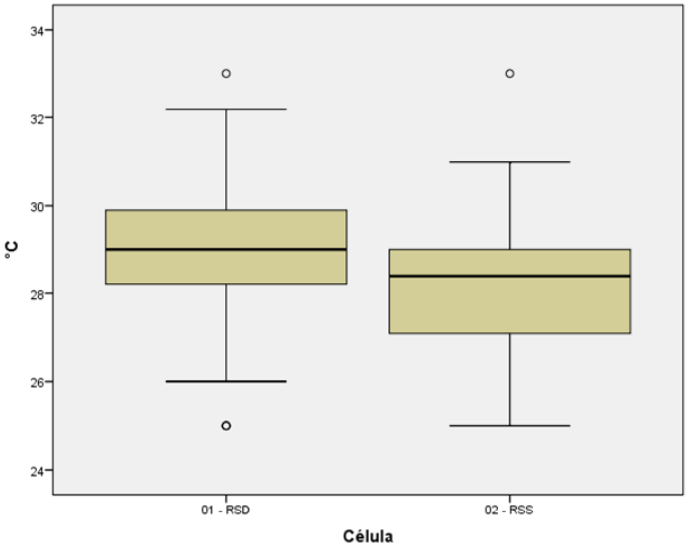


Figura 34 – Box-plot das medições de temperatura para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 35 apresenta os resultados das medições de temperatura durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 36 apresenta a distribuição das medições de temperatura ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação da temperatura com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlação negativa significativa em RSS (–0,41 com p-valor 0,20) sinalizando tendência de queda dos resultados ao longo do tempo. Em RSD (–0,21 com p-valor 8,50) não houve correlação com significância estatística. As flutuações observadas podem ser decorrentes das mudanças sazonais.

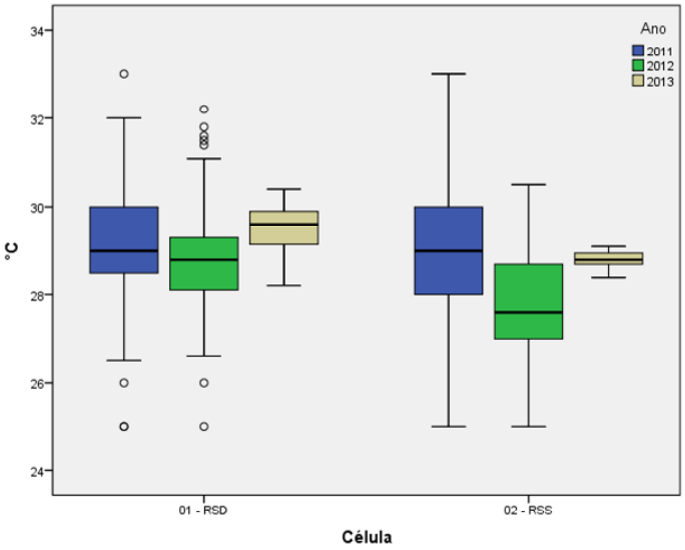


Figura 35 – Box-plot das medições de temperatura para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2011 a 2013).

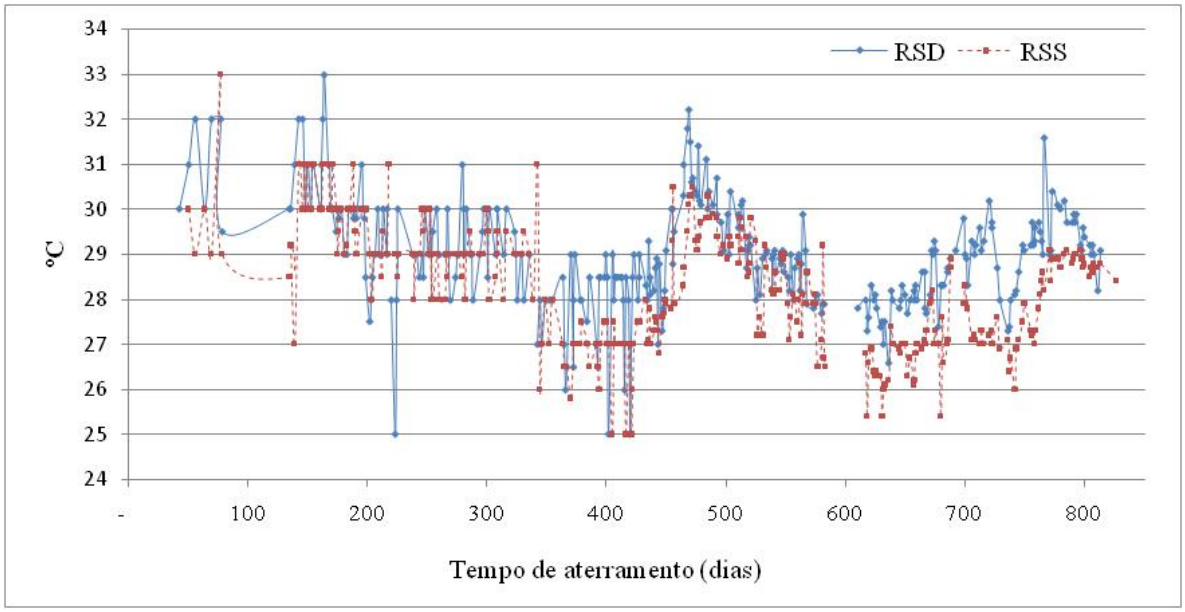


Figura 36 – Distribuição dos resultados da temperatura para RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Os valores e intervalos (mín. e máx.) dos resultados de temperatura, para ambas as células, se mantiveram na faixa mesofílica, propícia à atividade microbiana. As temperaturas máximas observadassituaram-se abaixo de 40ºC que é a temperatura máxima interna dos aterros, citada por Giordano *et al*. (2011).

As temperaturas mais elevadas na célula de RSD provavelmente foram decorrentes de uma atividade microbiana mais intensa devido, principalmente, a uma quantidade maior de matéria orgânica putrescível nessa célula que na célula de RSS, conforme mostrado pelas composições gravimétricas (Figuras 25 e 27).

4.4.3 – Potencial hidrogeniônico (pH)

Os valores médios de pH observados no lixiviado para todo o período de monitoramento foram 7,0 (5,8 - 7,7) para RSD e 6,8 (5,6 - 7,4) para RSS. A Figura 37 apresenta os resultados de pH nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados da célula de RSD foram mais elevados do que os resultados encontrados na célula de RSS.

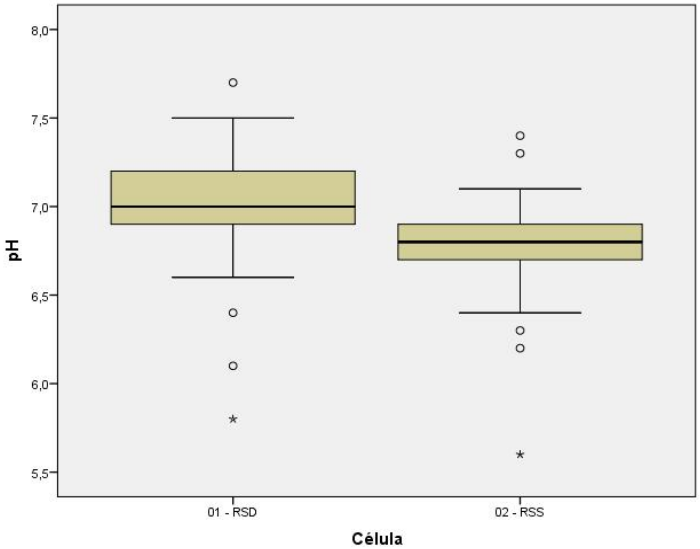


Figura 37 – Box-plot do pH para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 38 apresenta os resultados de pH obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 39 apresenta a distribuição dos resultados de pH ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação do pH com a variável

tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlação positiva significativa (0,59 e p-valor 0,00) na célula de RSD e correlação negativa não significativa na de RSS (–0,03 com p-valor 40,60). Portanto, em RSD houve aumento gradual dos valores de pH ao longo do tempo monitorado, enquanto que em RSS não foi observada tendência de elevação ou queda dos valores de pH com o tempo.

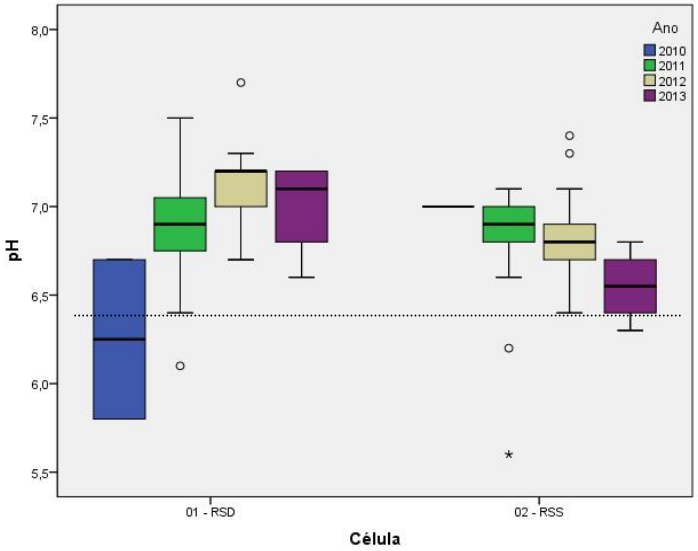


Figura 38 – Box-plot dos resultados de pH para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

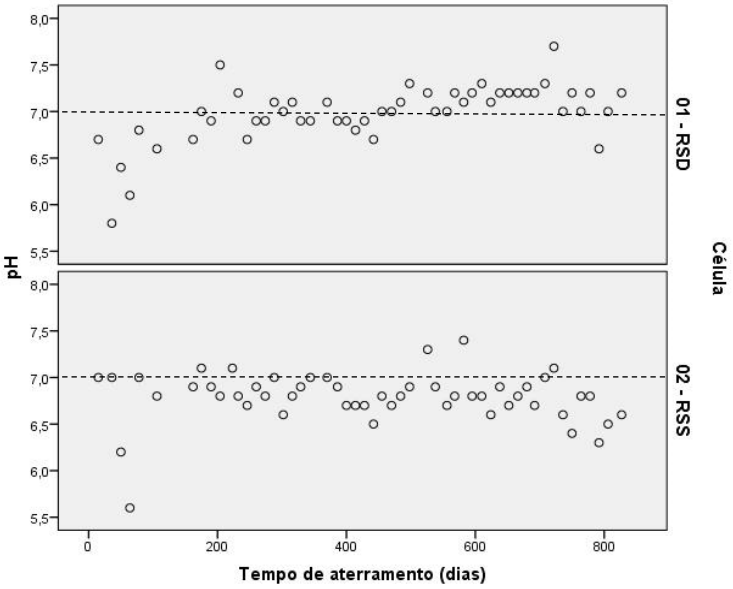


Figura 39 – Distribuição dos resultados de pH para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Com o início do aterramento é esperada uma fase ácida com valores de pH inferiores a 7,0 e em seguida a elevação gradual em direção à fase metanogênica com valores de pH acima de 7,0 (POHLAND e HARPER, 1986). Até aproximadamente 200 dias de aterramento ambas as

células mostraram elevação do pH com valores atingindo a neutralidade. Entretanto, observa-se que em torno de 500 dias de aterramento (16,6 meses) a célula de RSD, ao contrário da célula RSS, mostrou tendência de entrada na fase metanogênica com valores de pH acima de 7,0. Comportamento semelhante ao apresentado por RSD, é relatado por El-Fadel *et al.*(2002) que observou, após 14 meses do início da operação de aterramento dos resíduos, a elevação do pH para valores acima de 7,0, indicando o declínio da atividade acetogênica.

4.4.4 – Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Relação DBO/DQO, Carbono Orgânico Total (COT) e Absorbância 254nm (ABS254).

Esses parâmetros sinalizam o conteúdo de matéria orgânica nos lixiviados das células de RSD e RSS.

Os valores médios de **DQO** observados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 416 $mg.L^{-1}$ (154 - 1091 $mg.L^{-1}$) para os RSD e 208 mgL^{-1} (100 - 1106 $mg.L^{-1}$) para os RSS.

A Figura 40 apresenta os resultados de DQO nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados de RSD e RSS mostrou que há diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados da célula de RSD foram mais elevados do que os resultados encontrados em RSS.

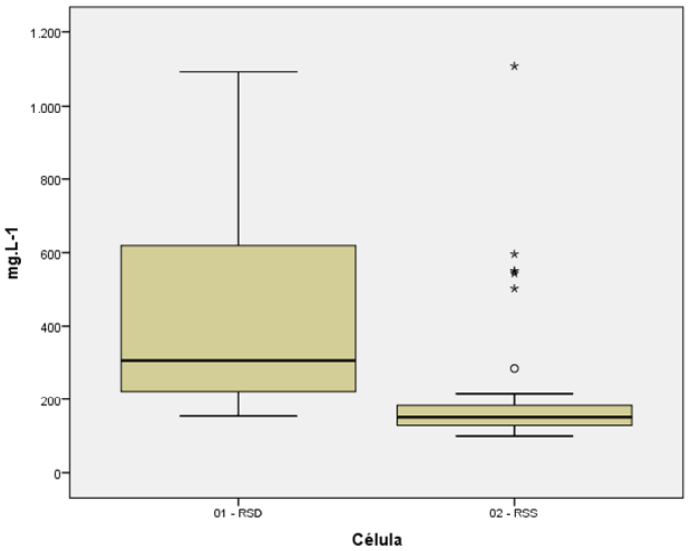


Figura 40 – Box-plotdos resultados de DQO para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 41 apresenta os resultados da DQO obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 42 apresenta a distribuição dos resultados da DQO ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação da DQO com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) mostrou correlação positiva em RSD (0,81 e p-valor 0,00) e negativa em RSS (–0,43 e p-valor 0,10), ambas estatisticamente significativas. Dessa forma, a célula de RSD apontapara o aumento gradual dos valores de DQO ao longo do tempo, enquanto que a célula de RSS mostra tendência de queda dos resultados durante o período monitorado.

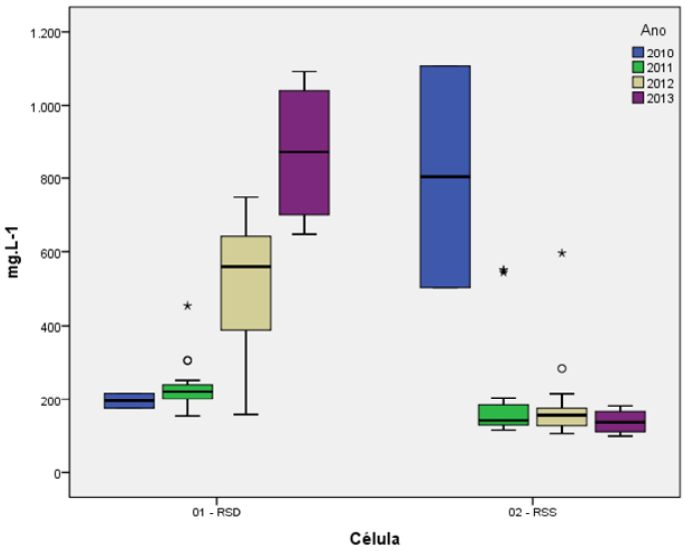


Figura 41 – Box-plot dos resultados de DQO para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

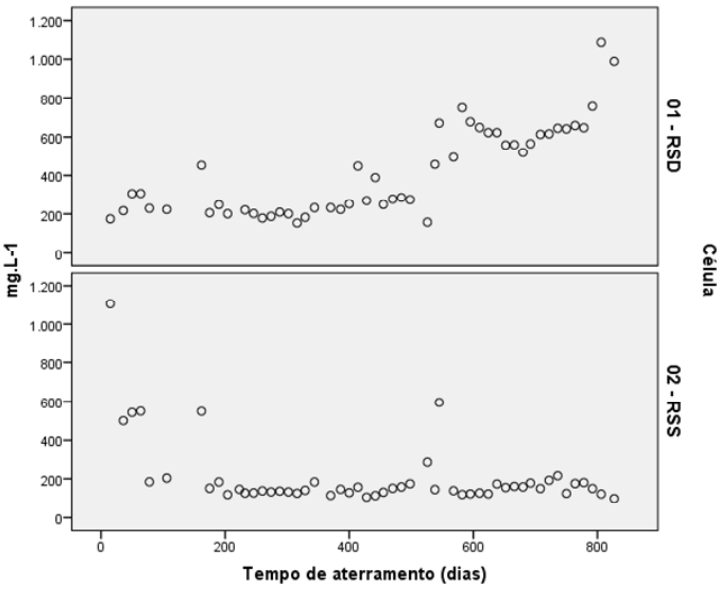


Figura 42 - Distribuição dos resultados da DQO para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Os resultados de DQO encontrados estão condizentes com as características dos resíduos confinados nas células experimentais, considerando que em RSD a proporção de resíduos orgânicos foi mais elevada que em RSS.

Era esperada a elevação e em seguida a queda gradual das concentrações de DQO ao longo do tempo de monitoramento (POHLAND e HARPER, 1986; EL-FADEL *et al.*,2002; RAFIZUL e ALAMGIR, 2012). Entretanto, os valores de DQO variaram ao longo do tempo de aterramento, mas não diminuíram gradualmente. A exemplo da ABS254, COT e DBO para a célula de RSD, a DQO mostrou tendência de elevação após os 500 dias de aterramento, indicando disponibilidade de matéria orgânica com atividade de degradação. Como dito anteriormente, é possível que a drenagem diária das células tenha reduzido a atividade microbiana no interior das células.

Os valores médios de **DBO** encontrados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 32 $mg.L^{-1}$ (1- 163 $mg.L^{-1}$) para os RSD e 18,0 $mg.L^{-1}$ (<1- 51 $mg.L^{-1}$) para os RSS.

A Figura 43 apresenta os resultados de DBO nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou que há diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado sinaliza que os resultados da célula de RSD foram mais elevados do que os observados em RSS.

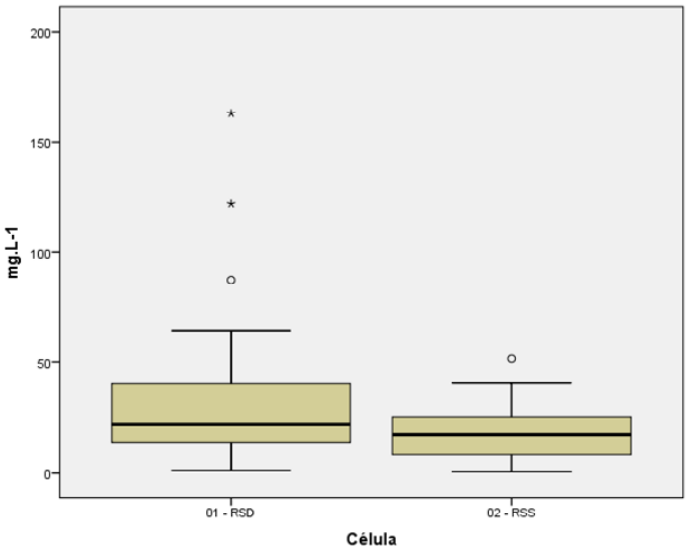


Figura 43 – Box-plot dos resultados de DBO para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 44 apresenta os resultados de DBO obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 45 apresenta a distribuição dos resultados de DBO ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação dos resultados da DBO com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlação positiva significativa em RSD (0,57 com p-valor 0,01), enquanto que a correlação positiva em RSS (0,24 com p-valor 7,20) não apresentou significância. Portanto, conclui-se que na célula de RSD houve tendência de elevação ao longo do tempo monitorado, enquanto que na célula de RSS não mostrou tendência de diminuição ou elevação.

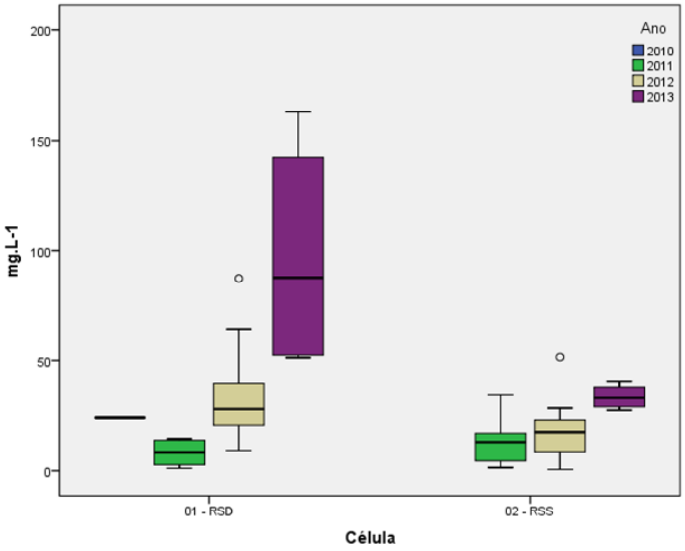


Figura 44 – Box-plot dos resultados de DBO para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2012 a 2013).

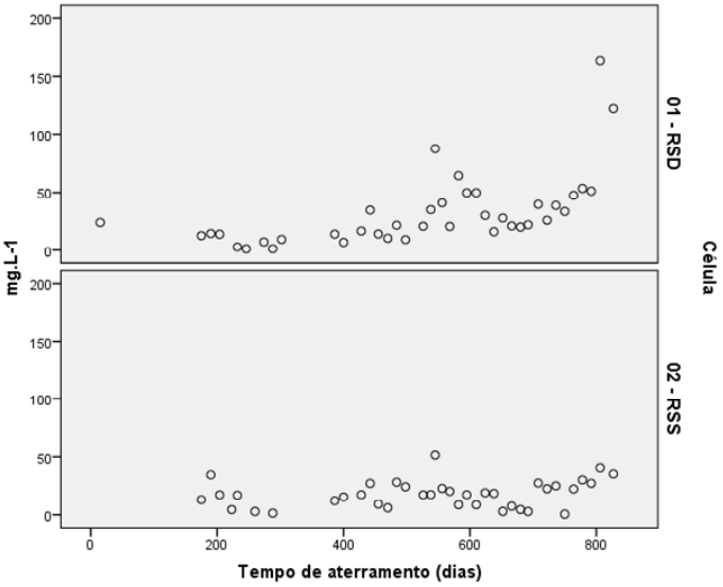


Figura 45 – Distribuição dos resultados de DBO para RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Os resultados de DBO encontrados estão condizentes com as características dos resíduos confinados nas células experimentais, por conta da matéria orgânica, considerando que na célula de RSD a proporção de resíduos biodegradáveis foi bem mais elevada que na célula de RSS.

Era esperada a elevação e em seguida a queda gradual das concentrações de DBO ao longo do tempo de monitoramento, devido à degradação microbiológica da matéria orgânica, com a conseqüentemente remoção de material orgânico presente nos resíduos (EL-FADEL *et al.,* 2002; RAFIZUL e ALAMGIR, 2012).

Entretanto, os valores de DBO variaram ao longo do tempo de aterramento mas não diminuíram gradualmente. Na célula de RSD, a partir dos 500 dias de aterramento os resultados mostraram tendência de elevação indicando a existência de matéria orgânica biodegradável em maior quantidade que na célula de RSS. Como o monitoramento da DBO teve início aos 175 dias de aterramento, poderia ter havido uma demanda maior nesse período inicial, entretanto isso não ocorreu porque os resultados da DQO, que serão apresentados em seguida, para o referido período, mostraram valores baixos para as célula de RSD, (mín. 175 $mg.L^{-1}$ e máx. 453 $mg.L^{-1}$) e de RSS (mín. 152 $mg.L^{-1}$ e máximo de 544 $mg.L^{-1}$ com uma medida inicial isolada de 1106 $mg.L^{-1}$).

Aevolução temporal para ambas as células não mostrou, de maneira evidente, os valores de DBO dentro dos resultados esperados para a fase metanogênica.

É possível que a drenagem diária das células tenha reduzido a atividade microbiana no interior das células. De acordo com El-Fadel *et al.* (2002), a drenagem do excesso de umidade pode contribuir para a redução acentuada da atividade biológica e, consequentemente, acarretar a ocorrência de valores baixos de DQO e DBO.

Os valores médios da **Relação DBO/DQO** observados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram 0,06 (0,05 - 0,15) para os RSD e 0,12 (0,05 - 0,35) para os RSS. A Figura 46 apresenta os resultados da relação DBO/DQO nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados da célula de RSS são mais elevados dos que os observados na célula de RSD.

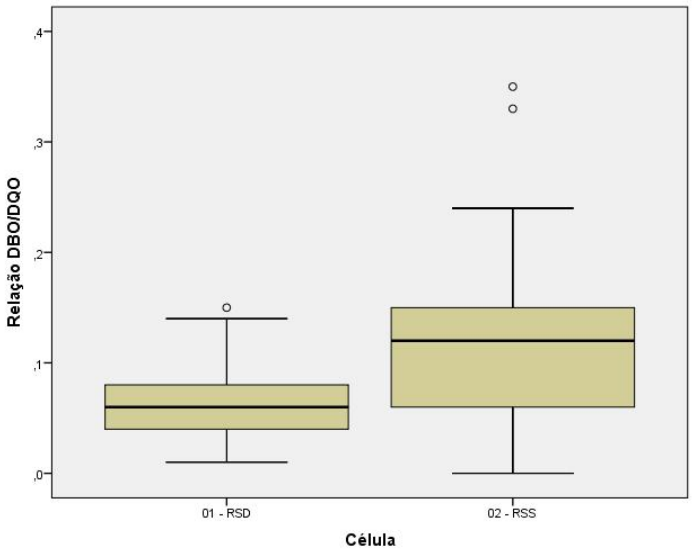


Figura 46 – Box-plot dos resultados da relação DBO/DQO para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 47 apresenta os resultados da relação DBO/DQO obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 48 apresenta a distribuição dos resultados da relação DBO/DQO ao longo do monitoramento, para ambas as células. A comparação da relação DBO/DQO com a variável tempo de aterramento não mostrou correlações estatisticamente significativas para ambas as células, indicando que o parâmetro não apresentou tendência de queda ou elevação para o período monitorado.

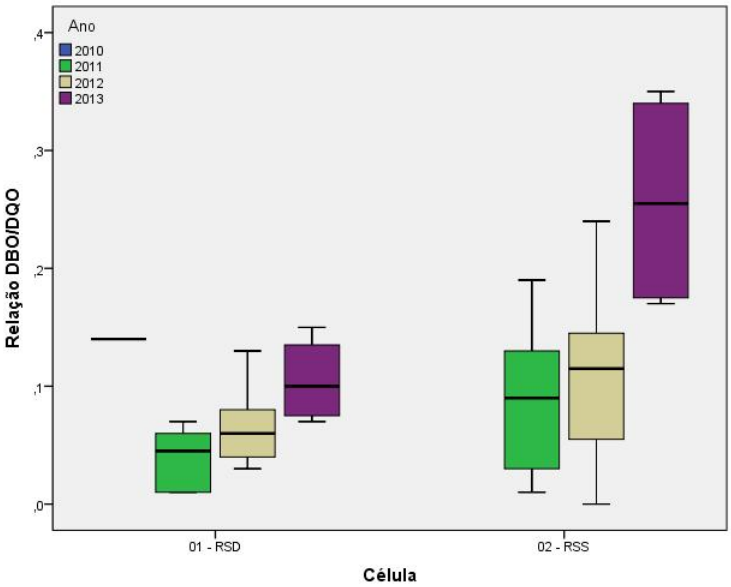


Figura 47 – Box-plot dos resultados da relação DBO/DQO para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

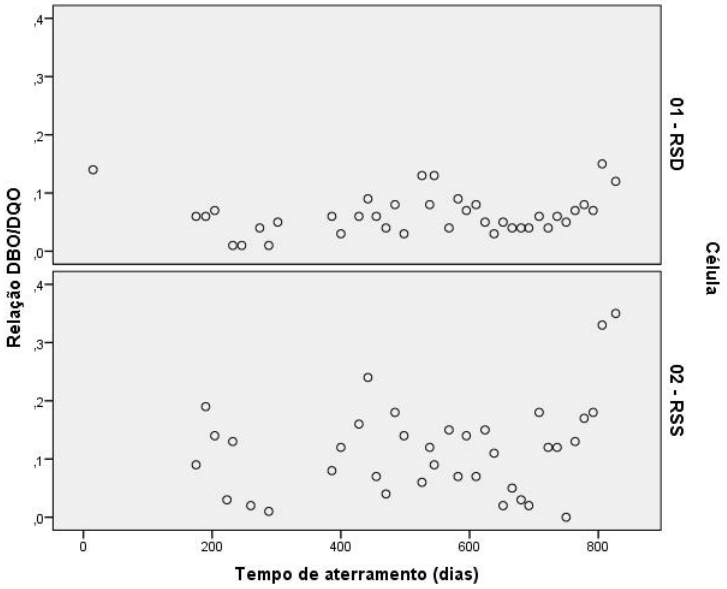


Figura 48 – Distribuição dos resultados da relação DBO/DQO para RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Era esperada a diminuição gradual da relação DBO/DQO ao longo do tempo (EL-FADEL *et al*., 2002; CAMMAROTA *et al*., 2009; CAMPOS *et al*., 2013), entretanto os resultados não confirmaram essa tendência porque não houve degradação gradual de compostos orgânicos biodegradáveis.

A relação DBO/DQO no lixiviado tem sido usada para avaliar e categorizar, teoricamente, o nível de degradação de resíduos aterrados, dessa forma uma relação DBO/DQO > 0,5 indica um aterro novo e instável, relações ente 0,1 e 0,5 indicam estabilidade moderada e uma relação DBO/DQO < 0,1 indica um aterro velho e estável (TCHOBANOGLOUS *et al*., 1993; CAMMAROTA *et al*., 2009). Dessa forma, os valores médios dos lixiviados de RSD e RSS estão compatíveis com lixiviados de aterro velho e estável.

Pela relação DBO/DQO também é possível verificar a biodegradabilidade dos despejos e o seu grau de tratabilidade biológica (VON SPERLING, 2005; GIORDANO *et al*., 2011). Nesse sentido, quanto mais elevada for a relação DBO/DQO maior é a indicação para tratamento biológico. Ambos os lixiviados mostraram valores de relação baixos, entretanto, considerando que a relação DBO/DQO em RSS foi mais elevada que em RSD, o lixiviado de RSS apresentou maior grau de biotratabilidade.

Os valores médios de **COT** observados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 207,5 $mg.L^{-1}$ (35,8 - 634,2 $mg.L^{-1}$) para os RSD e 110,5 $mg.L^{-1}$ (17,1 - 555,5 $mg.L^{-1}$) para os RSS.

A Figura 49 apresenta os resultados de COT nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados da célula de RSD foram mais elevados do que os resultados encontrados em RSS.

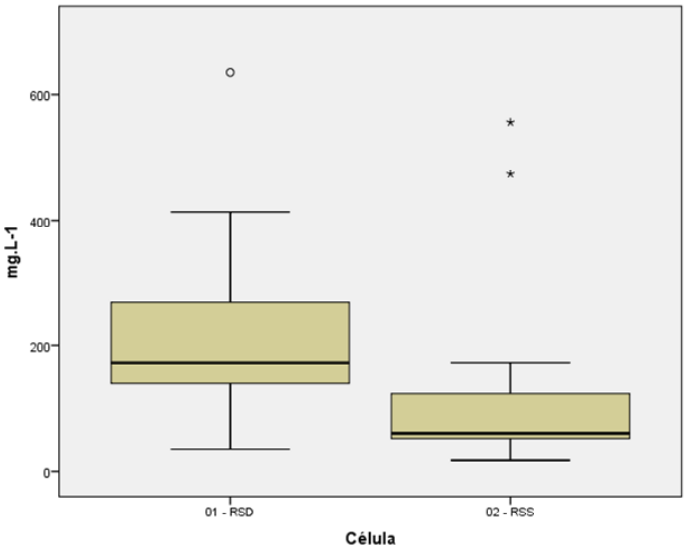


Figura 49 – Box-plot dos resultados de COT para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 50 apresenta os resultados de COT obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 51 apresenta a distribuição dos resultados de COT ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação dos resultados de COT com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) mostrou correlação positiva (0,52 com p-valor 0,30) em RSD e negativa (–0,40 com p-valor 1,70) em RSS, ambas estatisticamente significativas. Portanto, ao longo do tempo monitorado, houve tendência de elevação gradual do COT na célula RSD, enquanto que a célula de RSS mostrou tendência de queda dos resultados.

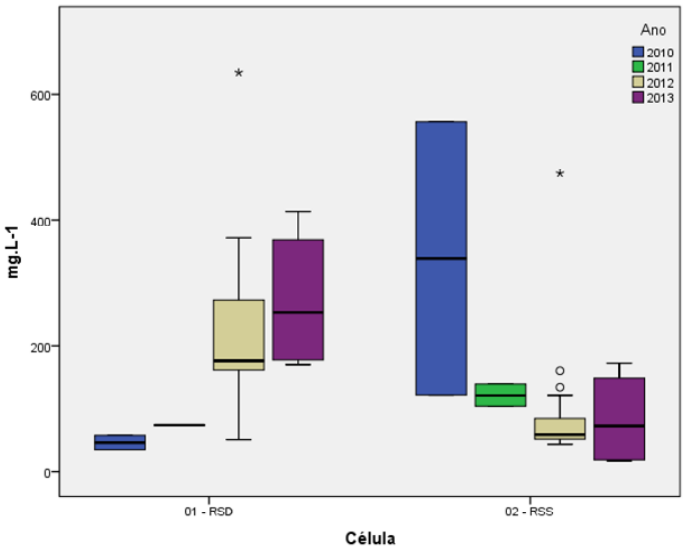


Figura 50 – Box-plot dos resultados de COT para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

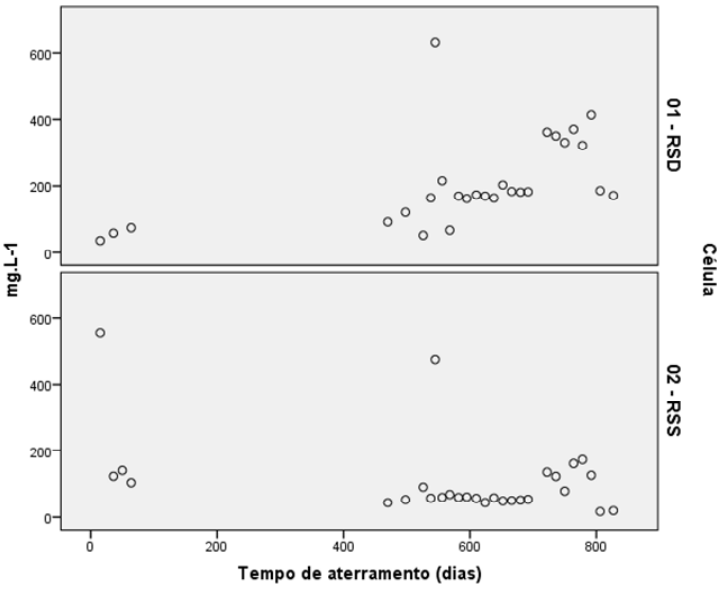


Figura 51 – Distribuição dos resultados de COT para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Os resultados corroboram as caracterizações gravimétricas que mostram que os RSD, devido ao maior conteúdo de matéria orgânica, se constituem em um substrato mais rico para a atividade microbiana do que os RSS, mesmo que essa atividade microbiana tenha sido comprometida por aspectos operacionais, tais como, a drenagem diária do lixiviado de ambas as células.

De acordo com El-Fadel *et al.* (2002), o carbono orgânico, proveniente dos resíduos orgânicos, pode ser carreado pelo fluxo de umidade para o lixiviado em uma taxa maior do que a capacidade de degradação pela atividade microbiana.

As determinações para **ABS254** foram introduzidas a partir de 414 dias de operação das células experimentais. Os valores médios de ABS254 observados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 3,4 cm^{-1} (0,8 - 8,7 cm^{-1}) para os RSD e 1,2 cm^{-1} (0,7 - 2,7 cm^{-1}) para os RSS.

A Figura 52 apresenta os resultados de ABS254 medidas nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou diferenças estatisticamente significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados da célula de RSD foram mais elevados que os encontrados na célula de RSS.

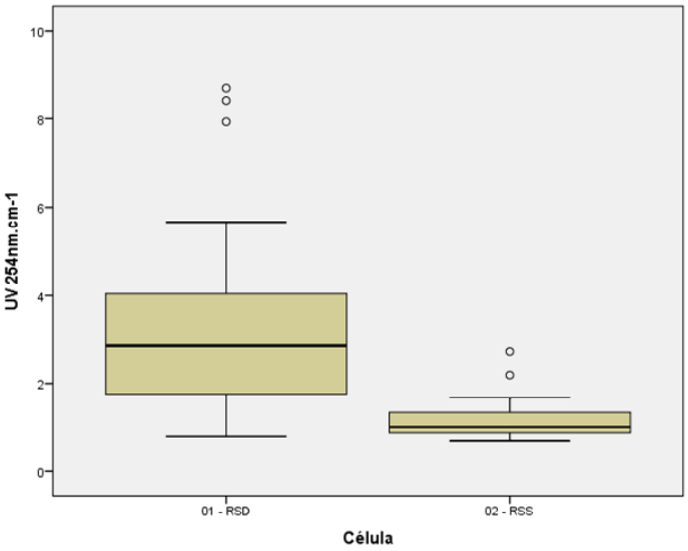


Figura 52 – Box-plot dos resultados de ABS254 para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 53 apresenta os resultados de ABS254 obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 54 apresenta a distribuição dos resultados de ABS254 ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação da ABS254 com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou que as correlações positivas observadas em RSD (0,68 com p-valor 0,00) e RSS (0,50 com p-valor 0,70) foram estatisticamente significativas. Dessa forma, as células de RSD e RSS mostraram tendência de elevação da ABS254 ao longo do tempo de aterramento.

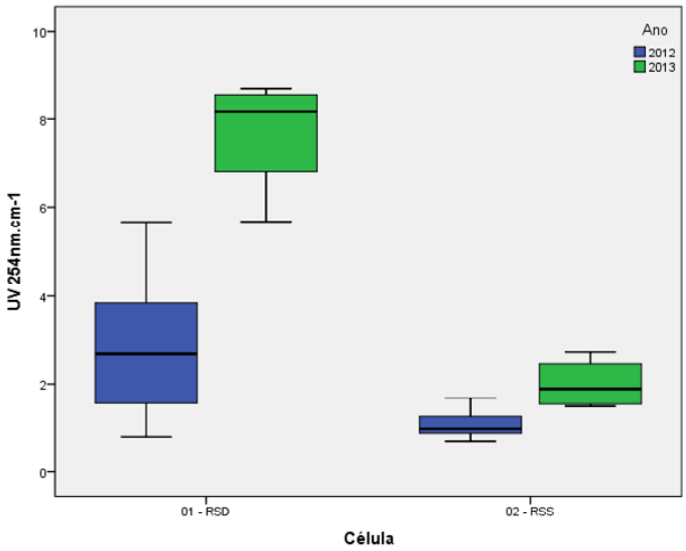


Figura 53 – Box-plot dos resultados de ABS254 para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2012 e 2013).

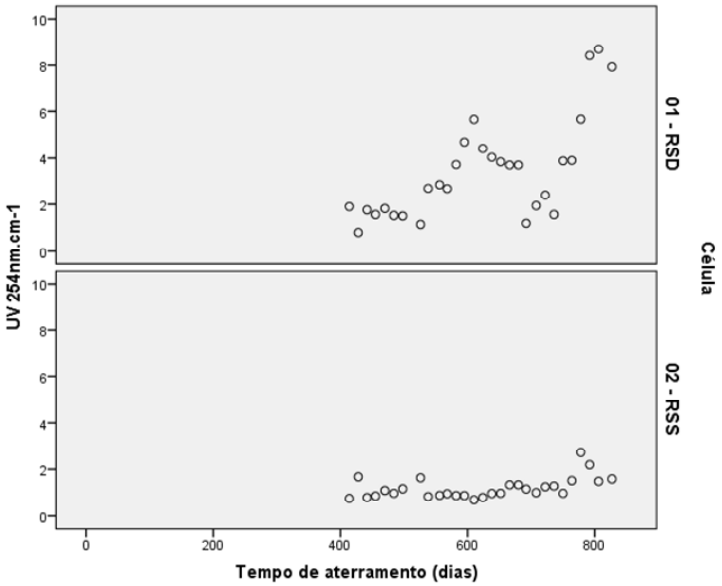


Figura 54 – Distribuição dos resultados de ABS254 para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

A ABS254 tem sido usada para avaliar a remoção de compostos orgânicos tais como a lignina, taninos, substâncias húmicas e vários compostos aromáticos em processos de tratamento de águas e efluentes (WEISHAA *et al*., 2003; ALATON, 2007; ZHANG *et al.* 2013). Os resultados mostram, em ambas as células, a existência de matéria orgânica em processo de decomposição, entretanto, na célula de RSD, provavelmente devido ao maior conteúdo de matéria orgânica, há uma formação mais elevada desses compostos do que na célula de RSS. Era esperado o aumento da ABS254 devido à degradação da matéria orgânica. Com o tempo as substâncias orgânicas tendem a se tornar mais complexas, havendo a

formação de substâncias húmicas (WEISHAA *et al*., 2003; ZHANG *et al.* 2013), o que pode serevidenciado pelo aumento do valor da absorbância com o tempo de aterramento, principalmente para o lixiviado oriundo da célula contendo RSD.

4.4.5 – Nitrogênio Amoniacal (N-Amoniacal) e Fósforo Total

Esses parâmetros permitem avaliar o conteúdo de nutrientes presentes nos lixiviados de RSD e RSS.

Os valores médios de **N-amoniacal** observados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 351,2 $mgN.L^{-1}$ (12 -1.639 $mgN.L^{-1}$) para os RSD e 294,4 $mgN.L^{-1}$ (21 - 2121 $mgN.L^{-1}$) para os RSS.

A Figura 55 apresenta os resultados de N-amoniacal nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou que não há diferenças significativas (p-valor maior que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados das duas células são semelhantes.

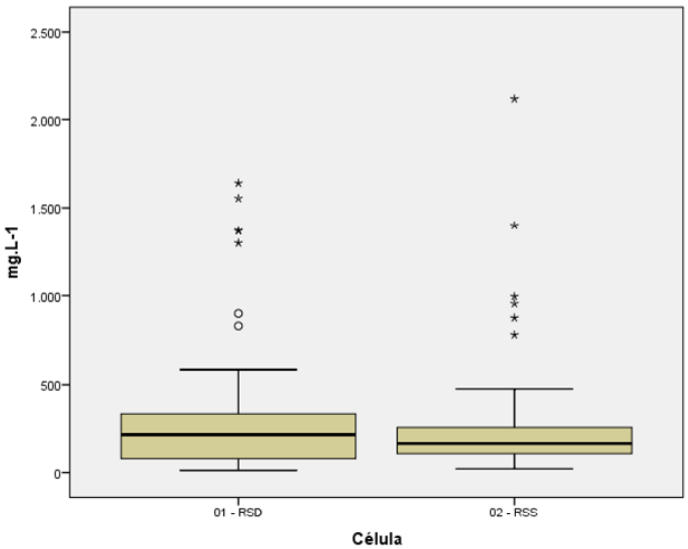


Figura 55 – Box-plotdos resultados de N-amoniacal para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 56 apresenta os resultados de N-amoniacal obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 57 apresenta a distribuição dos resultados de N-amoniacal ao longo do monitoramento, para ambas as

células. A correlação dos resultados de N-Amoniacal com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) por célula revelou correlação positiva significativa na célula de RSD (0,41 e p-valor 0,20), diferentemente da célula de RSS (0,17 e p-valor 11,70). Dessa forma, em RSD houve tendência de aumento gradual dos valores de N-Amoniacal ao longo do tempo monitorado.

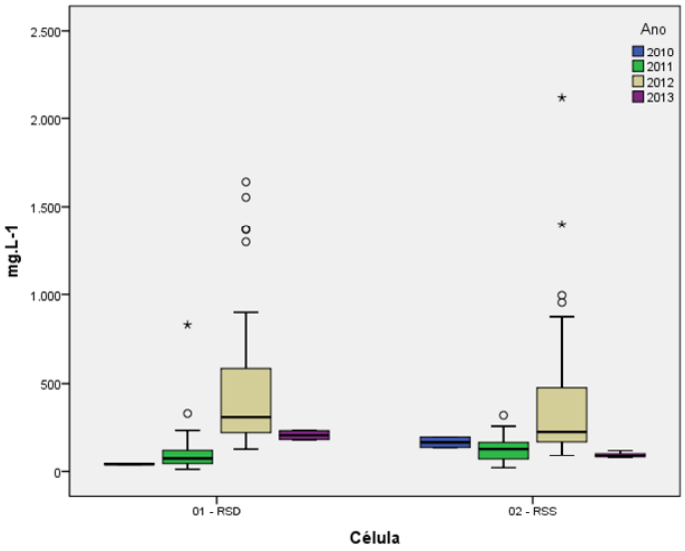


Figura 56 – Box-plot dos resultados de N-Amoniacal para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado monitorado por ano (2010 a 2013).

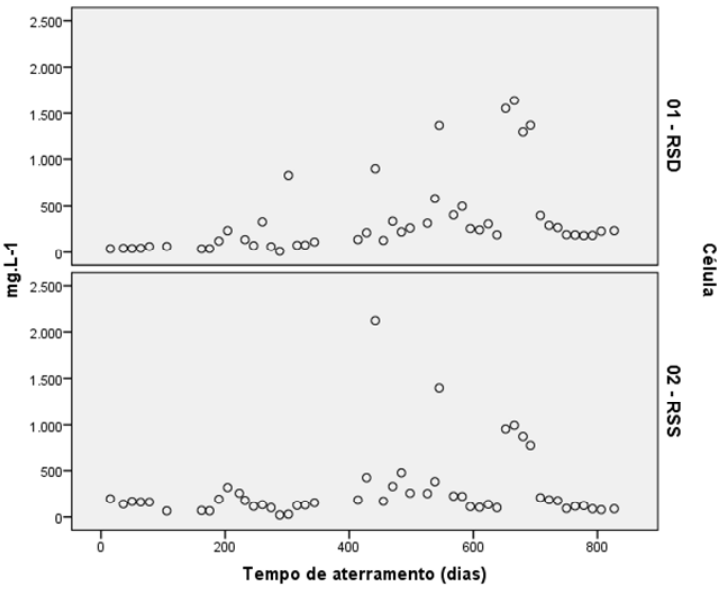


Figura 57 – Distribuição dos resultados de N-Amoniacal para os lixiviados RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Embora tenha havido flutuações de valores durante o monitoramento da célula de RSS, ela não apresentou tendência de aumento ou queda gradual dos valores de N-Amoniacal ao longo

do tempo de aterramento, provavelmente pela quantidade menor de resíduos de origem protéica.

A célula de RSD mostrou tendência de atividade de decomposição de resíduos de proteínas com liberação de N-Amoniacal, mais elevada que a célula de RSS. Essa tendência de elevação gradual dos valores, apresentada pela célula de RSD, é confirmada pelo comportamento preconizado por Pohland e Harper (1986).

É interessante observar que a partir do 400º dia de aterramento, e de maneira mais evidente para os RSD, as concentrações do N-amoniacal começaram a apresentar elevação mais acentuada, em direção à fase metanogênica. A elevação do N-amoniacal indica redução ou esgotamento do oxigênio disponível para ambas as células a partir dos 400 dias de aterramento, tendência de mudança para o ambiente redutor.

De acordo com Kjeldsen *et al.* (2002), os valores de N-Amoniacal não mostram tendência de queda com o tempo, sendo por isso considerado um componente significativo do lixiviado para o longo prazo e, destacam ainda, que não existe mecanismo para sua degradação sob condições metanogênicas, nessas condições apenas por lixiviação pode haver a diminuição das concentrações do N-amoniacal. Acorrespondência com a fase metanogênica mostrou maior compatibilidade com a célula de RSD.

Cabe ressaltar que, devido ao tamanho das células e à inexistência de aporte de resíduos após a montagem das mesmas, ao contrário do que ocorre em aterros onde os depósitos se sucedem, é possível que as fases de degradação dos resíduos nesses ambientes ocorram com tempos diferentes.

Os valores médios de **fósforo total** observados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 0,25 $mgP.L^{-1}$ (0,01 - 1,23 $mgP.L^{-1}$) para os RSD e 0,23 $mgP.L^{-1}$ (0,01 - 1,99 $mgP.L^{-1}$) para os RSS.

A Figura 58 apresenta os resultados de fósforo total nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou que não há diferenças significativas (p-valor maior que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados das duas células são semelhantes.

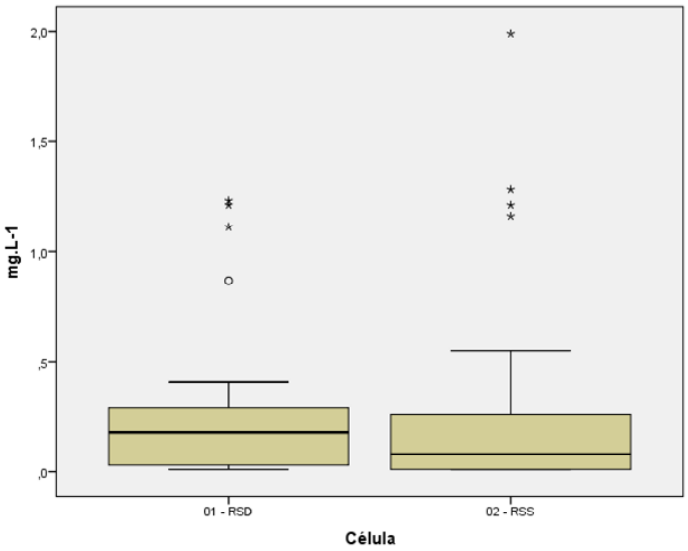


Figura 58 – Box-plot dos resultados de fósforo para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 59 apresenta os resultados de fósforo obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 60 apresenta a distribuição dos resultados de fósforo ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação dos resultados de fósforo com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlações negativas não significativas estatisticamente, nas células de RSD (–0,24 com p-valor 5,80) e de RSS (–0,23 com p-valor 6,90). Deste modo, embora tenha havido flutuações dos valores durante o monitoramento, nenhuma das células apresentou tendência de aumento ou queda gradual dos valores de fósforo ao longo do tempo de aterramento.

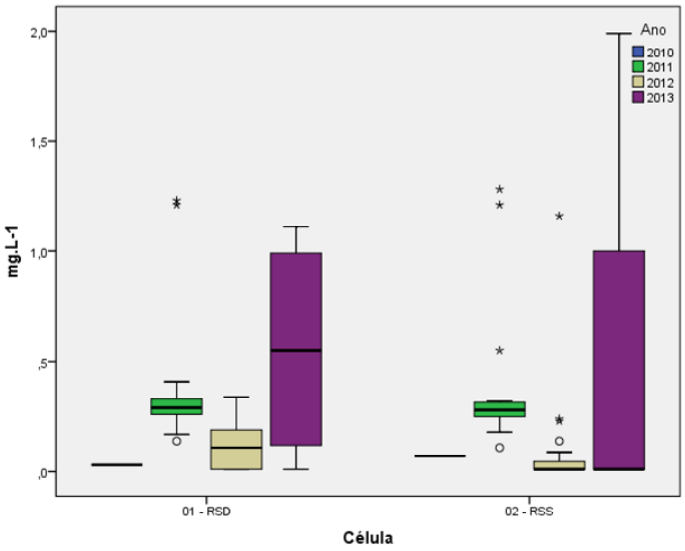


Figura 59 – Box-plotdos resultados de fósforo para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

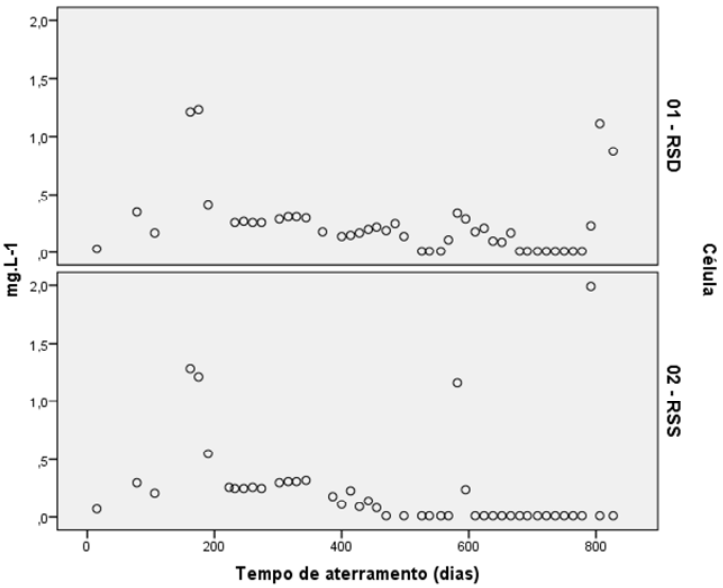


Figura 60 – Distribuição dos resultados de fósforo para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

O fósforo é um nutriente necessário ao crescimento dos micro-organismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 2005; GIORDANO *et al.*, 2011). É provável que a redução da atividade microbiana em ambas as células (mais em RSS que em RSD), como já sugerido anteriormente, tenha gerado uma baixa demanda pelo fósforo.

4.4.6 – Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, Cor Verdadeira, Dureza e Sulfato

Através desses parâmetros é possível avaliar o conteúdo de substâncias dissolvidas nos lixiviados de RSD e RSS.

Os valores médios de **alcalinidade**, observados nos lixiviados para todo o período de monitoramentoforam de 1488 $mgCaCO_3.L^{-1}$ (372 - 4330 $mgCaCO_3.L^{-1}$) para os RSD e 1012 $mgCaCO_3.L^{-1}$ (440 - 3230 $mgCaCO_3.L^{-1}$) para os RSS.

A Figura 61 apresenta os resultadosde alcalinidade nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de do monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado sinaliza que os resultados da célula de RSD foram mais elevados do que os resultados encontrados em RSS.

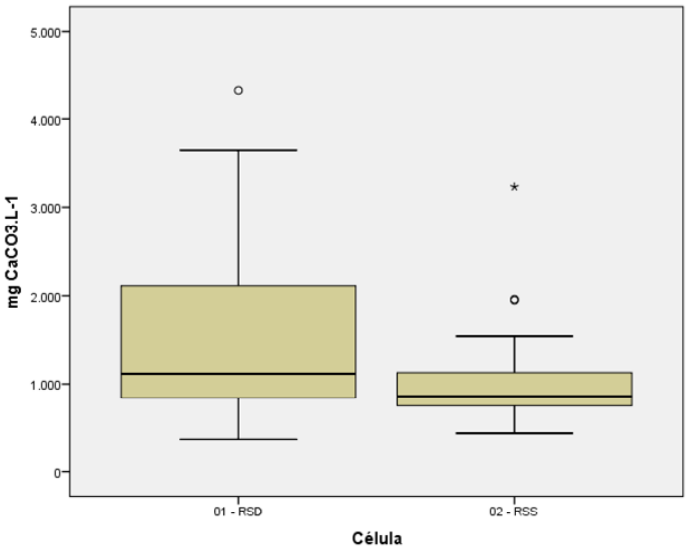


Figura 61 – Box-plot dos resultados de alcalinidade para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 62 apresenta os resultados de alcalinidade obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 63 apresenta a distribuição dos resultados de alcalinidade ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação da alcalinidade com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlação positiva em RSD (0,77 com p-valor 0,00), indicando tendência de elevação ao longo do tempo. Em RSS a correlação foi não significativa (0,05 com p-valor 36,40), indicando não haver tendência de elevação ou queda da alcalinidade no período monitorado.

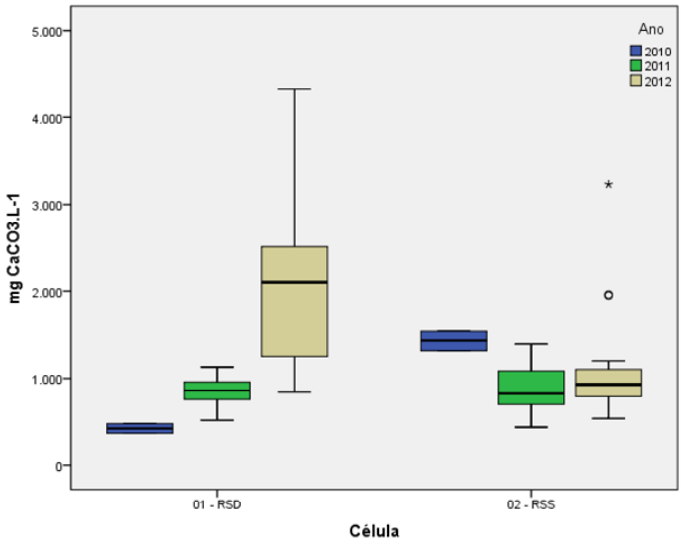


Figura 62 – Box-plot dos resultados de alcalinidade para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2012).

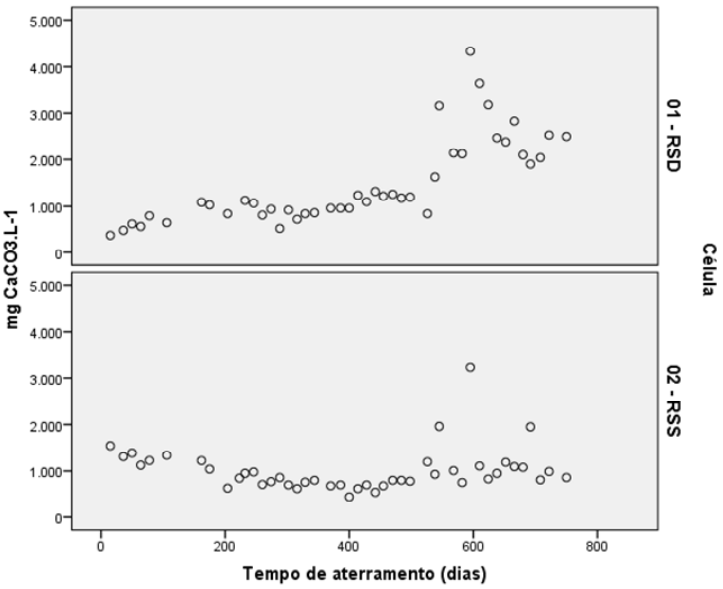


Figura 63 – Distribuição dos resultados de alcalinidade para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Ocomportamento apresentado pela célula de RSD, é confirmado pelo registro de Castillo *et al*. (2007), que observaram no período de um anoa elevação da alcalinidade de 6210 $mg.L^{-1}$ para 10.900 $mg.L^{-1}$.

De acordo com Giordano *et al*. (2011) a alcalinidade é um parâmetro que pode confirmar a metanização do lixiviado, ou seja, quanto mais alta, maior a transformação da matéria orgânica em CO_2 e, conseqüentemente, em bicarbonatos. A alcalinidade é resultado da atividade anaeróbia no aterro. Nesse sentido, a célula RSD apresentou maior atividade que a célula de RSS.

Os valores médios de **cloreto** observados nos lixiviadospara todo o período de monitoramento foram de 716,7 $mg.L^{-1}$ (5 - 1827 $mg.L^{-1}$) para os RSD e 239,7 $mg.L^{-1}$ (4 - 920 $mg.L^{-1}$) para os RSS.

A Figura 64 apresenta os resultados de cloreto nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou diferenças estatisticamente significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados da célulade RSD são mais elevados do que os observados em RSS.

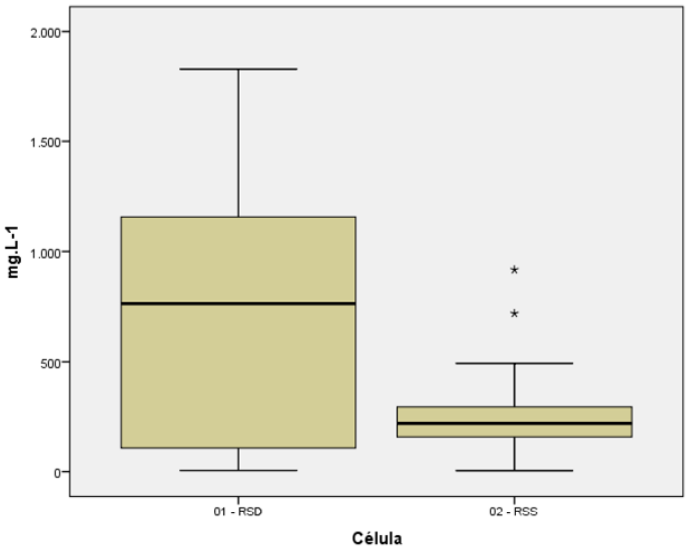


Figura 64 – Box-plotdos resultados de cloreto para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 65 apresenta os resultados decloreto obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 66 apresenta a distribuição dos resultados de cloreto ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação do cloreto com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou que correlação positiva em RSD (0,68 com p-valor 0,00) foi significativa. Em RSS não houve correlação com significância estatística (0,18 com p-valor 10,90). Dessa forma, infere-se que em RSD houve tendência de aumento gradual do cloreto, enquanto que em RSS o cloreto não mostrou tendência de queda ou elevação ao longo do tempo.

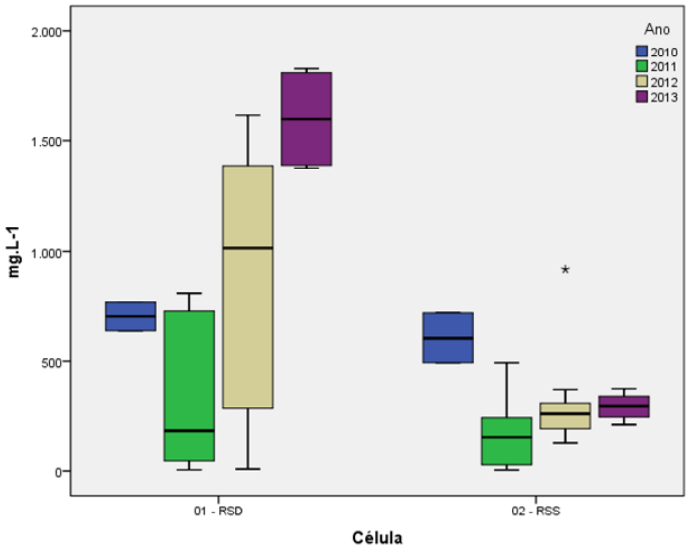


Figura 65 – Box-plot de cloreto para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

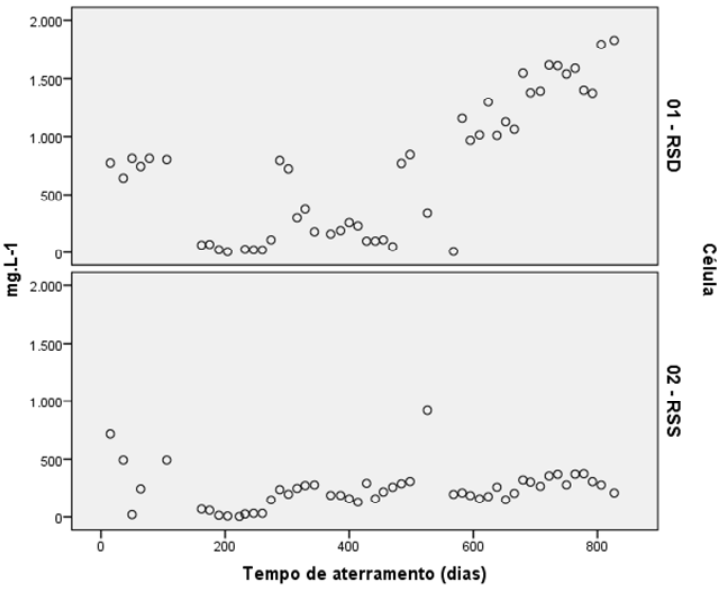


Figura 66 – Distribuição dos resultados de cloreto para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

A evolução temporal do cloreto em RSD é corroborada pelo relato de El-Fadel *et al.*(2002), que destacam que o cloreto é um contaminante conservador, cujas concentrações podem ser aumentadas ao longo do aterramento.

Os valores médios de **condutividade** observados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 4539 $\mu S.cm^{-1}$ (1124 - 8350 $\mu S.cm^{-1}$) para os RSD e 2209 $\mu S.cm^{-1}$ (240 - 8940 $\mu S.cm^{-1}$) para os RSS.

A Figura 67 apresenta os resultados de condutividade nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou que há diferenças significativas (p-valor inferior a 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados da célula de RSD foram mais elevados do que os resultados encontrados na célula de RSS.

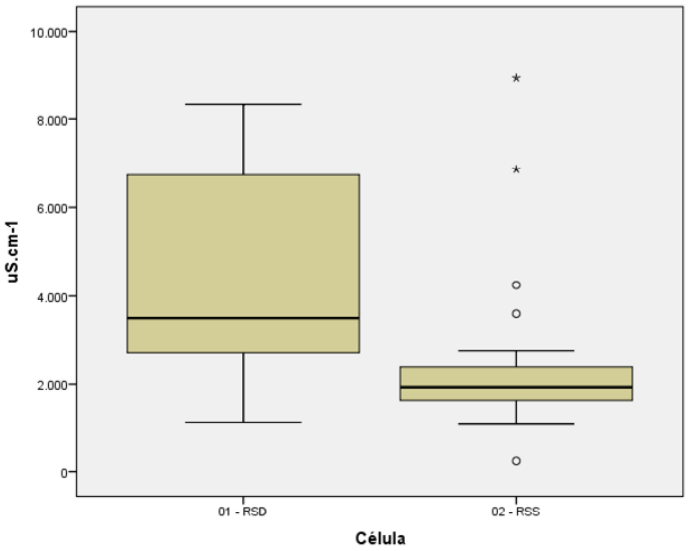


Figura 67 – Box-plot dos resultados de condutividade para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 68 apresenta os resultados de condutividade obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 69 apresenta a distribuição dos resultados de condutividade ao longo do monitoramento, para ambas as células.

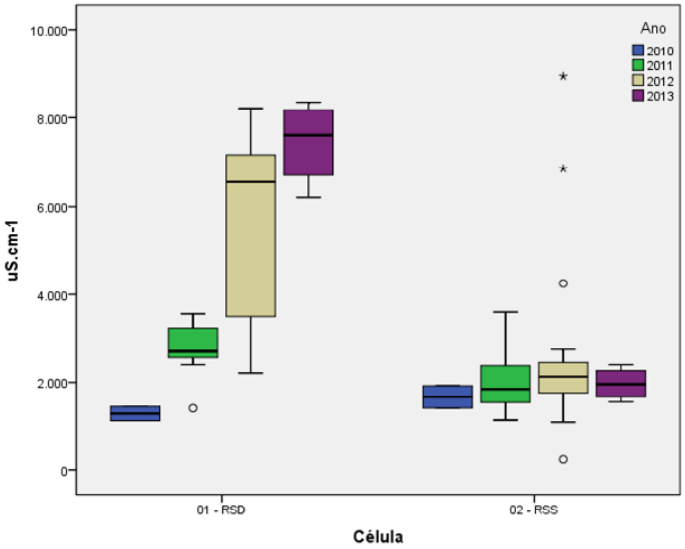


Figura 68 – Box-plot dos resultados de condutividade para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010a 2013).

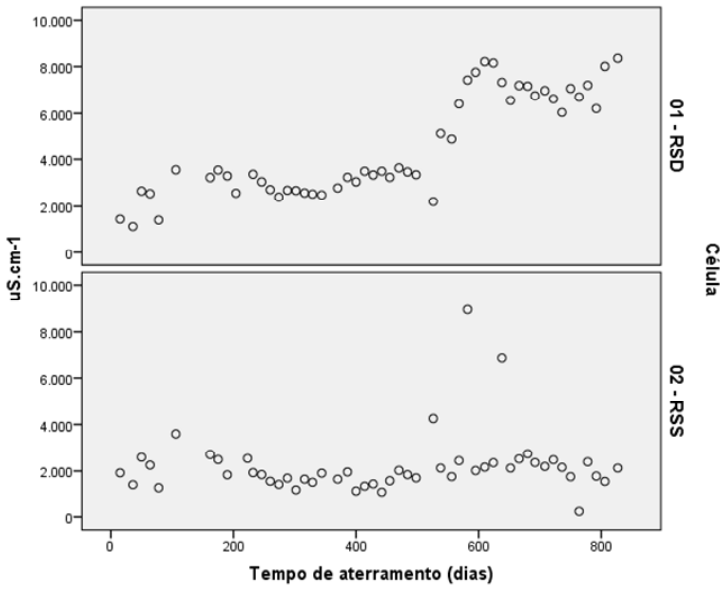


Figura 69 – Distribuição dos resultados de condutividade para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

A correlação da condutividade com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlação positiva significativa em RSD (0,86 com p-valor 0,00) apontando para o aumento gradual dos valores de condutividade ao longo do tempo de monitoramento. Embora tenha havido flutuações dos valores de condutividade em RSS, a correlação (0,12 com p-valor 19,20) não apresentou significância estatística, o que indica que não houve tendência de elevação ou diminuição do parâmetro ao longo do tempo.

Os resultados indicam que em ambos os lixiviados existem quantidades elevadas de sólidos dissolvidos e que em RSD essas quantidades são maiores. Além disso, RSD mostra uma capacidade maior em gerar íons durante o processo de degradação do que a célula de RSS. O comportamento apresentado pela condutividade foi semelhante ao observado para o cloreto, tendo em vista que ambos medem concentração de íons.

Cussiol (2005) observou a elevação dos valores médios de condutividade até os 144 dias de aterramento e em seguida a queda gradual desses valores até os 566 dias de aterramento de RSU. El-Fadel *et al.* (2002) observaram a diminuição da condutividade com o tempo decorrido, nos três lisímetros estudados contendo RSU. Rafizul e Alamgir (2012) observaram que a condutividade de RSU diminui com o período de aterramento. Todos esses achados são contrários aos valores obtidos durante o monitoramento da célula com RSD, mostrando que a atividade biológica na mesma não diminui, mesmo após 827 dias de confinamento.

Os valores médios de **cor verdadeira** observados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 379 mgPtCo.L^{-1} (22 - 1843 mgPtCo.L^{-1}) para os RSD e 218 mgPtCo.L^{-1} (37 - 1203 mgPtCo.L^{-1}) para os RSS.

A Figura 70 apresenta os resultados de cor nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou que há diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados da célula de RSD foram mais elevados do que os resultados encontrados em RSS.

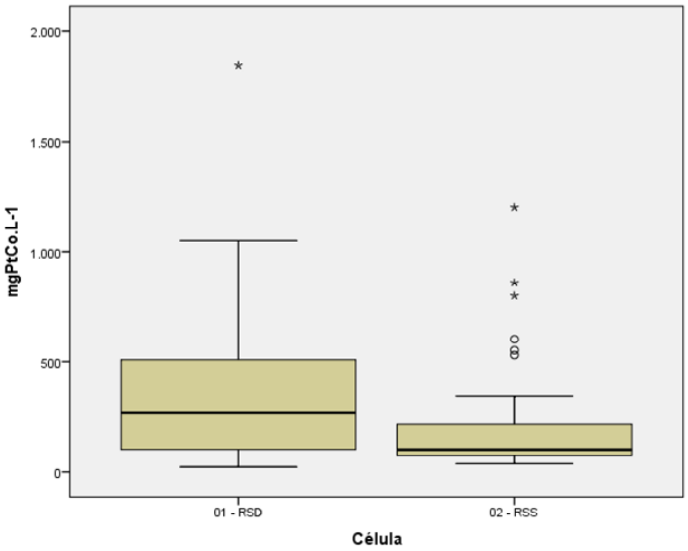


Figura 70 – Box-plot dos resultados de cor para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 71 apresenta os resultados de cor obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 72 apresenta a distribuição dos resultados de cor ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação da cor com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou queacorrelação positiva em RSD (0,56com p-valor 0,00) foi significativa estatisticamente, apontando para o aumento dos valores de cor ao longo do tempo monitorado. Em RSS (–0,09 com p-valor 30,00) não houve correlação com significância estatística.

Os resultados mostram que os lixiviados da célula de RSD, em relação à célula de RSS, apresentam concentrações mais elevadas de substâncias dissolvidas, corantes orgânicos e residuais, compostos húmicos, fúlvicos e outros subprodutos da biodegradação, indicando uma maior atividade de decomposição.

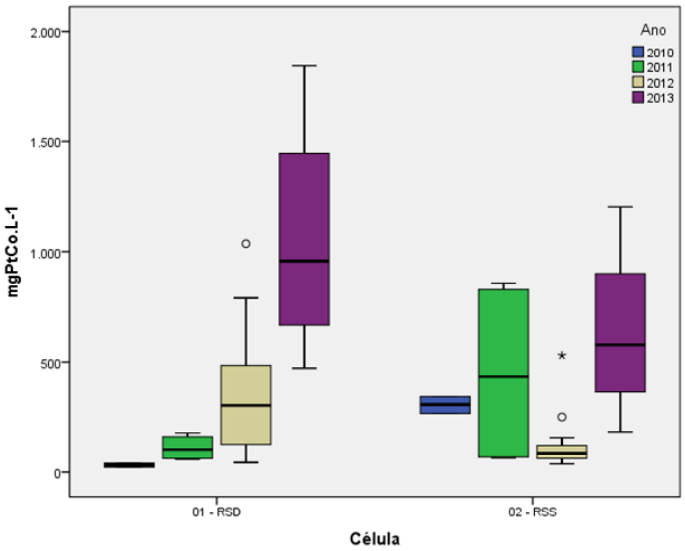


Figura 71 – Box-plot dos resultados de cor para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

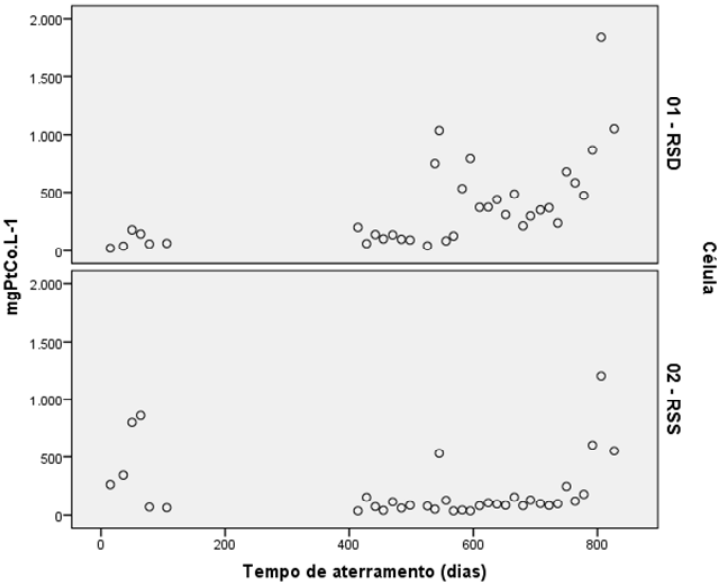


Figura 72 – Distribuição dos resultados de cor para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento**.**

Os valores médios de **dureza** observados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 669,7 $mgCaCO_3.L^{-1}$ (150 - 1368 $mgCaCO_3.L^{-1}$) para os RSD e 364,7 $mgCaCO_3.L^{-1}$ (33 - 1409 $mgCaCO_3.L^{-1}$) para os RSS. A Figura 73 apresenta os resultados de dureza nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado mostraque os resultados da célulade RSD foram mais elevados que RSS.

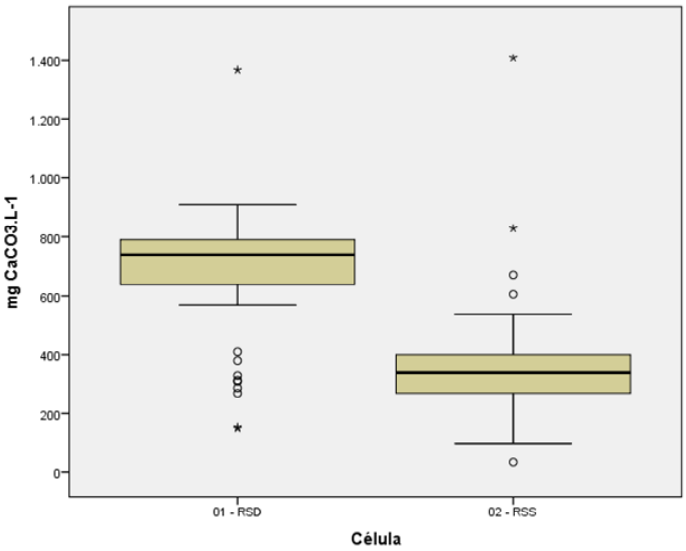


Figura 73 – Box-plot dos resultados de dureza para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 74 apresenta os resultados de dureza obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 75 apresenta a distribuição dos resultados de dureza ao longo do monitoramento, para ambas as células. Acorrelação da dureza com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlações negativas nas células de RSD (–0,33 e p-valor 1,70) e RSS (–0,48 e p-valor 0,20), ambas estatisticamente significativas, apontando para a tendência de queda gradual dos valores de RSD e RSS ao longo do tempo monitorado.

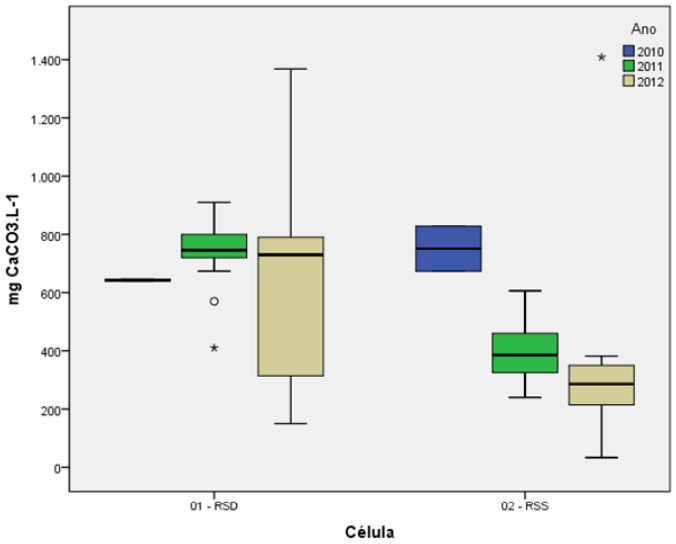


Figura 74 – Box-plot dos resultados de dureza para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2012).

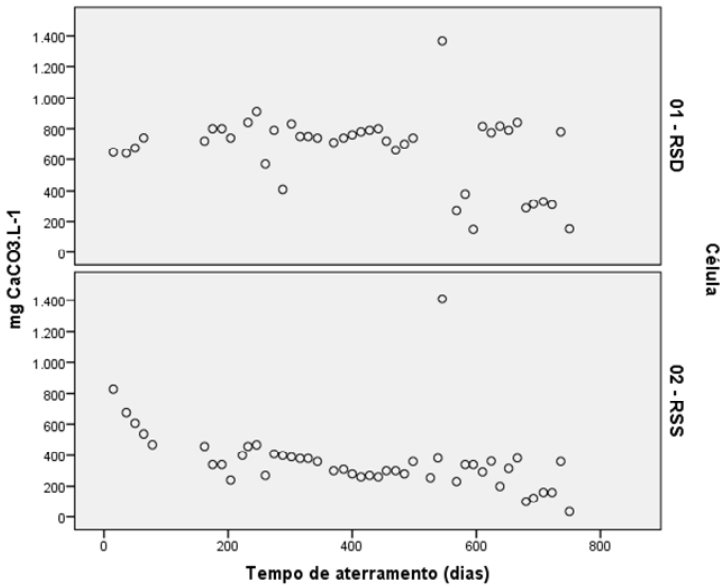


Figura 75 – Distribuição dos resultados da dureza para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento**.**

Os resultados mostram que em ambas as células estão ocorrendo a dissolução de cálcio e magnésio pela degradação de resíduos.

O comportamento apresentado pelas células confirma, com maior evidência para RSS, os registros de Rafizul e Alamgir (2012), que observaram a diminuição acentuada da dureza dos lixiviados de resíduos de RSU confinados em lisímetro, entre 50 e 100 dias de operação, e depois de forma constante ao longo do monitoramento. Os autores atribuem essa diminuição dos valores à redução da formação de complexos com HCO_3^-, de compostos orgânicos dissolvidos e de reações de dissolução envolvendo o $CaCO_3$.

Os valores médios de **sulfato** nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 18,6 $mg.L^{-1}$ (0,4 - 96,2 $mg.L^{-1}$) para os RSD e 9,6 $mg.L^{-1}$ (0,2 - 39,4 $mg.L^{-1}$) para os RSS.

A Figura 76 apresenta os resultados de sulfato nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado sinaliza que os resultados das células de RSD são um pouco mais elevados que RSS.

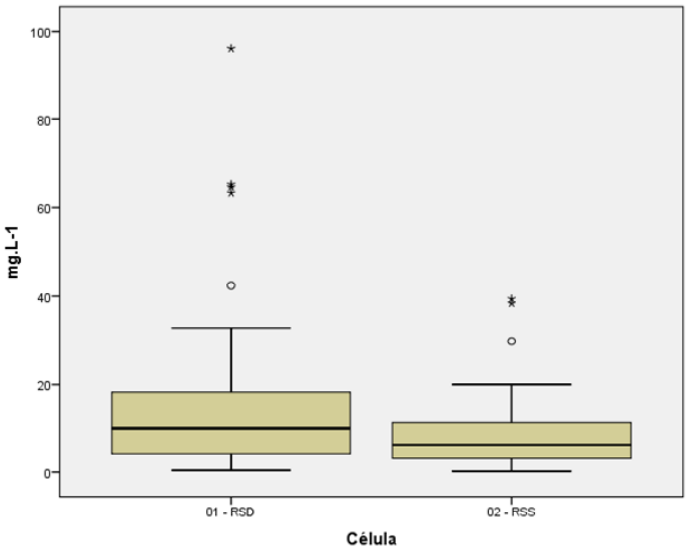


Figura 76 – Box-plot dos resultados de sulfato para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

As análises dos solubilizados das amostras de argila (Tabela 26) revelaram que o sulfato apresentou resultados mais elevados (29,9 $mg.L^{-1}$ a 66,1 $mg.L^{-1}$) que os valores médios dos lixiviados das células, como já apresentado no item 4.3 (Análises do material empregado como base e cobertura das células). Contudo, a comparação entre os valores mínimo e máximo do solubilizadocom os obtidos nos lixiviados, em especial para o lixiviado da célula de RSD que apresentou valor máximo mais elevado (96,2 $mg.L^{-1}$) que o solubilizado (66,1 $mg.L^{-1}$), indica que as concentrações de sulfato presentes na argila não influenciaram, de maneira significativa, nos resultados dos lixiviados.

Se houve alguma influência, as concentrações dos lixiviados permaneceram com valores muito abaixo do que se observa para lixiviados de RSU: valor médio de 607,5 $mg.L^{-1}$ variando de 100 $mg.L^{-1}$ a 1180 $mg.L^{-1}$ (RAFIZUL e ALAMGIR, 2012).

Vale ressaltar que ambas as células foram montadas com o mesmo solo. Portanto, para efeito de comparação do potencial poluidor, se houve alguma influência da argila ela ocorreu para ambas as células.

A Figura 77 apresenta os resultados de sulfato obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 78 apresenta a distribuição dos resultados de sulfato ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação do sulfato com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlação negativa não

significativa no lixiviado de RSD (–0,04 com p-valor 42,20) e correlação negativa significativa em RSS (–0,58 com p-valor 0,00), indicando que em RSD não houve tendência de elevação ou queda no período monitorado, enquanto que RSS apresentou tendência de queda dos valores de sulfato ao longo do tempo.

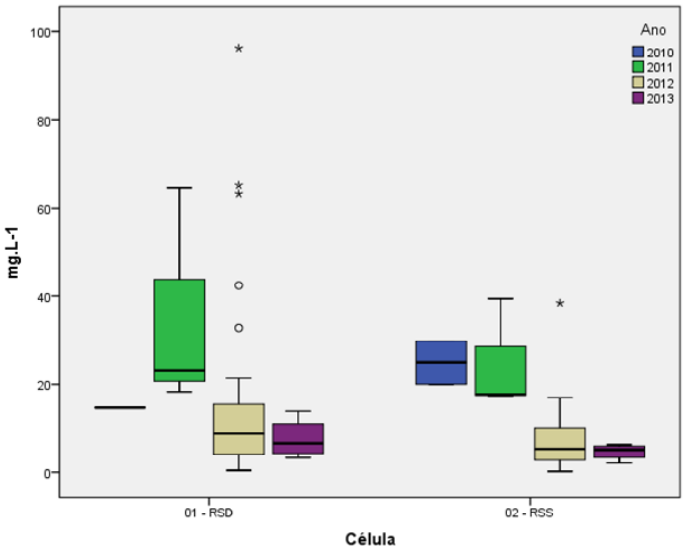


Figura 77 – Box-plot dos resultados de sulfato para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

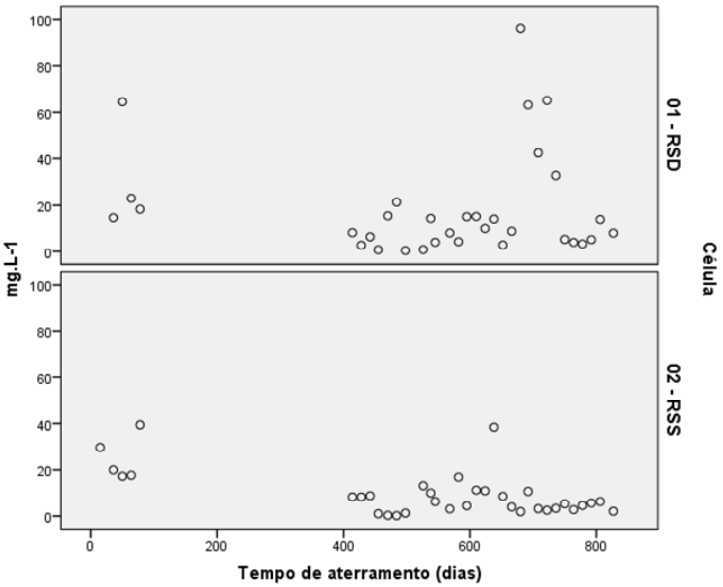


Figura 78 – Distribuição dos resultados de sulfato para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Era esperada a queda gradual das concentrações de sulfato em lixiviado de RSU, ao longo do tempo de aterramento (EL-FADEL *et al.,* 2002), em decorrência da passagem das condições

aeróbias para anaeróbias e da substituição do oxigênio como aceptor de elétron pelos nitratos e em seguida sulfatos que são reduzidos a sulfetos (POHLAND E HARPER, 1986).

Embora a célula de RSS tenha apresentado uma discreta tendência de queda e a célula de RSD mostrado uma elevação abrupta e atípica após os 680 dias de aterramento com subseqüente queda, nenhuma das células mostrou o comportamento esperado, provavelmente pela reduzida atividade microbiana, conforme comentado anteriormente.

4.4.7 – Sólidos Totais (ST), Sólidos Sedimentáveis (SSED) e Turbidez.

Através desses parâmetros é possível avaliar o conteúdo de sólidos e partículas nos lixiviados de RSD e RSS.

Os valores médios de **ST** observados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 2933 $mg.L^{-1}$ (1.700 - 6300 $mg.L^{-1}$) para os RSD e 1233 $mg.L^{-1}$ (94 - 5558 $mg.L^{-1}$) para os RSS.

A Figura 79 apresenta os resultados de ST nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados da célula de RSD foram mais elevados que os encontrados em RSS.

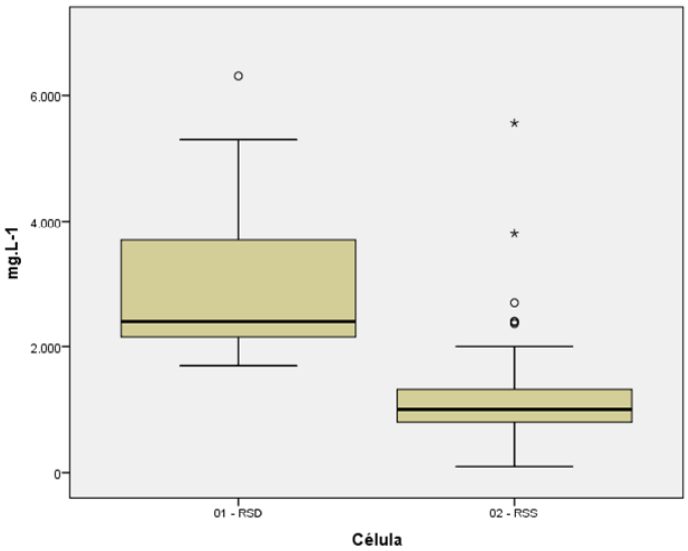


Figura 79 – Box-plot dos resultados de sólidos totais para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 80 apresenta os resultados dos ST obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 81 apresenta a distribuição dos resultados de ST ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação dos ST com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlação positiva significativa (0,65 com p-valor 0,00) na célula de RSD, indicando aumento gradual dos valores de ST ao longo do tempo. A baixa correlação observada em RSS (0,10 com p-valor 25,30) não apresentou significância, não mostrando tendência de elevação ou queda de valores ao longo do tempo.

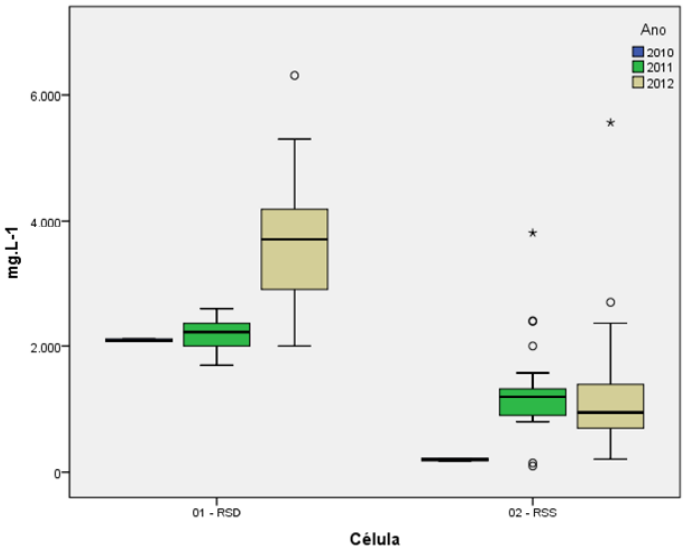


Figura 80 – Box-plot dos resultados de sólidos totais para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2012).

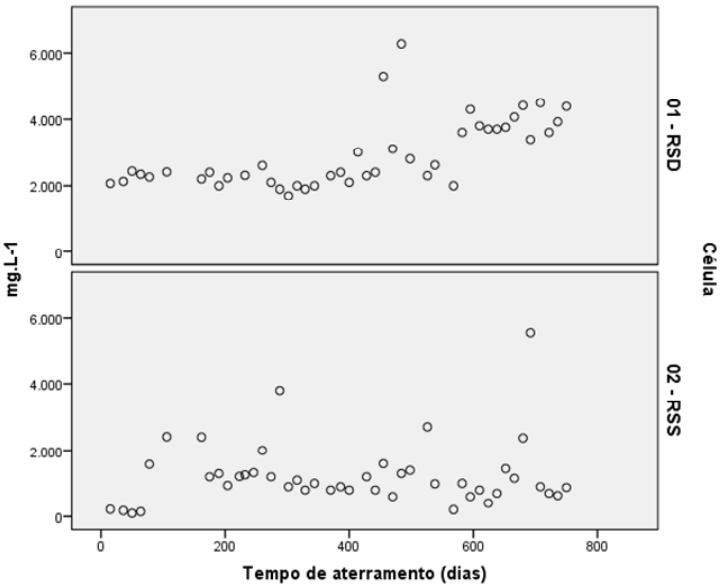


Figura 81 – Distribuição dos resultados de sólidos totais para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Geralmente os sólidos dissolvidos representam a parcela mais significativa dos sólidos totais. A tendência de elevação dos valores de ST na célula de RSD confirma o comportamento observado para a condutividade e cloreto, a partir dos 550 a 600 dias de aterramento, indicando que os sólidos dissolvidos representam a maior contribuição para os ST.

Os valores médios de **SSED** observados nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 0,8 $mL.L^{-1}$ (0,0 - 5,5 $mL.L^{-1}$) para os RSD e 1,7 $mL.L^{-1}$ (0,1 - 5,2 $mL.L^{-1}$) para os RSS.

A Figura 82 apresenta os resultados de SSED nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou diferenças significativas (p-valor menor que 5%). A análise do período monitorado mostraque os resultados da célula de RSS foram mais elevados do que os observados em RSD.

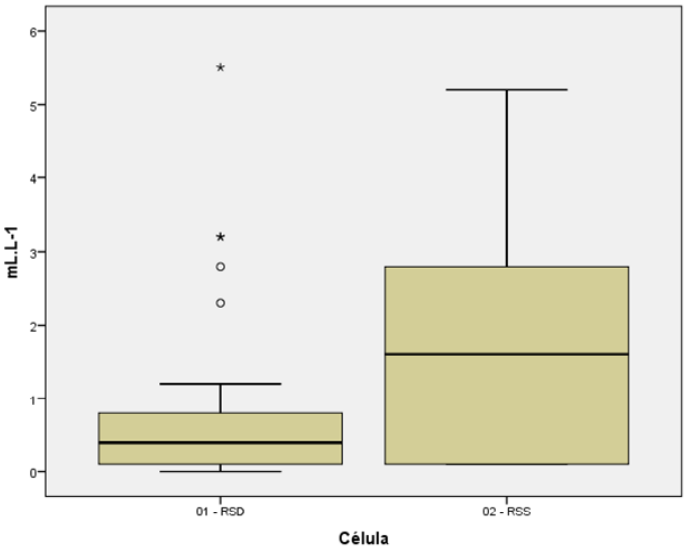


Figura 82 – Box-plot dos resultados de sólidos sedimentáveis para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 83 apresenta os resultados de SSED obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 84 apresenta a distribuição dos resultados de SSED ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação dos SSED com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlações negativas estatisticamente significativas nas células de RSD (–0,56 com p-valor 0,00) e RSS (–0,31 com p-valor 2,70) apontando tendência de queda gradual dos valores de SSED ao longo do tempo, para ambas as células.

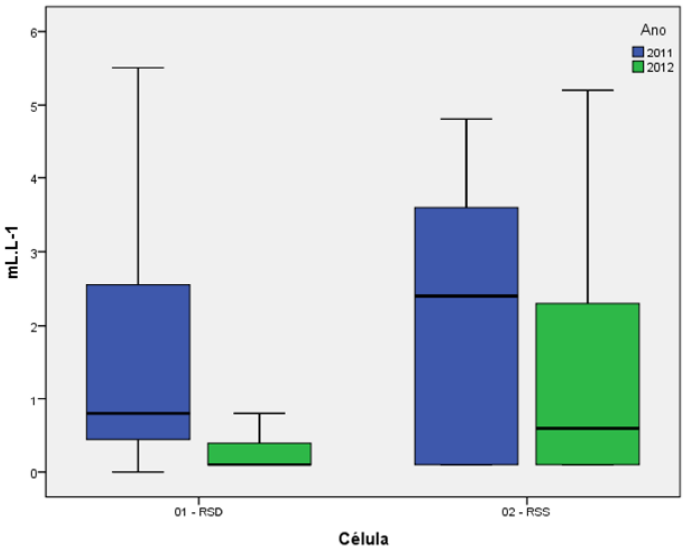


Figura 83 – Box-plotdos resultados de sólidos sedimentáveis para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2011 e 2012).

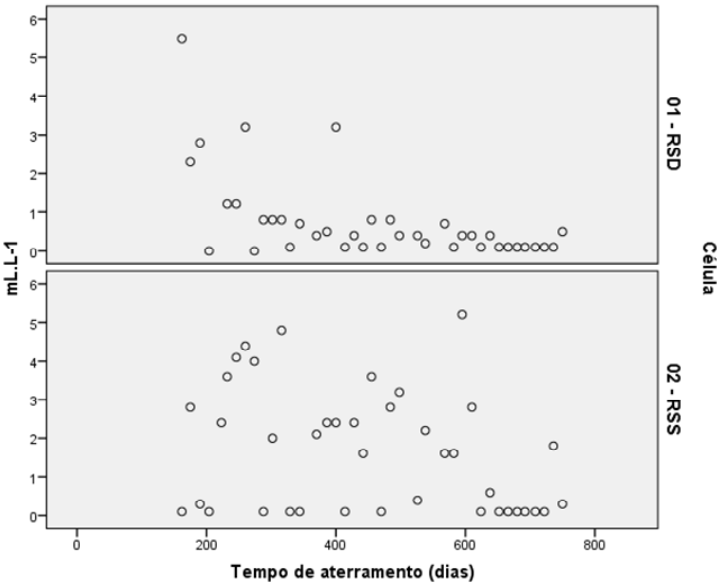


Figura 84 – Distribuição dos resultados dos sólidos sedimentáveis (SSED) para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

A diminuição gradual dos SSED indica o desprendimento de materiais soltose o arraste de partículas sedimentáveis do interior das células, em maior quantidade para RSS que RSD.

Os valores médios de **turbidez** nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 66,3 UNT (6,5 - 268,0 UNT) para os RSD e 61,3 UNT (5,7 - 234,0 UNT) para os RSS.

A Figura 85 apresenta os resultados para turbidez nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos

lixiviados das células de RSD e RSS mostrou quenão há diferenças significativas (p-valor maior que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados das células são semelhantes.

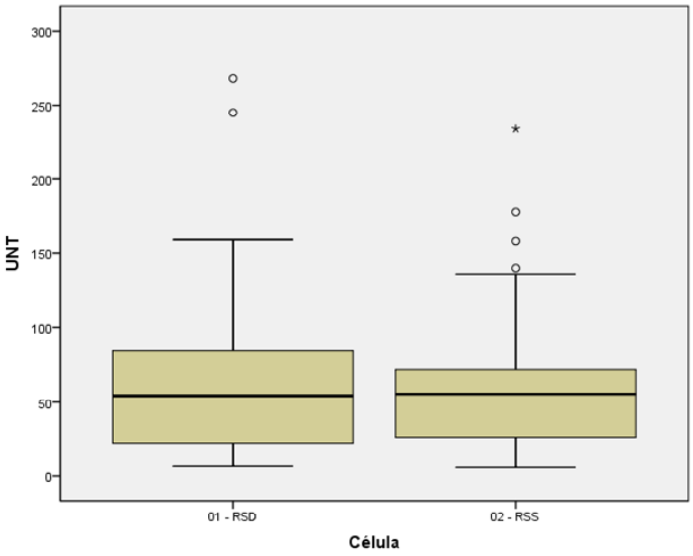


Figura 85 – Box-plot dos resultados de turbidez para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 86 apresenta os resultados para turbidez obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 87 apresenta a distribuição dos resultados para turbidez ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação da turbidez com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlações negativas significativas em RSD (–0,60 com p-valor 0,00) e RSS (–0,62 com p-valor 0,00) indicando tendência de queda gradual dos valores de turbidez ao longo do tempo monitorado para ambas as células.

A diminuição gradual da turbidez, observada em RSD e RSS, indica menores quantidades de sólidos em suspensão e pode estar relacionada com a queda dos valores de sólidos sedimentáveis, também observada para ambas as células. Considerando que a célula funciona como um filtro e que com o tempo, devido à degradação dos resíduos, os poros tornam-se mais fechados, ocorre o aumento da capacidade de filtração ocasionando a passagem de quantidades menores de material em suspensão para o lixiviado.

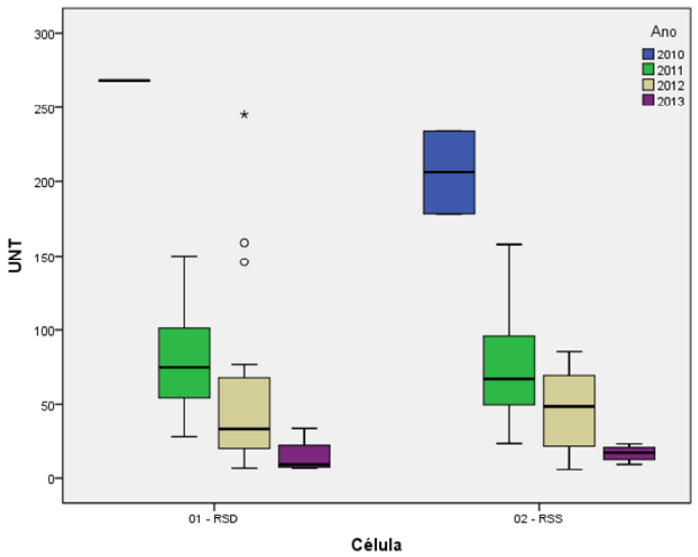


Figura 86 – Box-plot dos resultados de turbidez para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

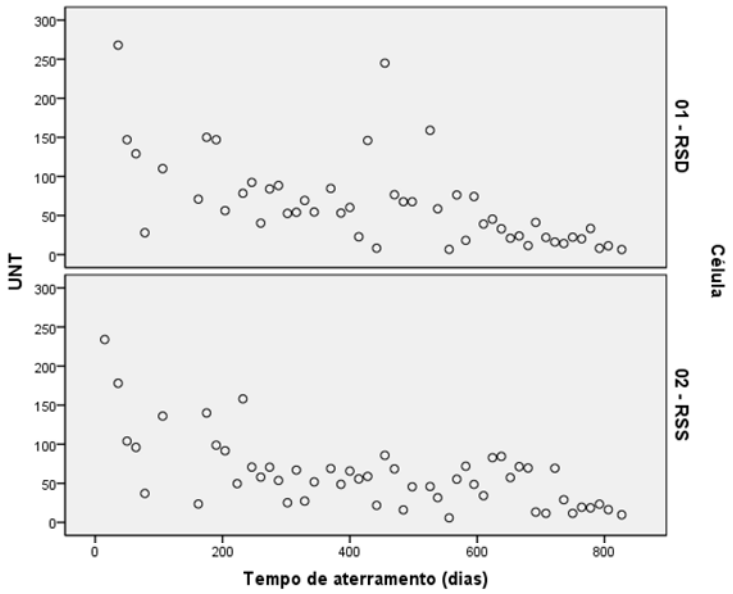


Figura 87 – Distribuição dos resultados de turbidez para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

4.4.8 – Metais (Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Níquel e Zinco)

Os valores para o **cádmio, chumbo, cobre e níquel** nos lixiviados das duas células, para todo o período de monitoramento, foram de < 0,01 $mg.L^{-1}$ a 0,01$mg.L^{-1}$.

A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS, para cada metal, mostrou que não há diferenças significativas (p-valor maior que 5%), indicando que elas são semelhantes para os quatro metais em questão.

As correlações dos resultados de cádmio, chumbo, cobree níquel coma variável tempo de aterramento (evolução temporal) não mostraram significância estatística, indicando que não houve tendência de elevação ou queda dos valores desses metais para ambas as células.

Os valores médios para o **cromo** nos lixiviados das duas células foram de 0,03 $mg.L^{-1}$ (< 0,01 - 0,2 $mg.L^{-1}$).

A Figura 88 apresenta os resultados para ocromo nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou que não houve diferenças significativas (p-valor maior que 5%). A análise do período monitorado sinaliza que os resultados das duas células são semelhantes.

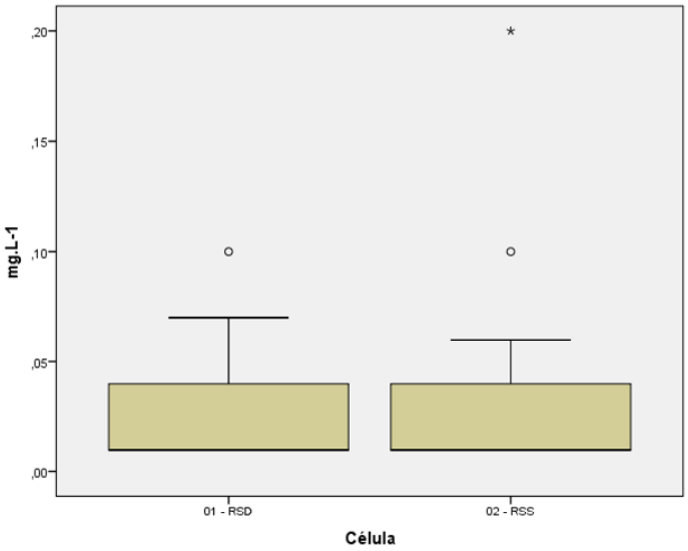


Figura 88 – Box-plot dos resultados de cromo para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 89 apresenta os resultados para o cromo obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 90 apresenta a distribuição dos resultados para o cromo ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação dos resultados do cromo com a variável tempo de aterramento (variação temporal) mostrou que as correlações positivas observadas em RSD (0,52 com p-valor 0,00) e em RSS (0,27 com p-valor 3,20) foram significativas. Dessa forma, as duas células indicam tendência de aumento dos resultados de cromo ao longo do tempo monitorado.

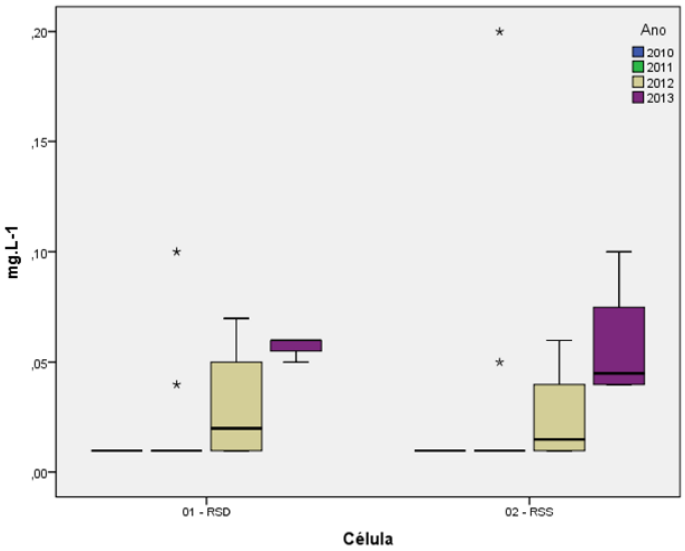


Figura 89 – Box-plot dos resultados de cromo para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

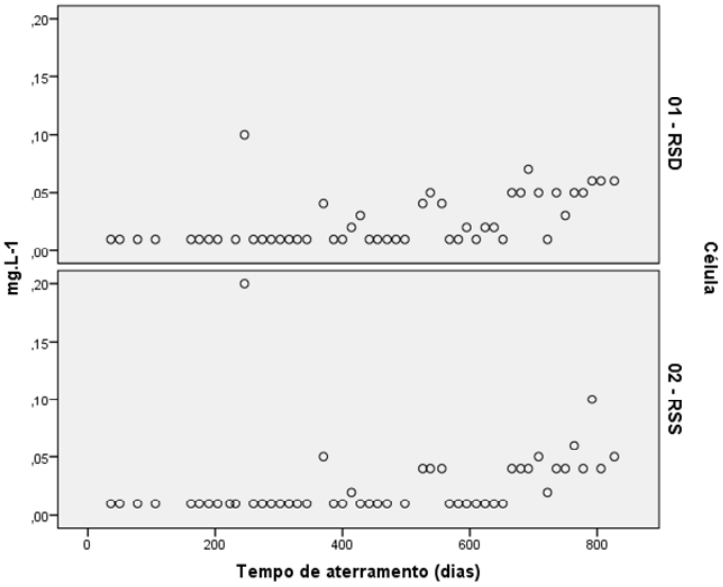


Figura 90 – Distribuição dos resultados de cromo para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Os valores médios de **ferro total** nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 6,42 mg.L^{-1} (0,20 - 28,00 mg.L^{-1}) para os RSD e 8,01 mg.L^{-1} (0,62 - 22,50 mg.L^{-1}) para os RSS.

A Figura 91 apresenta os resultados para o ferro nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou que não há diferenças significativas (p-valor

maior que 5%). A análise do período monitorado mostra que os resultados das células são semelhantes.

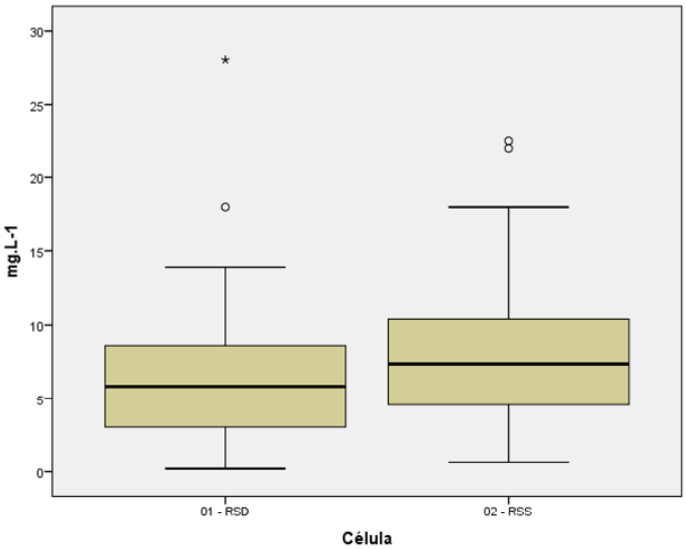


Figura 91 – Box-plot dos resultados de ferro para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 92 apresenta os resultados para o ferro obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 93 apresenta a distribuição dos resultados para o ferro ao longo do monitoramento, para ambas as células.

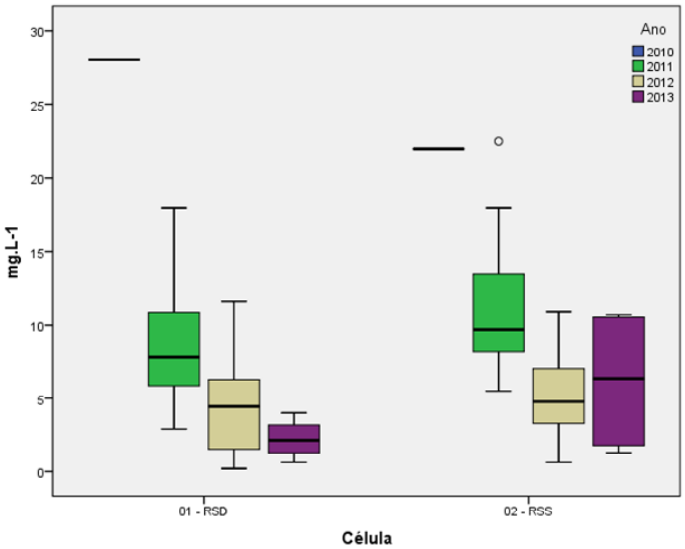


Figura 92 – Box-plot dos resultados de ferro para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

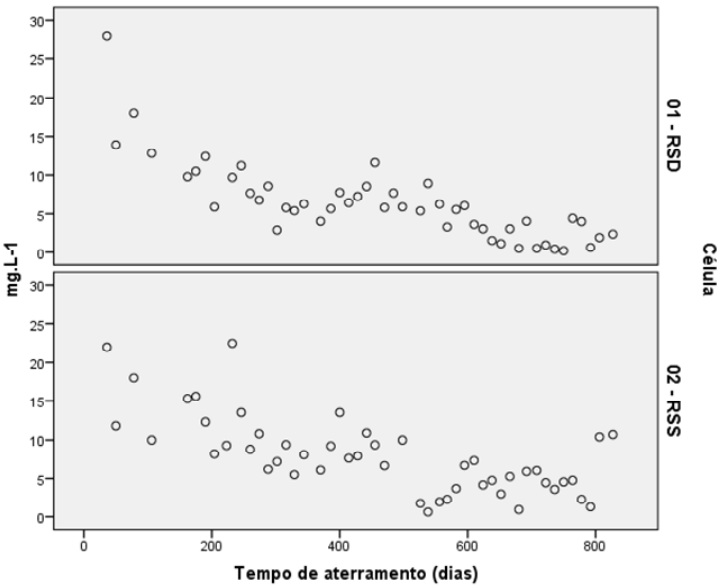


Figura 93 – Distribuição dos resultados de ferro para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

A correlação dos resultados de ferro com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) mostrou correlações negativas significativas em RSD (–0,79 com p-valor 0,00) e RSS (–0,69 com p-valor 0,00), sinalizando tendência de diminuição gradual das concentrações de ferro ao longo do tempo, para ambas as células.

A queda gradual das concentrações de ferro ao longo do tempo de aterramento, observadas em ambas as células, também é relatada por Farquhar (1989) *apud* El-Fadel *et al.*(2002), para lixiviados de RSU de aterros norte americanos e canadense, e por Kjeldsen *et al.*(2002) para lixiviados de RSU de aterros na Alemanha.

A correspondência das concentrações de ferro observada nos lixiviados de RSD e RSS está compatível com as faixas indicadas para a fase metanogênica.

Os valores médios de **zinco** nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 0,07 $mg.L^{-1}$ (0,01 - 0,60 $mg.L^{-1}$) para os RSD e 0,15 $mg.L^{-1}$ (0,01 - 3,40 $mg.L^{-1}$) para os RSS.

A Figura 94 apresenta os resultados para o zinco nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados das células de RSD e RSS mostrou que não há diferenças significativas (p-valor

maior que 5%). A análise do período monitorado sinaliza que os resultados das duas células são semelhantes.

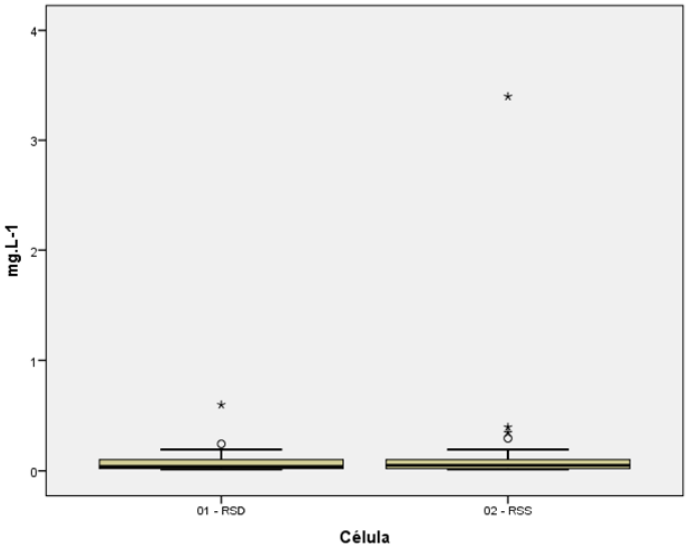


Figura 94 – Box-plot dos resultados de zinco para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 95 apresenta os resultados para o zinco obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 96 apresenta a distribuição dos resultados para o zinco ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação do zinco com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlações negativas significativas em RSD (–0,46 com p-valor 0,10) e RSS (–0,29 com p-valor 1,70), sinalizando tendência de queda dos resultadosao longo do tempo, para ambas as células. Vale ressaltar que esses resultados situam-se em uma faixa de valores onde as pequenas alterações não podem ser detectadas visualmente (nos gráficos), certamente dificultadas pelo ponto extremo em RSS, próximo aos 100 dias de confinamento.

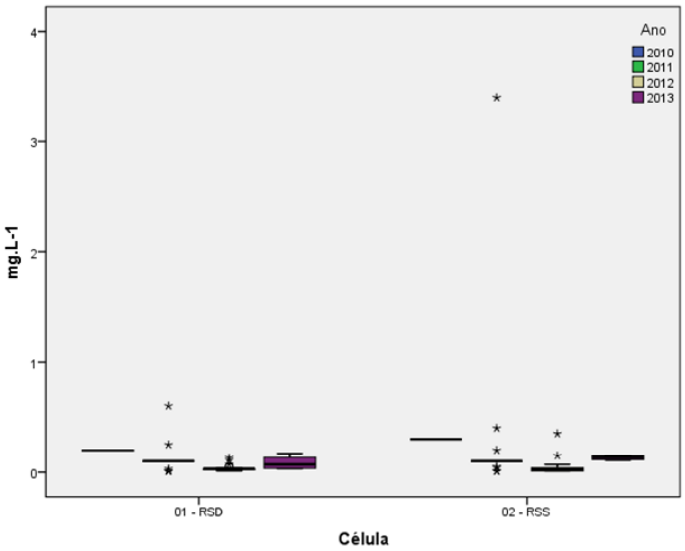


Figura 95 – Box-plot dos resultados de zinco para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2013).

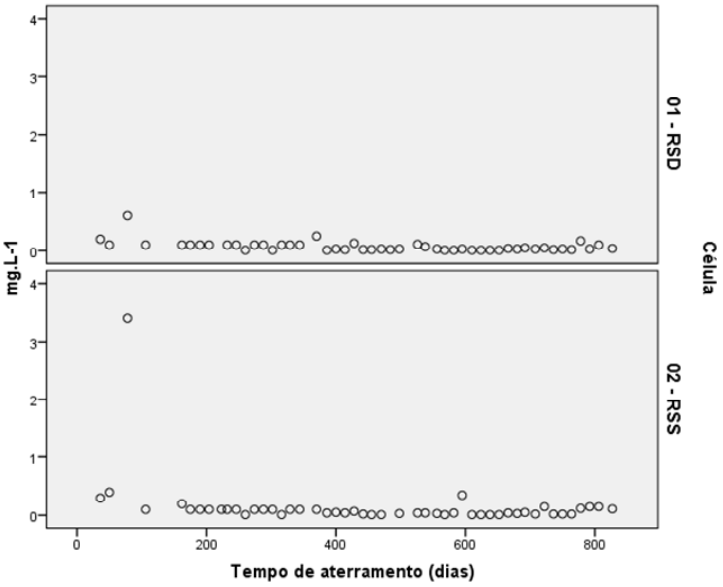


Figura 96 – Distribuição dos resultados de zinco para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento**.**

A queda gradual das concentrações de zinco ao longo do tempo de aterramento, observadas em ambas as células, também é relatada por Farquhar (1989) *apud* El-Fadel *et al.*(2002), para lixiviados de RSU de aterros norte americanos e canadense, por Kjeldsen *et al.*(2002) para lixiviados de RSU de aterros na Alemanha e por Castrillón *et al*. (2002) para lixiviados de RSU de aterro na Espanha.

A correspondência das concentrações de zinco observadas nos lixiviados de RSD e RSS, está compatível com as faixas indicadas para a fase metanogênica.

4.4.9 – Toxicidade aguda para *Danio rerio*

Os ensaios de toxicidade foram expressos em CL 50 (concentração que causa efeito letal em 50% dos organismos) e em Unidade de Toxicidade (UT).

Os valores médios de **CL 50** nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 40,36% (8,80 - 89,00 %) para os RSD e 29,63% (17,68 - 50,00 %) para os RSS. Esses resultados se mostraram menos tóxicos que os observados por Sisino (2002) e Telles (2010), quando avaliaram, respectivamente, os lixivados dos aterros de Gramacho (CL 50 de 2,24%) e de Nova Iguaçu (CL 50 igual a 3,99%).

A Figura 97 apresenta os resultados de toxicidade CL 50 nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados de RSD e RSS mostrou que não há diferenças significativas (p-valor maior que 5%). A análise do período monitorado sinaliza que os resultados das células de RSD e RSS são semelhantes.

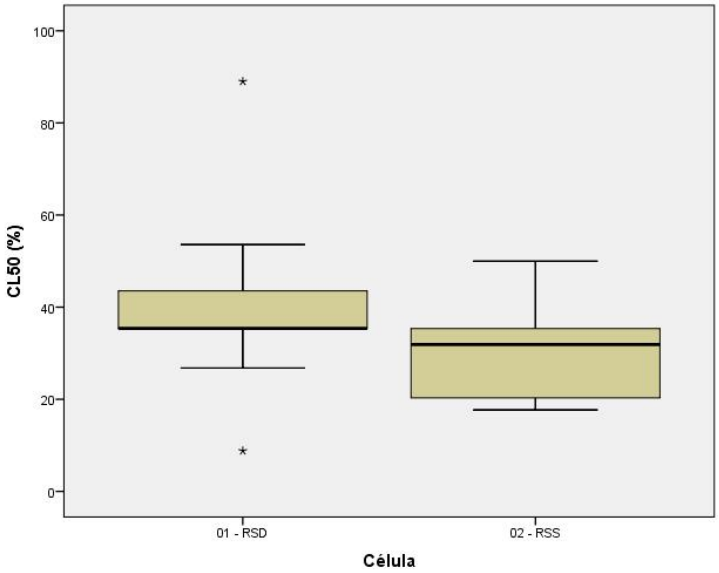


Figura 97 – Box-plot dos resultados de toxicidade CL 50 para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 98 apresenta os resultados de toxicidade CL 50 obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 99 apresenta a distribuição dos resultados de toxicidade CL 50 ao longo do monitoramento, para ambas as

células. A correlação da toxicidade CL 50 com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlação negativa em RSD (–0,63 com p-valor 3,50) e correlação positiva em RSS (0,61 e p-valor 3,00) ambas com significância estatística. Dessa forma, RSD mostra tendência de queda dos valores de toxicidade CL 50 ao longo do tempo enquanto que RSS mostra tendência de elevação, indicando aumento dos níveis de toxicidade em RSD ao contrário de RSS.

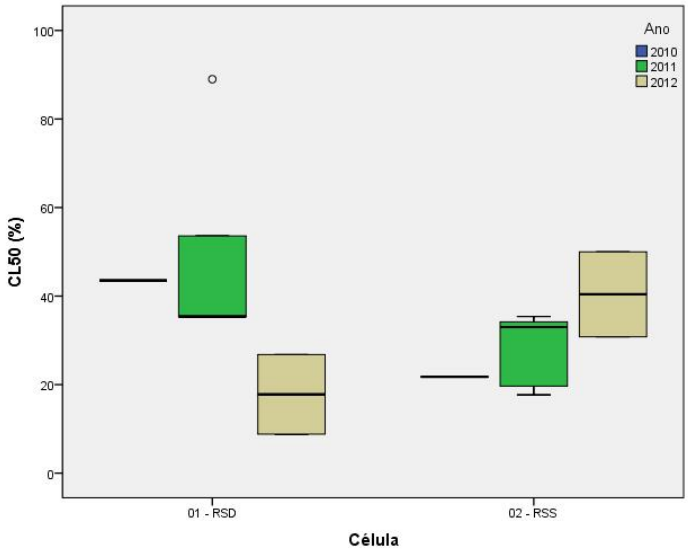


Figura 98 – Box-plot dos resultados de toxicidade CL 50 os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2010 a 2012).

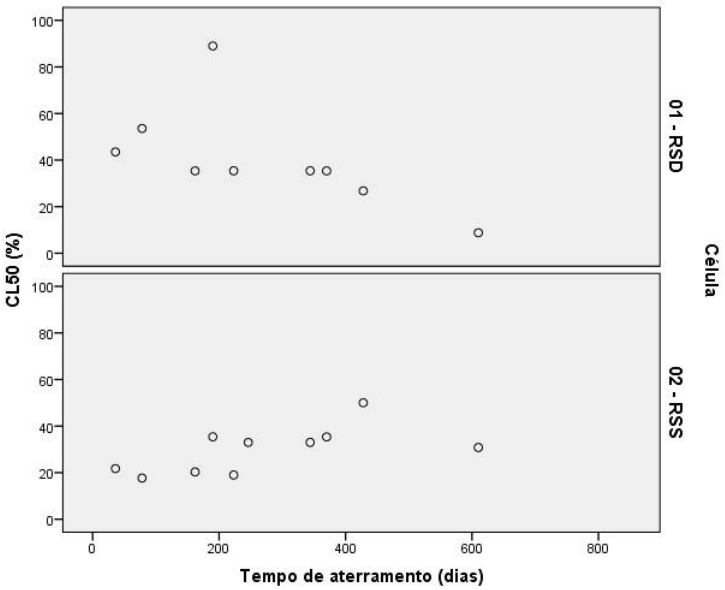


Figura 99 – Distribuição dos resultados da toxicidade CL 50 para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

Os valores médios de **UT** nos lixiviados para todo o período de monitoramento foram de 5,6 UT (2,0 – 32,0 UT) para os RSD e 5,6 (4,0 - 8,0 UT) para os RSS. Esses valores estão abaixo dos registrados por Ferreira *et al*. (2009), para o lixiviado do aterro do Morro do Céu (Niterói – RJ) que apresentou fator de toxicidade variando entre 32 e 64 UT.

A Figura 100 apresenta os resultados de toxicidade UT nos lixiviados das células de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento, na forma de box-plot. A comparação entre as médias dos lixiviados de RSD e RSS mostrou que não houve diferenças significativas. A análise do período monitorado mostra que os resultados das células de RSD e RSS são semelhantes.

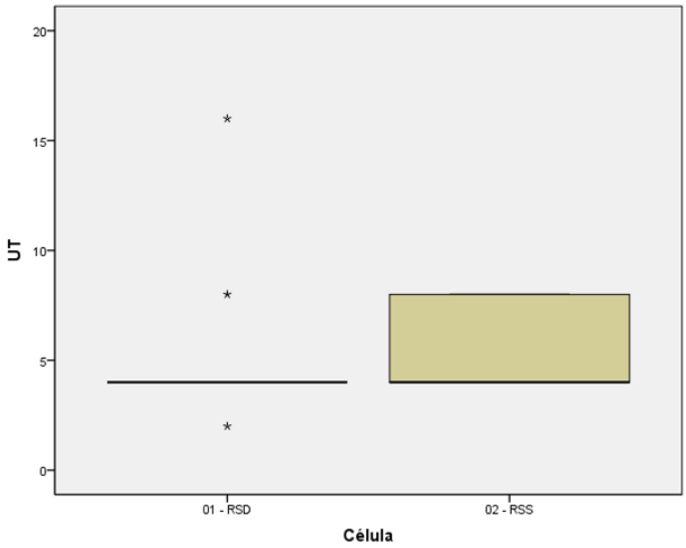


Figura 100 – Box-plot dos resultados de UT para os lixiviados das células de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento.

A Figura 101 apresenta os resultados para UT obtidos durante o período de monitoramento, agrupados por ano, na forma de box-plot. A Figura 102 apresenta a distribuição dos resultados para UT ao longo do monitoramento, para ambas as células. A correlação da UT com a variável tempo de aterramento (evolução temporal) revelou correlação positiva em RSD (0,79 com p-valor 0,60) e a correlação negativa em RSS (–0,72 com p-valor 1,00), ambas com significância estatística. Dessa forma, a célula de RSD aponta para aumento gradual enquanto a célula de RSS mostra tendência de diminuição dos valores de UT ao longo do tempo monitorado. Essas correlações eram esperadas devido à função inversa com a CL 50.

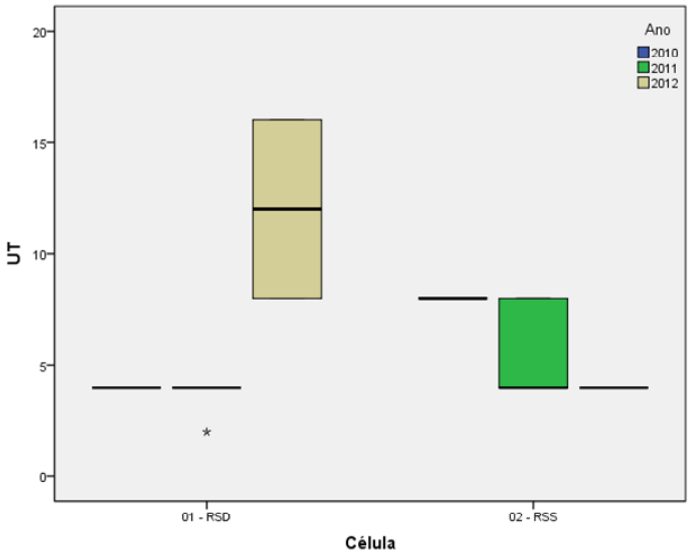


Figura 101 – Box-plot dos resultados de UT para os lixiviados de RSD e RSS durante todo o período de monitoramento, agrupado por ano (2012 e 2013).

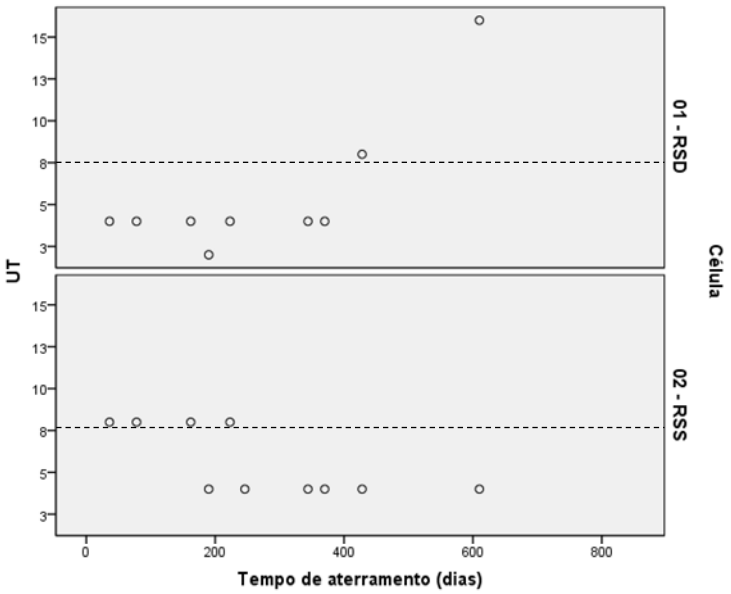


Figura 102 – Distribuição dos resultados de UT para os lixiviados de RSD e RSS ao longo do tempo de monitoramento.

As linhas horizontais em UT 8, na Figura 102, indicam o limite máximo estabelecido pela NT-213 R4 do Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (INEA) para lançamento de efluentes em qualquer corpo receptor.

4.5 – Comparação entre as concentrações dos parâmetros físico-químicos dos lixiviados de RSD e RSS com as concentrações desses parâmetros em lixiviados relatados na literatura.

Para realizar as comparações foram construídas tabelas, mostradas a seguir, contendo as concentrações obtidas no presente estudo e os valores citados em literatura. As tabelas incluem os parâmetros para os quais foi possível estabelecer comparações. As referências que constam das bases das tabelas foram compiladas do capítulo revisão bibliográfica (item 2.7).

A Tabela 25 compara as concentrações dos parâmetros físico-químicos nos lixiviados de RSD e RSS com as observadas em lixiviados de RSU, gerados fora do Brasil. Excetuando os valores máximos das faixas referentes ao N-amoniacal, que foram mais elevados, os demais resultados encontrados para RSD e RSS foram inferiores aos valores relatados na literatura.

Tabela 25 – Resultados das análises físico-químicas dos lixiviados de RSD e RSS do presente estudo e de lixiviados de RSU, gerados fora do Brasil (valores médios (mín-máx)).

Parâmetro	Lixiviado		Procedência dos lixiviados			
	RSD	RSS	1	2	3	4
Alcalinidade ($mgCaCO_3.L^{-1}$)	1.488 372 - 4.330	1.012 440 - 3.230		6.210 - 10.900		2.930 980 - 10.000
Cloreto ($mg.L^{-1}$)	716,7 5 - 1.827	239,7 4 - 920	1.000 - 3.000	1.932		2.395 1.155 - 3.572
Condutividade ($\mu S.cm^{-1}$)	4.539 1.124 - 8.350	2.209 240 - 8.940				9.380 3.100 - 24.700
DBO ($mg.L^{-1}$)	32,4 1,1 - 163,1	18 0,6 - 51,5	10.000 - 25.000	2.670 - 7.782	2.414	
DQO ($mg.L^{-1}$)	415,5 154 - 1.091	207,7 100 - 1.106	15.000 - 40.000	3.950 - 14.000	5.132	8.425 800 - 60.000
Dureza ($mgCaCO_3.L^{-1}$)	670 150 - 1.368	365 33 - 1.409		920 - 2.420		
Fósforo Total ($mg.L^{-1}$)	0,25 0,01 - 1,23	0,23 0,01 - 1,99	100 - 300			
N-Amoniacal ($mg.L^{-1}$)	351 12 - 1.639	294 21 - 2.121	500 - 1500		1.485	547,57 127,9 - 901,3
pH	7 5,8 - 7,7	6,8 5,6 - 7,4	3 - 6	7,6 - 8,3	8,3	7,25 6,14 - 8,02
ST ($mg.L^{-1}$)	2.933 1.700 - 6.300	1.233 94 - 5.558		11.684 - 16.230		13.244 5.019 - 36.690
Sulfato ($mg.L^{-1}$)	18,6 0,4 - 96,2	9,6 0,2 - 39,4	500 - 2.000			607,5 100 - 1.180

1 - Aterros sanitários norte americanos e canadense, com até 5 anos de operação. Fonte: Farquhar (1989) apud El-Fadel *et al* . (2002).
2 - Aterro sanitário em Bucaramanga (Colômbia). Fonte: Castillo *et al* . (2007).
3 - Aterro sanitário em Astúrias (Espanha), valores para o 3º ano de operação. Fonte: Castrillón *et al* . (2010).
4 - Lisímetro em Bangladesh (Índia). Fonte: Raziful & Alamgir (2012).

A Tabela 26 compara as concentrações dos parâmetros físico-químicos nos lixiviados de RSD e RSS com as observadas em lixiviados de RSU, gerados no Brasil. Os resultados encontrados para RSD e RSS foram inferiores aos valores relatados na literatura.

Tabela 26 – Resultados das análises físico-químicas dos lixiviados de RSD e RSS do presente estudo e de lixiviados de RSU gerados no Brasil (valores médios (mín-máx)).

Parâmetro	Lixiviado		Procedência dos lixiviados					
	RSD	RSS	1	2	3	4	5	6
Alcalinidade ($mgCaCO_3.L^{-1}$)	1.488 372 - 4.330	1.012 440 - 3.230	4.277 2.588 - 5.395	10.770 8.200 - 14.291	6.115 672 - 8.272	7.443 4.976 - 11.593	5.129 538-13.048	750 - 7.100
Cloreto ($mg.L^{-1}$)	716,7 5 - 1.827	239,7 4 - 920			2.314 1.432 - 3.857	469 227 - 760		
Condutividade ($\mu S.cm^{-1}$)	4.539 1.124 - 8.350	2.209 240 - 8.940						2.950 -17.660
Cor (UC)	379 22 - 1.843	218 37 - 1.203				10.089 6.115 - 14.535		
DBO ($mg.L^{-1}$)	32,4 1,1 - 163,1	18 0,6 - 51,5	11 42 - 248	3.638 3.516 - 3.760	24 20 - 260	2.788 467 - 4.526	3.211 115-7.830	< 20 - 8.600
DQO ($mg.L^{-1}$)	415,5 154 - 1.091	207,7 100 - 1.106	2.151 931 - 3.306	12.924 3.244 - 25.478	2.739 1.504 - 3.089	4.750 2.102 - 8.416	5.141 9.777-1.319	190 - 22.300
Dureza ($mgCaCO_3.L^{-1}$)	670 150 - 1.368	365 33 - 1.409						95 - 2.100
Fósforo Total ($mg.L^{-1}$)	0,25 0,01 - 1,23	0,23 0,01 - 1,99	2 1 - 3	23 23 - 23	23 11 - 38	11,3 0,6 - 22	14 1,9 - 26	0,1 -15
N-Amoniacal ($mg.L^{-1}$)	351 12 - 1.639	294 21 - 2.121	713 373 - 1.110	2.004 1.024 - 2.738	1.175 527 - 1.716	1.492 697 - 2.052	826 136-1.803	0,4 - 1.800
pH	7 5,8 - 7,7	6,8 5,6 - 7,4		8,3 8 - 8,6	8,2 8,0 - 8,6	8,2 7,6 - 8,7	7,8 7 - 9	7,2 - 8,6
ST (mg.L-1)	2.933 1.700 - 6.300	1.233 94 - 5.558	7.669 4.010 - 18.845	16.331 11.852 - 25.490		10.396 7.760 - 11.651		500 - 3.000
Sulfato (mg.L-1)	18,6 0,4 - 96,2	9,6 0,2 - 39,4						0 - 1.800
Turbidez (UNT)	66,3 6,5 - 268	61,3 5,7 - 234				206 135 - 288		

1 - Aterro Londrina (PR). Fonte: Gomes (2009)
2 - Aterro João Pessoa PB). Fonte: Gomes (2009)
3 - Aterro Sanitário Belo Horizonte (MG). Fonte: Gomes (2009)
4 - Aterro da Muribeca. Pernambuco. Fonte: Gomes (2009)
5 - Aterro Sanitário São Leopoldo (RS). Fonte: Gomes (2009)
6 - Aterros brasileiros (BR). Fonte: Souto e Povinelli (2007)

A Tabela 27 compara as concentrações dos parâmetros físico-químicos nos lixiviados de RSD e RSS com as observadas em lixiviados de RSU, gerados no Rio de Janeiro (valores médios (mín-máx)). Os resultados situaram-se abaixo dos valores citados na literatura, excetuando os sólidos sedimentáveis (SSED), que mostraram valores mais elevados, e a Dureza, cujos valores foram semelhantes.

Tabela 27 – Resultados das análises físico-químicas dos lixiviados de RSD e RSS do presente estudo e de lixiviados de RSU gerados no Rio de Janeiro (valores médios (mín-máx)).

Parâmetro	Lixiviado		Procedência dos lixiviados							
	RSD	RSS	Gramacho			Gericinó		Seropédica	M. do Céu	Piraí
			1	2	3	4	5	6	7	8
ABS 254	3,43	1,2					11,4			
(cm^{-1})	0,8 - 8,7	0,7 - 2,7			23,03 - 30,25					
Alcalinidade	1.488	1.012	403	5.613		5.613	5.506	8.680	4.618	2.895
($mgCaCO_3.L^{-1}$)	372 - 4.330	440 - 3.230	28 - 1.030	1.350 - 9.000	8.115 - 9.627	1.350 - 9.000			477 - 6.105	1.878 - 2.895
Cloreto	716,7	239,7	4.701	3.822		2.639	2.563	2.991	2.103	1.362
($mg.L^{-1}$)	5 - 1.827	4 - 920	2655 - 5.757	1.904 - 5.804	3.812 - 4.321	767 - 24.001			247 - 5.727	950 - 1.362
Condutividade	4.539	2.209	16.500							7.200
($\mu S.cm^{-1}$)	1.124 - 8.350	240 - 8.940	10.200 - 19.500					1.691 - 1.792		6.200 - 8.500
Cor	379	218		4.129		2.275			3.158	
(UC)	22 - 1.843	37 - 1.203		240 - 13.400		302 - 9.500			1.148 - 6.200	
COT	207,5	110,5					616,4			
($mg.L^{-1}$)	35,8 - 634,2	17,1 - 555,5			835 - 1.428					
DBO	32,4	18	277	361		279		313	600	74
($mg.L^{-1}$)	1,1 - 163,1	0,6 - 51,5	47 - 677	118 - 857	40,4 - 62,6	106 - 2.491			158 - 1.414	27 - 100
DQO	415,5	207,7	2.155	2.767		1.623	1.863		1.525	768
($mg.L^{-1}$)	154 - 1.091	100 - 1.106	1219 - 2.800	804 - 4.255	2.151 - 3.946	672 - 2.592		1.757 - 2.205	685 - 1.913	309 - 2.435
Dureza	670	365								
($mgCaCO_3.L^{-1}$)	150 - 1.368	33 - 1.409						90 - 1.120		
Fósforo Total	0,25	0,23		35		22		4,46	5,5	
($mg.L^{-1}$)	0,01 - 1,23	0,01 - 1,99		14 - 60		3 - 49			5,4 - 5,5	
N-Amoniacal	351	294	371	1.547		1.323	1.181		903	323
($mg.L^{-1}$)	12 - 1.639	21 - 2.121	12 - 667	76 - 3.565	1.221 - 9.413	68 - 2.630		846 - 1.373	677 - 1.394	205 - 373
pH	7	6,8	6,4	8,1		8,1	8,36		7,8	7,3
	5,8 - 7,7	5,6 - 7,4	4,9 - 8,3	7,4 - 9,0	8,03 - 8,18	7,4 - 9,0		7 - 8,2	7,5 - 8,5	6,9 - 8,2
SSED	0,8	1,7						< 0,01		
($mL.L^{-1}$)	0 - 5,5	0,1 - 5,2								
ST	2.933	1.233		11.878		5.872		11.100	5.945	
($mg.L^{-1}$)	1.700 - 6.300	94 - 5.558		440 - 18.160	12.533 - 26.033	397 - 8.370			4.612 - 7.726	
Turbidez	66,3	61,3		208		104			44	
(UNT)	6,5 - 268	5,7 - 234		19 - 605	41,0 - 46,4	9 - 251		30,3 - 33,3	2 - 390	

1 - Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ). Fonte: Mannarino *et al.* (2006)
2 - Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ). Fonte: Gomes (2009)
3 - Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ). Fonte: Maia (2012)
4 – Aterro de Gericinó (RJ). Fonte: Gomes (2009)
5 - Aterro de Gericinó (RJ). Fonte: Maia (2012)
6 - Aterro Sanitário de Seropédica (RJ). Fonte: Comlurb (2012)
7 - Aterro Morro do Céu (RJ). Fonte: Gomes *et al* . (2009)
8 - Aterro de Piraí (RJ). Fonte: Mannarino *et al.* (2006)

A Tabela 28 compara os resultados das análises físico-químicas dos lixiviados de RSD e RSS das células experimentais com os resultados obtidos por Cussiol (2005), para lixiviados de RSU, RSS e da codisposição de RSU+RSS (1%), utilizando reatores com capacidade de 1000 litros. Os resultados de condutividade e DQO foram inferiores nos lixiviados de RSD e RSS das células. Certamente esses resultados não foram influenciados pelas quantidades de matéria orgânicados resíduos de origem domiciliar presentes nas células e nos reatores, pois as análises gravimétricas desses resíduos apresentaram resultados próximos quanto aos percentuais de matéria orgânica, ou seja, 52,62% neste estudo e 52,92% como observado por Cussiol (2005). Os baixos valores de condutividade e DQO, encontrados nos lixiviados do presente estudo, podem ser decorrentes da drenagem diária das células com reflexos na redução da atividade microbiana de decomposição dos resíduos, como já mencionado anteriormente.

Os valores de pH mostraram diferenças que refletem as condições de cada experimento. Neste estudo, o pH variou entre a fase ácida e valores um pouco acima do neutro. Os resultados

obtidos por Cussiol (2005) mostraram que todos resíduos, confinados nos reatores, se mantiveram em pH ácido.

Tabela 28 – Resultados das análises físico-químicas dos lixiviados de RSD e RSS do presente estudoe dos resultados obtidos por Cussiol (2005) para lixivados de RSU, RSS e dacodisposição de RSU+RSS (1%) (valores médios (mín-máx)).

Parâmetro	Lixiviado		Cussiol (2005)		
	RSD	RSS	RSU	RSS	RSU+RSS(1%)
Condutividade ($\mu S.cm^{-1}$)	4.539 1.124 - 8.350	2.209 240 - 8.940	10.400	8.500	10.400
DQO ($mg.L^{-1}$)	415,5 154 - 1.091	207,7 100 - 1.106	48.000	44.000	49.000
pH	7 5,8 - 7,7	6,8 5,6 - 7,4	5,8	5,6	5,7

A Tabela 29 compara os resultados das análises de metais (Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Níquel e Zinco) dos lixiviados de RSD e RSS com os observados para lixivados de RSU, de diversas procedências. Com exceção das faixas (mín-máx) de valores para o Cádmio, que foram mais elevadas em RSD e RSS do que a citada por Kjeldsen *et al.* (2002), os demais resultados apresentados pelos metais, foram inferiores aos valores médios ou situaram-se nas faixas citadas nas referências.

Tabela 29 – Resultados das análises de metais (Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Níquel e Zinco) nos lixiviados de RSD e RSS do presente estudo e nos lixivados de RSU, de diversas procedências.

Parâmetro	Lixiviado		Procedência dos lixiviados					
	RSD	RSS	1	2	3	4	5	6
Cádmio ($mg.L^{-1}$)	0,01 < 0,01 a 0,01	0,01 < 0,01 a 0,01	0,0002 - 0,006		0.02		0 - 0,065	< 0,01
Chumbo (mg L-1)	0,01 < 0,01 a 0,01	0,01 < 0,01 a 0,01	< 0,005 - 0,188		0.23	< 0,01 - 1,5	0,01 - 0,5	< 0,01
Cobre ($mg.L^{-1}$)	0,01 < 0,01 a 0,01	0,01 < 0,01 a 0,01	0,002 - 0,07		0.04	0,2 - 2,9	0,05 - 0,15	< 0,01 - 0,10
Cromo ($mg.L^{-1}$)	0,03 < 0,01 - 0,2	0,03 < 0,01 - 0,2	0,002 - 0,08		0.27	< 0,01 - 3,5	0,03 - 0,5	< 0,01 - 0,09
Ferro ($mg.L^{-1}$)	6,42 0,2 - 28	8,01 0,62 - 22,5		500 - 1.500		15 - 220	0,01 - 65	1,98 - 5
Níquel ($mg.L^{-1}$)	0,01 < 0,01 a 0,01	0,01 < 0,01 a 0,01	0,028 - 0,13				0,03 - 0,5	< 0,01 - 0,06
Zinco ($mg.L^{-1}$)	0,07 0,01 - 0,6	0,15 0,01 -3,40	0,085 - 5,31	100 - 200	0.49		0,01 - 1,5	0,30 - 0,32

1- Cinco aterros sanitários na Dinamarca. Fonte: Adaptado de Kjeldsen et al. (2002)
2 - Aterros sanitários norte americanos e canadense, com até 5 anos de operação. Fonte: Farquhar (1989) apud El-Fadel et al. (2002).
3 - Aterro sanitário em Astúrias (Espanha), valores para o 3º ano de operação. Fonte: Castrillón et al. (2010).
4 - Aterro da Muribeca. Pernambuco. Fonte: Oliveira e Jucá (2004).
5 - Aterros brasileiros. Fonte: Souto e Povinelli (2007).
6 - Aterro Sanitário de Seropédica (RJ). Fonte: Comlurb (2012).

As baixas concentrações obtidas com as análises de metais nos lixiviados confirmam os relatos de Kjeldsen *et al.* (2002), que após efetuarem a revisão da literatura sobre lixiviados, observaram concentrações médias de metais pesados bastante reduzidas e consideraram improcedentes a maior parte das afirmativas com relação à existência de altos valores de metais pesados em lixiviados. Os referidos autores concluem que os metais pesados no lixiviado não são a maior preocupação.

As Tabelas mostraram que os lixiviados das células de RSD e RSS, durante o período de monitoramento (827 dias), apresentaram concentrações mais baixas, para a quase totalidade dos parâmetros avaliados neste estudo, do que freqüentemente se observa em lixiviados de resíduos sólidos provenientes de aterros e células experimentais (ou reatores). É possível que os baixos valores tenham sido influenciados pela não introdução de resíduos de maneira continuada e pela drenagem freqüente dos lixiviados das células.

4.6 – Correlações entre os parâmetros monitorados.

O Apêndice 6 apresenta as matrizes de correlações entre as variáveis (parâmetros físico-químicos e de toxicidade) para as células RSD e RSS.

As correlações situadas nas faixas de 0,7 a 1 e –0,7 a –1 indicam forte correlação, de 0,3 a 0,7 e de –0,3 a –0,7 indicam correlação moderada e inferior a 0,3 e –0,3 correlação fraca. (WONNACOTT e RONALD, 1990; HAIR *et al*., 2005; FONSECA e MARTINS, 2006; PINHEIRO *et al*., 2008).

As matrizes mostram que houve mais correlações em RSD que em RSS. Essa constatação indica que os resíduos na célula contendo RSD se comportaram de maneira mais próxima do que se espera para um processo de decomposição de resíduosaterrados. Entre as correlações vale destacar,em RSD, as seguintes correlações significativas:

– Absorbância mostrou correlações positivas (fortes) com DBO (0,77) e DQO (0,83). São parâmetros de avaliação da matéria orgânica no lixiviado. Esses parâmetros indicam, respectivamente, a presença (e não a concentração) de compostos orgânicos, aromáticos e outros compostos que absorvem a luz no comprimento de onda (UV 254nm), e as concentrações de matéria orgânica no lixiviado;

- As concentrações de matéria orgânica foram influenciadas pelo volume de lixiviado (L), que mostrou correlações positivas (fortes) com absorbância (0,82) e DBO (0,73) e moderada com DQO (0,57);

- No tocante à dinâmica do processo de degradação da matéria orgânica, o pH mostrou correlação positiva (entre moderada e fraca) apenas com DQO (0,30), indicando baixa correlação entre os parâmetros indicadores do processo;

- pH mostrou correlação negativa forte com o ferro (–0,73). Segundo Andrade (2002), com o tempo de aterramento o pH tende a aumentar e as concentrações de metais (Fe e outros) tendem a diminuir;

- Condutividade mostrou correlações positivas (fortes) com alcalinidade (0,93) e cloreto (0,74), indicando a influência expressiva desses íons no lixiviado;

- Cor mostrou correlação positiva (próxima de forte) com o fósforo (0,69), mostrando que esse elemento, importante para a composição celular de micro-organismos, manteve-se dissolvido no lixiviado;

- Toxicidade mostrou correlações positivas (fortes) com absorbância (1,00), alcalinidade (0,96), COT (1,00), condutividade (0,88), cor (0,95), DQO (0,81), N-amoniacal (0,80) e sólidos totais (0,96). Considerando as concentrações obtidas para sólidos totais e sólidos sedimentáveis e as correlações (fortes) com a condutividade (0,88), cor (0,95) e sólidos totais (0,96), é possível que sólidos dissolvidos tenham contribuído de maneira expressiva para o aumento da Toxicidade. A alcalinidade e, em especial, o N-amoniacal contribuem com a toxicidade do lixiviado (CLÉMENT e MERLIN (1995); SILVA, 2002, OMAN e JUNESTEDT, 2007). Como o ensaio foi realizado com peixes de água doce, a presença de sólidos dissolvidos (sais) pode conferir toxicidade aos organismos do ensaio;

- O Volume de lixiviado (L) também influenciou na cor (0,62%) e no cloreto (0,44%), através de correlações positivas (moderadas) com esses parâmetros;

Entre as correlações observadas em RSS, vale destacar as seguintes correlações significativas:

- COT mostrou correlação positiva (forte) com DQO (0,84) e moderada com absorbância (0,59) e DBO (0,57);

- Toxicidade mostrou correlações positivas (fortes) com o COT (1,00) e moderadas com dureza (0,69), ferro (0,69), alcalinidade (0,65) e DQO (0,65). COT mostrou ser o parâmetro de correlação mais forte (1,00) com a toxicidade para ambas as células, seguido da absorbância (1,00) para RSD. A presença de substâncias orgânicas de estruturas mais complexas, tais como aromáticos e poliaromáticos, pode ter conferido toxicidade aos organismos do ensaio;

- Volume de lixiviado (L) mostrou correlação (forte) com a cor (0,73).

4.7 – Considerações complementares sobre os resultados obtidos

Durante o período de monitoramento (827 dias), as células de RSD e RSS mostraram concentrações mais baixas do que frequentemente se observa em lixiviados de resíduos sólidos provenientes de aterros e células experimentais (ou reatores).

A célula de RSD apresentou um conteúdo mais elevado em matéria orgânica o que a tornou um ambiente mais propício a atividade microbiana do que os RSS.

É provável que a decomposição de ambos os resíduos tenha sido influenciada pela drenagem diária das células, baixando o teor de umidade no seu interior e interferindo na atividade microbiana. Associado a isso, é preciso considerar a maior capacidade de retenção de água pela célula de RSD, proporcionada, principalmente, pelo conteúdo em matéria orgânica. Na célula de RSS, essa capacidade foi reduzida devido ao menor conteúdo de matéria orgânica e a quantidade mais elevada em plásticos.

A drenagem diária também pode ter provocado a substituição constante da microbiota, resultando no retardo da atividade microbiana em relação ao processo de decomposição dos resíduos.

Vale destacar que vários estabelecimentos de assistência a saúde, de onde se originaram os RSS que foram colocados na célula 2, possuem processos de tratamento para os RSS do grupo A, tais como, autoclave, microondas e tratamento químico. Dessa forma, é preciso considerar que parte dos RSS que entraram nessa célula foram submetidos a algum tratamento que ocasionou a eliminação ou a redução da carga microbiana nesses resíduos. Esse fato pode ter contribuído com a redução da atividade microbiana nessa célula com reflexos na decomposição dos resíduos.

Na revisão da literatura, efetuada por Kjeldsen *et al.* (2002), os registros mostraram altas concentrações no lixiviado de diversos componentes na fase ácida (fase inicial do aterro) devido à forte decomposição e lixiviação. Na fase metanogênica, mais estável, observam-se concentrações mais baixas dos componentes.

A avaliação da evolução temporal dos parâmetros empregados neste estudo, para ambas as células experimentais, não mostrou a seqüência típica das fases de degradação que era esperada para resíduos aterrados, conforme preconizado por Pohland e Harper (1986). Contudo, houve indícios, apontados pelo N-amoniacal e pelo pH, que a partir dos 400 dias de confinamento as células mostraram tendência de entrada na fase metanogênica. Esses indícios foram mais evidentes para a célula de RSD.

Para Castilhos Junior (2006) a divisão em fases de degradação facilita a compreensão dos fenômenos de estabilização biológica dos RSU e seus impactos sobre a composição dos lixiviados e as emissões gasosas; na prática, entretanto, durante a vida de um aterro, essas fases não são tão bem definidas.

Cabe reiterar, que a não introdução de novos resíduos nas células experimentais do presente estudo, ao contrário do que ocorre em aterros sanitários, onde a disposição de resíduos é constante, pode ter ocasionado uma mudança no tempo de ocorrência das fases de degradação dos resíduos em relação ao que se observa em aterros.

Nesse contexto, considerando que ambas as células foram construídas de maneira semelhante, ou seja, com a mesma estrutura, materiais e geometria, e que ambas foram submetidas às mesmas condições externas, tais como, precipitação pluviométrica e intempéries, considera-se válida a comparação entre as semelhanças e diferenças dos potenciais poluidores dos lixiviados gerados pelos RSD e RSS.

4.8 – Avaliação do potencial poluidor dos lixiviados de RSD e RSS

A Tabela 30 resume os resultados obtidos. Foram retirados dessa avaliação os seguintes parâmetros: Relação DBO/DQO, Toxicidade CL 50 e o Volume de lixiviado. Com exceção da CL 50, que foi substituída pela Toxicidade em UT, os demais parâmetros foram utilizados como coadjuvantes e não representam parâmetros de avaliação direta do potencial poluidor de efluentes, que é o objetivo do presente estudo.

Tabela 30 – Resumo dos resultados das células (baseados nas tabelas e box-plots) para o período monitorado.

Parâmetro	Resultado	Parâmetro	Resultados
Absorbância	RSD > RSS	Sólidos Totais	RSD > RSS
Alcalinidade	RSD > RSS	Sulfato	RSD > RSS
Cloreto	RSD > RSS	Toxicidade (UT)	RSD = RSS
Condutividade	RSD > RSS	Turbidez	RSD = RSS
Cor	RSD > RSS	Temper. dos lixiviados	RSD > RSS
COT	RSD > RSS	Cádmio	RSD = RSS
DBO	RSD > RSS	Chumbo	RSD = RSS
DQO	RSD > RSS	Cobre	RSD = RSS
Dureza	RSD > RSS	Cromo	RSD = RSS
Fósforo	RSD = RSS	Níquel	RSD = RSS
N Amoniacal	RSD = RSS	Ferro	RSD = RSS
pH	RSD > RSS	Zinco	RSD = RSS
Sólidos Sedimentáveis	RSD < RSS		

Dessa forma, considerando 25 parâmetros estudados, 11 (44%) tiveram como resultado que não houve diferenças estatísticas entre os lixiviados das células (RSD = RSS), 13 (52%) mostraram resultados mais elevados em RSD (RSD > RSS) e 1 (4%) mostrou resultado mais elevado em RSS (RSD < RSS).

Embora os lixiviados em questão não sejam efluentes tratados, efetuou-se a comparação dos resultados com os padrões para lançamento de efluentes estabelecidos por órgãos ambientais brasileiros (federal e do estado do Rio de Janeiro), como mais um critério de comparação dos potenciais poluidores dos lixiviados gerados pelas células. Dessa forma, os resultados foram comparados com os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos por:

- Resolução 430 de 13/05/2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA;

- Norma Técnica NT 202 R10 de 12/11/1986. Estabelece critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP. Instituto do Meio Ambiente do Rio de Janeiro – INEA;

– Diretriz DZ 205 R6 de 25/09/2007. Diretriz de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial. Instituto Estadual do Ambiente – INEA;

– Norma Técnica NT 213 R4 de 04/04/1990. Critérios e padrões para controle de toxicidade em efluentes líquidos industriais. Instituto Estadual do Ambiente – INEA.

A Tabela 31 mostra a comparação dos resultados obtidos nos lixiviados de RSD e RSS, considerando os parâmetrospara os quais existem padrões de lançamento de efluentes.

Tabela 31 – Comparação dos valores médios e faixas de valores (mín – máx) observados nos lixiviados de RSD e RSS obtidos no presente estudo com padrões de lançamento de efluentes.

Parâmetro	**Lixiviado**		**CONAMA 430/2011**	**INEA**[(1) (2) (3)]
	RSD	**RSS**		
Cor (mgPtCo.L^{-1})	379 (22 – 1843)	218 (37 – 1203)		Virtualmente ausente[(1)]
DQO (mg.L^{-1})	415 (154 – 1091)	208 (100 – 1106)		máx. 200 [(2)]
Fósforo (mg.L^{-1})	0,25 (0,01 – 1,23)	0,23 (0,01 – 1,99)		1,0[(1)]
Materiais sedimentáveis (mL.L^{-1})	0,77 (0 – 5,50)	1,67 (0,10 – 5,20)	até 1	até 1[(1)]
Nitrogênio Amoniacal (mg.L^{-1})	351,23 (12 – 1693)	294,43 (21 – 2121)	máx. 20,0	máx. 10 [(1)] (N total)
pH	7,0 (5,8 - 7,7)	6,8 (5,6 – 7,4)	5,0 e 9,0	5,0 e 9,0[(1)]
Temperatura (°C)	29,1 (25,0 – 38,0)	28,3 (25,0 – 33,0)	< 40	< 40 °C[(1)]
Toxicidade para *Daniorerio* (UT)	5,6 (2,0 – 16,0)	5,6 (4,0 – 8,0)		máx. 8 [(3)]
Cádmio (mg.L^{-1})	0,01 (< 0,01 – 0,01)	0,01 (< 0,01 – 0,01)	0,2	máx. 0,1[(1)]
Chumbo (mg.L^{-1})	0,01 (< 0,01 – 0,01)	0,01 (< 0,01 – 0,01)	0,5	0,5[(1)]
Cobre (mg.L^{-1})	0,01 (< 0,01 – 0,01)	0,01 (< 0,01 – 0,01)	1,0	0,5[(1)]
Cromo (mg.L^{-1})	0,02 (< 0,01 – 0,01)	0,02 (< 0,01 – 0,02)	0,1 – 1,0	0,5[(1)]
Ferro(mg.L^{-1})	6,42 (0,20 – 28,0)	8,01 (0,62 – 22,5)	15,0	15,0[(1)]
Níquel (mg.L^{-1})	0,01 (< 0,01 – 0,01)	0,01 (< 0,01 – 0,01)	2,0	1,0[(1)]
Zinco (mg.L^{-1})	0,07 (0,01 – 0,60)	0,15 (0,01 – 3,40)	5,0	1,0[(1)]

[(1)]NT 202 R10/1986 [(2)]DZ 205 R6/2007 [(3)]NT 213 R4/1990

Os valores médios para cor, DQO e N-amoniacal para ambas as células e materiais sedimentáveis para RSD, situaram-se acima dos padrões estabelecidos. Os valores médios parafósforo, pH, temperatura, toxicidade (UT) e os metais (Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Níquel e Zinco) se enquadram entre os valores estabelecidos.

Os resultados demonstram que ambos os lixiviados são potencialmente poluidores e, por isso, devem ser submetidos a tratamento para redução de poluentes e da toxicidade, antes do lançamento em corpo receptor.

Apesar das diferenças observadas entre os potenciais poluidores, ambos os resíduos podem e devem ser dispostos em aterros sanitários. A despeito dos aterros sanitários serem a forma de disposição preconizada pela OMS para os países em desenvolvimento, a opção pelos aterros sanitários se baseia no fato de serem atualmente a forma de disposição mais viável dentro da realidade brasileira.

Os resultados permitem afirmar que ambos os resíduos, se gerenciados e dispostos inadequadamente, apresentam potencial de risco à saúde humana e ao ambiente. Como agravante dessa situação estão os altos custos relacionados ao tratamento e destinação final dos RSS, que aliados a uma legislação conflitante e inadequada para a realidade da maioria dos municípios brasileiros, acabam por inviabilizar o gerenciamento adequado desses resíduos.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo mostra as conclusões decorrentes deste trabalho, relacionadas aos resíduos sólidos de serviços de saúde – RSS do grupo A (ou resíduos biológicos, anteriormente denominados "lixo infectante") e aos resíduos sólidos domiciliares – RSD. Ao final do capítulo são feitas sugestões para trabalhos futuros.

- Nos 827 dias de operação das células experimentais, a maior parte dos constituintes físico-químicos presentes nos lixiviados de RSD e RSS apresentaram concentrações inferiores às normalmente observadas em lixiviados de aterros sanitários.

- São apontados como possíveis responsáveis pelas baixas concentrações observadas nos lixiviados de RSD e RSS, a interação dos seguintes fatores: a drenagem diária dos lixiviados, a redução de umidade no interior das células, a renovação constante da microbiota no lixiviado e o retardo do processo de decomposição dos resíduos.

- Apesar das interferências apontadas acima, a célula de RSD apresentou maior atividade que a célula de RSS, no tocante ao processo de decomposição dos resíduos aterrados.

- O lixiviado de RSD apresentou concentrações maiores de compostos orgânicos que o lixivado de RSS, como decorrência do percentual mais elevado de matéria orgânica no resíduo domiciliar.

- O conteúdo mais elevado em matéria orgânica apresentado pela célula de RSD (52,62%) influenciou, de maneira mais expressiva que em RSS (12,61%), a qualidade e as concentrações dos componentes do seu lixiviado.

- As células de RSD e RSS apresentaram comportamento atípico e não mostraram, de maneira clara, a seqüência característica das diferentes fases de decomposição que ocorrem com os resíduos em aterros sanitários.

- A célula de RSD, em comparação com a célula de RSS, mostrou ao longo do tempo de aterramento, mais correlações estatisticamente significativas entre os parâmetros físico-químicos e toxicológico avaliados, indicando que os resíduos domiciliares se constituíram em um meio mais propício à degradação.

- Considerando 25 parâmetros empregados neste estudo, como indicadores do potencial de poluição, 13 (44%) apresentaram potencial mais elevado para RSD que em RSS, 11 (44%) mostraram potenciais semelhantes entre RSD e RSS e 1 apontou potencial mais elevado para RSS.

- Embora o potencial poluidor dos lixiviados de RSD tenha se mostrado mais elevado que em RSS, ambos os lixiviados são efluentes industriais que necessitam de tratamento antes do lançamento em corpos d'água. Se lançados sem tratamento ou com tratamento inadequado oferecem riscos e efeitos danosos para a comunidade animal e vegetal aquática que podem se estender aos seres humanos que dela se utilizam.

- O presente trabalho reforça a viabilidade da disposição conjunta de resíduos sólidos domiciliares (RSD) e resíduos sólidos de serviço de saúde (RSS) como alternativa para o tratamento e destinação final desses últimos.

- Os resultados e os conhecimentos gerados pela pesquisa permitem sugerir a revisão e atualização da legislação vigente no tocante à necessidade de tratamento e disposição final diferenciados para os RSS do grupo A. E apontam para a pertinência da sua disposição conjunta com os demais resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários licenciados.

Essas conclusões vão ao encontro da posição adotada por diversos profissionais que preconizam a codisposição de RSS em conjunto com os RSD e demais RSU em aterros sanitários. Embora proibida pela legislação, a disposição de RSS em aterros sanitários pode representar uma alternativa compatível com a realidade dos municípios brasileiros, especialmente para aqueles de pequeno e médio porte. Com isso, elimina-se a necessidade de coleta diferenciada, transporte específico e tratamento especial, o que representa economia considerável de recursos para os serviços de saúde que, de uma forma geral, encontram-se em condições precárias e ao mesmo tempo, benefícios indiscutíveis para o meio ambiente e para a saúde pública.

Cabe destacar a importância da segregação interna nas unidades de trato de saúde, no tocante aos resíduos químicos e radioativos para posterior tratamento e destinação final adequados, e quanto ao acondicionamento de perfurocortantes em recipientes apropriados visando a proteção da saúde dos trabalhadores envolvidos nas coletas interna e externa.

Este estudo levantou algumas questões que poderiam ser abordadas em estudos subseqüentes, como por exemplo:

Recomendações para novos estudos e pesquisas:

- Realizar análises gravimétricas e a caracterização físico-química de RSS provenientes de diferentes origens objetivando ampliar o conhecimento sobre esses resíduos;

- Confrontar a composição gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares de diferentes regiões com os respectivos potenciais poluidores dos lixiviados gerados;

- Efetuar estudos de viabilidade da disposição conjunta de RSS e RSD;

- Testar a disposição conjunta de RSS e RSD, em diferentes proporções, com o objetivo de identificar, através do monitoramento da qualidade dos lixiviados, qual ou quais proporções se mostram mais adequadas para a atividade microbiana e que apresentam o menor potencial poluidor;

- Avaliar a ocorrência de efeitos sinérgicos sobre a qualidade e o potencial dos lixiviados provenientes da disposição conjunta de RSS e RSD;

- Comparar a toxicidade de lixiviados de resíduos domiciliares e resíduos de saúde empregando organismos de diversos níveis tróficos;

- Pesquisar outros métodos para a determinação do potencial poluidor de lixiviados de resíduos sólidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. NBR – 8419. ABNT. 1984.

_____. NBR 6459:1984. *Solo - Determinação do limite de liquidez*. 1984.

_____. NBR 7180:1984. *Solo - Determinação do limite de plasticidade*. 1984

_____. NBR 7181:1984. *Solo - Análise granulométrica*. 1984.

_____. *Amostragem de resíduos sólidos*. NBR – 10007. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. *Resíduos sólidos – Classificação*. NBR – 10.004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. *Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.* NBR – 10006. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. *Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade aguda - Método de ensaio com peixes*. NBR – 15088. Rio de Janeiro: ABNT 2004.

ALATON, I.A. *Degradation of a commercial textile biocide with advanced oxidation processes and ozon*e. Journal of Environmental Management, v. 82, n. 2, p. 145-154, 2007.

ANDRADE, J.B.L. 1997. *Análise do fluxo e das características físicas, químicas e microbiológicas dos resíduos de serviço de saúde: proposta de metodologia para o gerenciamento em unidades hospitalares*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, *apud* 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, 116p., 2002,

ANDRADE, S.M.A. *Caracterização físico-química e tratabilidade por coagulação-floculação dos líquidos percolados gerados no aterro sanitário de Uberlândia-MG*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (FEQ/UFU), Uberlândia, 182 p., 2002.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 306, de 07.12.04. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Ministério da Saúde. 2004.

_____. RDC nº 33 de 25.02.03. Brasília: Ministério da Saúde. 2003.

_____. *Manual de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde*. Brasília: Ministério da Saúde. 2006.

APHA, AWWA, WPCF. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. New York: 21th Ed., 2005.

ASSAD, C.; COSTA, G.; BAHIA, S.R. *Manual de higienização de estabelecimentos de saúde e gestão de seus resíduos.* Rio de Janeiro: IBAM/COMLURB, 44p., 2001.

ASTM D5231 – 92. *Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste*. American Society for Testing and Materials. 2008.

BARKER, D.J.; STUCKEY, D.C. *A review of soluble microbial products (SMP) in wastewater treatment systems*. Water Research, v. 33, n. 14, p. 3063-3082, 1999, *apud* PROSAB – PROGRAMA EM PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. *Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, 494p., 2006.

BBC. *Tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos em países da Europa*. Disponível em http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/4620041.stm. Acesso em março de 2005.

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 Ingenieria Sanitaria y Ambiental. Porto Alegre - RS. 2000.

BILA, D.M.; DEZOTTI, M. *Fármacos no meio ambiente*. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. *Quim. Nova,* Vol. 26, No. 4, 523-530, 2003.

BOATRIGHT, D.T.; EDWARDS, A.J.; SHAVER, K.A. *A Comprehensive Biomedical Waste Survey*. Journal of Environmental Health, 57, 8: 15-18, 1995.

BRAGA, Benedito *et al*. *Introdução à engenharia ambiental*. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

BRASIL. *Lei 12.305 de 02.08.10. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.* 2010

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

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.

BUTTA, T. E.; ODUYEMIB, K.O.K. *A holistic approach to Concentration Assessment of hazards in the risk assessment of landfill leachate*. Environment International 28, 597– 608, 2003.

CAMMAROTA, M.C.; YOKOYAMA, L.; CAMPOS, J.C. *Ultrafiltration, chemical and biological oxidation as process combination for the treatment of municipal landfill leachate.* Desal. Water Treat. *3* (1–3), 50–57. 2009.

CAMERON, R.D.; KOCH, F.A. *Toxicity of landfill leachates*. WPCF, 52, 760, 1980, *apud* KJELDSEN, P.; BARLAZ, M.A.; ROOKER, A.P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T.H. *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.

CAMPOS, J.C.; MOURA, D.; COSTA, A.P.; YOKOYAMA, L.; ARAUJO, F.V.F.; CAMMAROTA, M.C.; CARDILLO, L. *Evaluation of pH, alkalinity and temperature during air stripping process for ammonia removal from landfill leachate*. Journal of Environmental Science and Health, Part A (2013) 48, 1105–1113.

CASTILHOS JUNIOR, A.B. *Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários*. In.: Projeto PROSAB. Armando Borges Castilhos (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 494p., 2006.

CASTILLO, E; VERGARA, M.; MORENO, Y. *Landfill leachate treatment using a rotating biological contactor and an upward-flow anaerobic sludge bed reactor*. Waste Management 27, p 720–726. 2007.

CASTRILLÓN, L.; NAVA, Y.F.; ULMANU, M.; ANGER, I.; MARAÑÓN, E. *Physico-chemical and biological treatment of MSW landfill leachate*. Waste Management 30. p. 228–235. 2010.

CELERE, M.S. *Metais pesados no chorume coletado no aterro sanitário de Riberão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para a saúde pública*. Cadernos de Saúde Pública, vol. 23, nº 4, Rio de Janeiro, abril, 2007.

CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. *Manejo de Residuos Hospitalarios*. CEPIS/OPS/OMS. Lima, Perú, 1996.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Coliformes fecais - determinação do número mais provável pela técnica de tubos múltiplos - método de ensaio*. L5.205. CETESB, São Paulo. 32p., 1984.

CHAERUL, M.; TANAKA, M; SHEKDAR, V.A. *A system dynamics approach for hospital waste management*. Waste Management 28: 442–449, 2008.

CHRISTENSEN, T.H.; BJERG, P.; JENSEN, D. L.; CHRISTENSEN J. B.; CHRISTENSEN, A.; BAUN, A.; ALBRECGTSEN, H. J.; HERON, G. *Biogeochemistry of landfill leachate plumes*. Applied Geochemistry. Lyngby. 16, 659-718, 2001.

CLÉMENT, B.; MERLIN, G. *The contribuition of ammonia and alkalinity to landfill leachate toxicity to duckweed*. Sci. Total Environ. 1995, *170* (1), 71–79. *Apud* CAMPOS J.C.; MOURA D.; COSTA A.P; YOKOYAMA L.; ARAUJO F.V.F.; CAMMAROTA, M.C.; CARDILLO, L. *Evaluation of pH, alkalinity and temperature during air stripping process for*

ammonia removal from landfill leachate. Journal of Environmental Science and Health, Part A 48, 1105–1113, 2013.

COELHO, H. *Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde*. FIOCRUZ, Rio de Janeiro, 2000, *apud* ZANON, U., NEVES, J. A Falta de Base Científica das Normas da ABNT e das Resoluções do Conama em Relação aos Resíduos dos Serviços de Saúde. p.57-71. In: Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República. Risco Epidemiológico ou Terrorismo Sanitário? 26p. il., 1992.

COLLINS, C.H.; KENEDY, D.A. *The Microbiological Hazards of Municipal and Clinical Wastes.* Journal of Applied Bacteriology, 1, 73: 1-6. 1992.

COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana. *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 - 2009*. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

_____. *Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro - 2010*. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

_____. *Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro - 2012*. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

_____. *Caracterização dos lixiviados gerados no Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTR Santa Rosa) localizado em no Município de Seropédica (RJ).* Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2012a.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA n° 6, de19 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.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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° 358**,** de 29 de abril de 2005. *Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.* 2005.

_____. Resolução CONAMA n° 357**,** de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento,bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.* 2005.

_____. Resolução CONAMA n° 404**,** de 17 de novembro de 2008. *Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.* 2008.

_____. Resolução CONAMA n° 430**,** de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA.* 2011.

CONNETT, P. *Incineração Do Lixo Municipal - Uma Solução Pobre Para o Século 21*. Apresentação na 4ª Conferência Anual de Administração Internacional de Lixo-para-Energia. Amsterdã. 24 e 25 de Novembro de 1998. Disponível em www.abrelpe.org.br

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, 138p., 2005.

CUSSIOL, N.A.M. *Disposição final de resíduos potencialmente infectantes de serviços de saúde em célula especial e por co-disposição com resíduos sólidos urbanos*. Tese de

Doutorado. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, MG, 334p., 2005.

CUSSIOL, N.A.M.; LANGE, L.C.; FERREIRA, J.A. Resíduos de serviços de saúde. In: COUTO, R.C.; PEDROSA, T.M.G.; NOGUEIRA, J.M. (Eds.). *Infecção hospitalar e outras complicações não infecciosas da doença:* epidemiologia controle e tratamento. 3ed. Rio de Janeiro. RJ.: MEDISI, 904p. cap.17, p.369-406, 2003.

CUSSIOL, N.A.M.; ROCHA, G.H.T.; LANGE, L.C. *Quantificação dos resíduos potencialmente infectantes presentes nos resíduos sólidos urbanos da regional sul de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil*. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 22(x):109-118, 2006.

DEMPSEY, C.R.; OPPELT, E.T. *Incineração de Resíduos Perigosos*. Journal of the Air and Waste Management Asociation, vol. 43, 1993.

DUGAN, S.F.X. *Regulated medical waste; is any of it infeccious?* New York State Journal of Medicine, v.92, n.8, p.349-352, 1992.

EHRIG, H.J. *Water and element balances of Landfills, in The landfill.* Baccini, P., Ed., Springer Verlag, Berlin, Germany,1988. 83. (Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 20). In: KJELDSEN, P.; BARLAZ, M.A.; ROOKER, A.P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T.H. *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.

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, 116p., 2002.

EL-FADEL, M.; BOU-ZEID, E.; CHAHINE, W.; ALAYLI, B. *Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content*. Waste Management 22, 269–282, 2002.

EPA (Environmental Protection Agency). *Composição média de uma placa de circuito impresso*. Em: http://www.environ.ie/en/Publications/Environment/Waste/WEEE/FileDownLoad,1342,en.pdf, acesso em 12/2012;

_____. *Physical Chemical and Microbiological Methods of Solid Waste Testing*. U.S. Environmental Protection Agency – EPA-6700-73-01. Office of Research and Monitoring. National Environmental Research Center. Cincinnati, 1973.

FARIA, F.S. *Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos*. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro –UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro. 335p., 2002.

FARQUHAR, G.J. *Leachate: production and characterization*. Cananadian Journal of Civil Engineering. v.16:317–25, 1989.

FEEMA – Fundação Estadual do Meio Ambiente. NT-213 R.4 – *Critérios e padrões para controle de toxicidade em efluentes líquidos industriais*. CECA, 1990.

FERREIRA, J.A. *Resíduos de Laboratório*. In: TEIXEIRA, P. Biossegurança: uma abordagem multidisciplinar. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, p.191-208, 1996.

_____. *Lixo Hospitalar e domiciliar: semelhanças e diferenças. Estudo de Caso no Município do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado em Ciências. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, RJ. 218p., 1997.

_____. *Resíduos Domiciliares e de Serviços de Saúde – Semelhanças e Diferenças: Necessidade de Gestão Diferenciada?* p.37-55. In: Lixo Hospitalar: Ficção Legal ou Realidade Sanitária? Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro, 116p., 2002.

FERREIRA, J.A.; MANNARINO, C.F.; MOREIRA, C.J.; ARIAS, A.R.L. BILA, D.M. *Ensaios ecotoxicológicos para avaliação do tratamento combinado de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos em estação de tratamento de esgotos.* 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2009.

FLECK, E. *Sistema integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 176p., 2003.

FONSECA, J.S.; MARTINS, G.A. *Curso de Estatística*. 6ª edição – Ed. Atlas. 2006.

GARCÍA, H.; RICO, J.; GARCÍA, P., *Comparison of anaerobic treatment of Leachates from an Urbansolid-Waste Landfill at Ambient Temperature and at 35ºC.* Bioresource Technology 58, pp. 273-277, Elsevier Science Ltda, 1997.

GIORDANO, G.; FERREIRA, J.A.; PIRES, J.C.A; RITTER, E.; CAMPOS, J.C.; ROSSO, T.C.A. *Tratamento do Chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho – Rio de Janeiro, Brasil*. XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cancun, México, 27 a 31 de outubro, 2002.

GIORDANO, G. Tratamento de Efluentes Industriais. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ. Tecnologia em Meio Ambiente Ltda – Tecma. 103p. 2008.

GIORDANO, G; BARBOSA FILHO, O.; CARVALHO, R.J. *Processos físico-químicos para tratamento do chorume de aterros de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: COAMB, FEN, UERJ. Série Temática: Tecnologias Ambientais - Volume 4. 178 p. 2011.

GOMES, P.G. *Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras*. In: Projeto PROSAB. Luciana Paulo Gomes (coordenadora). Rio de Janeiro: ABES, 360p., 2009.

HAMADA, J.; IWAI, Cristiano Kenji ; GIACHETI, Heraldo Luiz . *Destinação do Chorume de Aterros Controlados*. In: I Fórum das Universidades Públicas Paulistas de Ciência e Tecnologia em Resíduos, 2003, São Pedro. Anais do I Fórum das Universidades Públicas Paulistas de Ciência e Tecnologia em Resíduos. São Paulo : ICTR - Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos, 2003.

HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAN, R.L.; BLACK, W.C. *Análise multivariada de dados*. 5ª Ed. 2005.

IBAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. *Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 200p.:il., 2001.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional sobre Saneamento Básico – PNSB*. IBGE, 2010.

IZQUIERDO, A.G. e MENDOZA, F.J.C. *Design of a model to assess the environmental risk of leachate dams*. Waste Management 28, 2122–2133, 2008.

JAGER, E.; XANDER, L.; RUDEN, H. *Medical waste. Medical studies of various specialists at a large and small hospital in comparation to housekeeping waste*. Zentralbl. Hyg. Umweltmed, v. 188, n. 3-4, p. 343-64, jun, 1989.

JARDIM, F. Destino final: problema ou solução? *Gestão de Resíduos,* v. 1, n. 1, p. 14-20, 2006.

KALNOWSKI, G.; WIEGAND, H.; RÜDEN, H. *Microbial contamination of hospital waste.* Zbl. Bakt. Hyg. I Abt. Orig. B 178: 364-369, 1983, *apud* ZANON, URIEL. Riscos infecciosos imputados ao lixo hospitalar. Realidade epidemiológica ou ficção sanitária? In: Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República. Risco Epidemiológico ou Terrorismo Sanitário? 26p. il., 1992.

KEENE, J.H. A minimal hazard. *Infectiton Control and Hospital Epidemiology. 14: 145-150. 1993, apud ZANON, U. e NEVES, J. A Falta de Base Científica das Normas da ABNT e das Resoluções do Conama em Relação aos Resíduos dos Serviços de Saúde.* In: Lixo Hospitalar: Ficção Legal ou Realidade Sanitária? Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro, 116p., 2002.

KIEHL, E.J. Manual de compostagem maturação e qualidade do composto. São Paulo: Agronômica Ceres, 171p, 2002.

KJELDSEN, P.; BARLAZ, M.A.; ROOKER, A.P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T.H. *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.

KOMPAC. Disponível em < http://www.kompak.com.br >. Acesso em jan/2009.

KULIKOWSKA, D. e KLIMIUK, E. *The effect of landfill age on municipal leachate composition*. Bioresource Technology 99 (13), 5891–5895. 2008.

LANGE, L.C.; AMARAL, M.C.S. *Geração e Características do Lixiviado***.** Rio de Janeiro: ABES, 2009. In: *Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras*. Projeto Prosab 5. Luciana Paulo Gomes (coordenadora). Rio de Janeiro: ABES. 360p. il., 2009.

LAW, B.A.; KOLSTAD, J. *Proteolytic sistems in lactic acid bacteria*. Ant. Van leeuw., 49:225-245. 1983.

LEE, C.C.; HUFFMAN, G.L; NALESNIK, R.P. Medical waste management. Environmental Science Technology, v. 25, p. 360-363, 1991.

LEWUS, C.B.; MONTIVILLE, T.J. *Detection of bacteriocins produced by lactic acid bacteria*. J. Microbiol. Methods, 13:145-150. 1991.

LIMA, L.M.Q. *Tratamento de Lixo*. São Paulo, 2ª edição Hemus Editora, 1991.

LIMA, J. D. *Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*. 21° Congresso ABES. João Pessoa, PB. 2001.

LUNDSTEDT, R. e FERNANDEZ, A.P.P. *Utilização de testes de toxicidade em peixes Teleostei paulistinha (Danio rerio) nos efluentes do rio Sarapuí*. Augustus – Rio de Janeiro – Vol. 08 – N. 16 – Jan./Jun. pg 55-63, 2003.

MACHADO, C.F. *Avaliação da presença de micro-organismos indicadores de contaminação e patogênicos em líquidos lixiviados do aterro sanitário de Belo Horizonte*. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. 140p., 2004.

MANNARINO, C.F.; FERREIRA, J.A.; CAMPOS, J.C.; RITTER E. *Wetlands para tratamento de lixiviados de aterros sanitários – experiências no aterro sanitário de Piraí e no*

aterro metropolitano de Gramacho (RJ). Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Vol.11 - Nº 2 - abr/jun 108-112, 2006.

MENEZES, R.A.; BESSA, I.; MENEZES, M.A. *O Plasma Térmico – Solução final para os resíduos perigosos*. Seminário de Meio Ambiente ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais- São Paulo - SP. 04 a 06 de Outubro de 1999.

MONTEIRO, J.H.P. *Pesquisa Nacional sobre Saneamento Básico – PNSB. 2000. Avaliação dos Resultados pelo Consultor J.H. Penido Monteiro*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Abril, 2002.

MONTEIRO, V.E.D; MELO, M.C.; ALCÂNTARA, P.B.; ARÁUJO, J.M.; ALVES, I.R.F.S.; JUCÁ, J.F.T. *Estudo do comportamento de RSU em uma célula experimental e suas correlações com aspectos microbiológicos, físicos e químicos*. Eng. Sanit. Ambient. vol.11 no.3 Rio de Janeiro July/Sept. 2006.

MORAIS, J. L. *Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário*. Tese de doutorado do Curso de Pós-Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2005.

MORAVIA, W.G. *Estudos de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFMG), Belo Horizonte, 161p., 2007.

MOREIRA, F.; MOREIRA, J.C. *Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. Revista Panamericana de Salud Publica*. Volume 15, nº 2, Washington, 2004.

MOSE, J.R.; REINTHALER, F. *Microbial contamination of hospital waste and household refuse*. Zentralblatt für Bakteriologie und Hygiene Ibt. Orig. B 181, 98-110, 1985.

MOURA, D.A.G. *Remoção de Amônia por Arraste com Ar de Lixiviados de Aterros Sanitários*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

NANNY, M.A.; RATASUK, N. *Characterization and comparison of hydrophobic neutral and hydrophobic acid dissolved organic carbon isolated from three municipal landfill leachates*. Water Research 36 (6), 1572–1584. 2002

NASCIMENTO, T.C. *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.

NEVES, J. *Lixo Hospitalar*. p18-19. In: Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República. Risco Epidemiológico ou Terrorismo Sanitário? 26p. il., 1992.

OLIVEIRA, F.J.S.; JUCÁ, J.F.T. *Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos*. Rev. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 9 - Nº 3 - jul/set, 211-217. 2004.

OMAN, C.B.; JUNESTEDT, C. Chemical characterization of landfill leachates – 400 parameters and compounds. Waste Management, doi:10.1016/j, wasman. 2007.

PEREIRA NETO, J.T.; LELIS, M.P.N. *A Contaminação Biológica na Compostagem*. 21° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. III-021. ABES. 2001.

PEREIRA NETO, J.T.; MESQUITA, M.M.F. *Compostagem de resíduos sólidos urbanos: aspectos teóricos, operacionais e epidemiológicos.* Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 25p., 1992.

PINHEIRO, J.D.; CUNHA, S.B.; CARVAJAL, S.R.; GOMES, G.C. *Estatística Básica - A arte de trabalhar com dados*. 1ª edição. Ed. Campus. 2008.

POHLAND, F.G.; HARPER, S.R. *Critical review and summary of leachate and gas production from landfills*. U.S. Environmental Protection Agency Report N°EPA/600/2-86/073, U.S.A. 1986.

RAFIZUL, I.M.; ALAMGIR, M. *Characterization and tropical seasonal variation of leachate: Results from landfill lysimeter studied*. Waste Management doi:10.1016/j.wasman.01.020. 2012.

REINHARDT, P.A.; GORDON, J.; ALVARADO, C.J. *Medical Waste Management*. In: MAYHALL, C.G. Hospital Epidemiology and Infection Control. Baltimore: Williams e Wilkins, 1996.

RIBEIRO, F.A.L.; FERREIRA, M.M.C.; MORANO, S.C.; SILVA, L.R.; SCHNEIDER, R.P. *Planilha de validação: uma nova ferramenta para estimar figuras de mérito na validação de métodos analíticos univariados*. Quím. Nova, 31:164-171, 2008.

RIBEIRO FILHO, V.O. *Aspectos sanitários e ambientais apresentados pelos resíduos de serviços de saúde.* In: Associação Brasileira de Limpeza Pública, São Paulo, SP. Gerenciamento de resíduos sólidos da saúde. São Paulo, SP: ABPL, p.85-161.1998.

RIO DE JANEIRO. *Lei N° 3.273 de 06.09.01. Dispõe sobre a Gestão do Sistema de Limpeza Urbana no Município do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro. 2001.

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

SANTOS, E.F. *Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 109 p., 2006.

SANTOS, G.O. *Avaliação do cultivo de gramíneas na superfície de aterro sanitário, com ênfase para a redução da emissão de metano e dióxido de carbono para a atmosfera*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE), 313p., 2012.

SILVA, A.C. *Tratamento do Percolado de Aterro Sanitário e Avaliacão da Toxicidade do Efluente Bruto e Tratado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ. M.Sc., Engenharia Civil. Rio de Janeiro7 9 p., 2002.

SILVA, A.C.; SANT'ANNA JR., G. L.; DEZZOTTI, M.; CAMPOS, J.C.; RIBEIRO, G.F. *Aplicação de bioensaios para avaliação da toxicidade do chorume do aterro sanitário de Gramacho* (RJ). Anais do VI Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p 1-7, 2002.

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

SISINO, C.L.S. *Destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais no Estado do Rio de Janeiro: avaliação da toxicidade dos resíduos e suas implicações para o ambiente e para a saúde humana*. Tese de Doutorado. Fundação Oswaldo Cruz - Escola Nacional de Saúde Pública. 102p., 2002.

SOARES, S.R.; BENETTI, L.B.; OLIVEIRA, C.; MIRANDA, A.R.; BARRELLA, K.M.; ALVES, K.C.G. *Avaliação microbiológica do percolado nos resíduos hospitalares infecciosos*. III-069. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 9p., 2001.

SOARES, S.R.; BENETTI, L.B.; SILVA, M.A.C.; OLIVEIRA, C.; BERTONCINI, R.C.; CHRISTAKIS, S. *Avaliação da Evolução Microbiológica em Resíduos Hospitalares Infecciosos*. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre/RS. 10 p. ABES, 2000.

SOUTO, G.B.; POVINELLI, J. *Características de lixiviados de aterros sanitários no Brasil.* In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, Minas Gerais, 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 Carlos, 2009.

TAVARES, J. C. L.; PINHEIRO, Q. M. L.; CALLADO, N. H. *Levantamento da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Maceió.* 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte-MG, 2007.

TAGG, J.R.; DAJANI, A.S.; WANNAMAKER, L.W. *Bacteriocins of Gram-positive bacteria. Bacteriol*. Rev., 40: 722-756. 1976.

TEIXEIRA, E. N.; NAGLE, A. P. E. *Avaliação do potencial poluidor/contaminador de aterros em vala (aterros manuais).* XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Santitaria y Ambiental Cancún, México, 2002.

TELLES, C.A.S. *Processos Combinados para o Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário.* Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE. 130 p.: Il. 2010.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL S.A. *Integrated solid waste management – engineering principles and management issues*. Mc Graw-Hill, 978p., 1993.

TROST, M.; FILIP, Z. *Beaviour of Microorganismos on Refuse from Medical Consulting Rooms abd Municipal Refuse*. Zentralblatt für Bakteriologie und Hygiene Iabt. Orig. B 181, 159-172, 1985, *apud* COLLINS, C.H. e KENNEDY, D.A. The Microbiological Hazards of Municipal and Clinical Wastes. Journal of Applied Bacteriology, 1, 73: 1-6. 1992.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2 ed.- Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 452p., 2005.

WEISHAAR, J.L.; AIKEN, G.; BERGAMASCHI, B.; FRAM, M.; FUJII, R.; MOPPER, K. *Evaluation of Specific Ultraviolet Absorbance as an Indicator of the Chemical Composition and Reactivity of Dissolved Organic Carbon.* Environ. Sci. Technol. 37, 4702-4708, 2003.

WONNACOTT, T.H.; RONALD J. *Introductory statitics for businessand economics*. 4ª Ed. 1990.

ZHANG, Q.Q.; TIAN, B.H.; ZHANG, X.; GHULAM, A.; FANG, C.R.; HE, RUO. *Investigation on characteristics of leachate and concentrated leachatein three landfill leachate treatment plants.* Waste Management 33 (2013) 2277-2286.

ZANON, U. *Riscos infecciosos imputados ao lixo hospitalar: realidade epidemiológica ou ficção sanitária?* Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, v.23, n.3, p.163-170, 1990.

_____. *Riscos infecciosos imputados ao lixo hospitalar*. Realidade epidemiológica ou ficção sanitária? In: Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República. Risco Epidemiológico ou Terrorismo Sanitário? 26p. il., 1992.

_____. *As Teorias das Doenças e a Suposta Periculosidade do Lixo Hospitalar*. p.13-35. In: Lixo Hospitalar: Ficção Legal ou Realidade Sanitária? Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro, 116p., 2002.

ZANON, U.; EIGENHEER, E. *O que fazer com os resíduos hospitalares*. Proposta para classificação, embalagem, coleta e destinação final. Arquivo Brasileiro de Medicina, v.65, n.3, p. 1991.

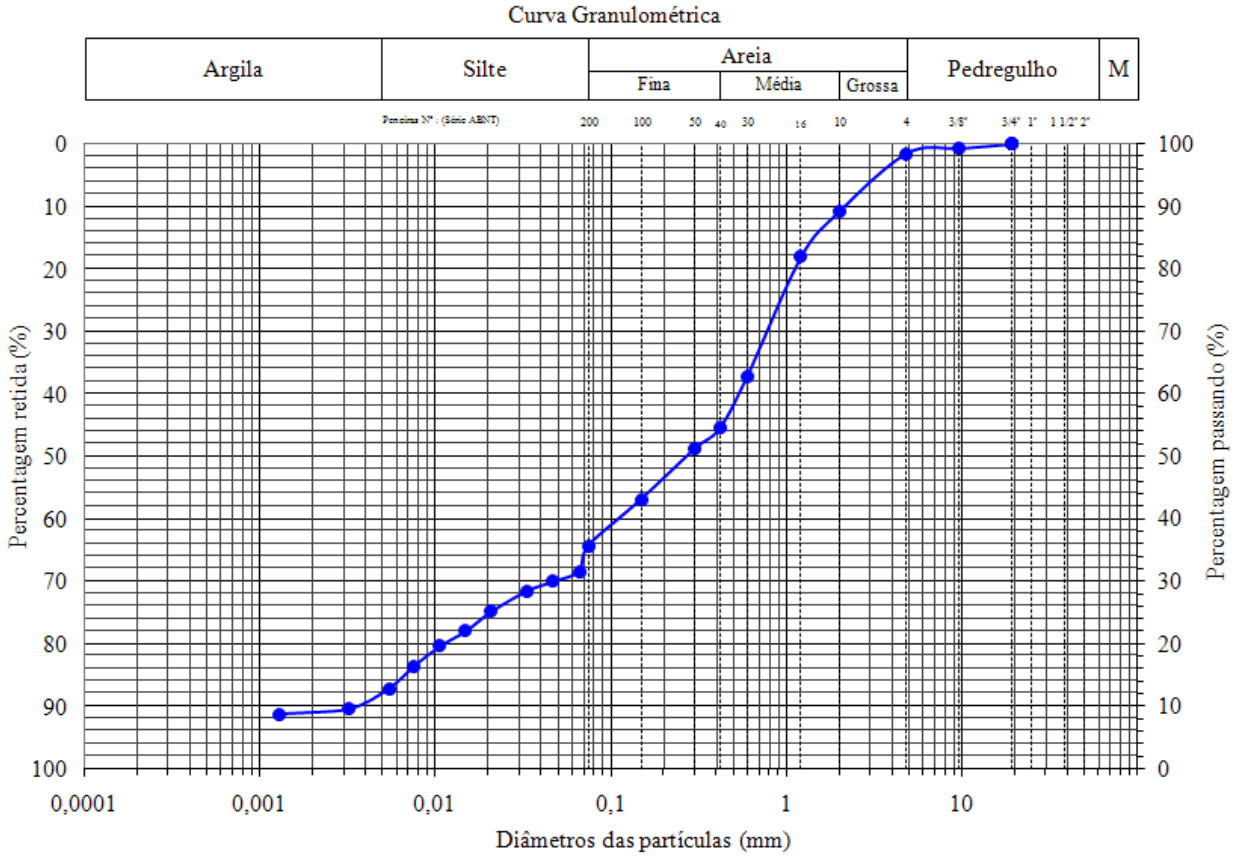
ZANON, U.; ZANON, A.S.M. *A Verdadeira Periculosidade dos Resíduos Sólidos para a Saúde Publica e o Meio Ambiente*. p.73-95. In: Lixo Hospitalar: Ficção Legal ou Realidade Sanitária? Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro, 116p., 2002.

Apêndice 1 (a) – Resultados consolidados das análises do material de cobertura – Amostra 1.

GRANULOMETRIA (NBR-7181)	% passando
Peneira 2"	100
Peneira 1 1/2 "	100
Peneira 1"	100
Peneira 3/4"	100
Peneira 3/8"	99
Peneira N° 4	98
Peneira N° 10	89
Peneira N° 40	54
Peneira N° 200	36

LIMITES DE CONSISTÊNCIA	%
Limite de Liquidez (NBR-6459)	38,2
Limite de Plasticidade (NBR-7180)	21,7
Índice de Plasticidade	16,5

[redacted]

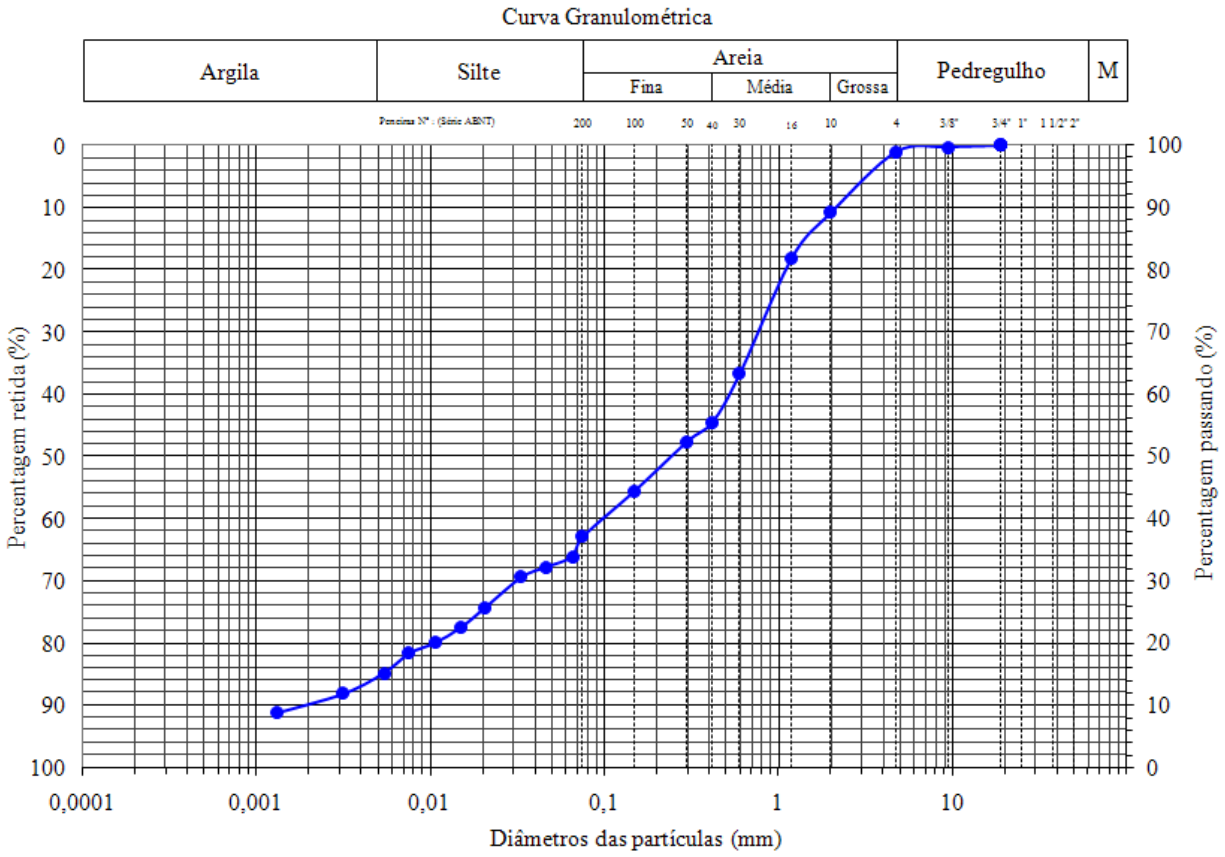


Apêndice 1 (b) – Resultados consolidados das análises do material de cobertura – Amostra 2.

GRANULOMETRIA (NBR-7181)	% passando
Peneira 2"	100
Peneira 1 1/2 "	100
Peneira 1"	100
Peneira 3/4"	100
Peneira 3/8"	100
Peneira N° 4	99
Peneira N° 10	89
Peneira N° 40	56
Peneira N° 200	37

LIMITES DE CONSISTÊNCIA	%
Limite de Liquidez (NBR-6459)	37,8
Limite de Plasticidade (NBR-7180)	22,4
Índice de Plasticidade	15,4

PORCENTAGEM DE MATERIAL	%
% Areia (até 0,075mm)	63
% Silte (entre 0,075 e 0,005mm)	22
% Argila (menor que 0,005mm)	15

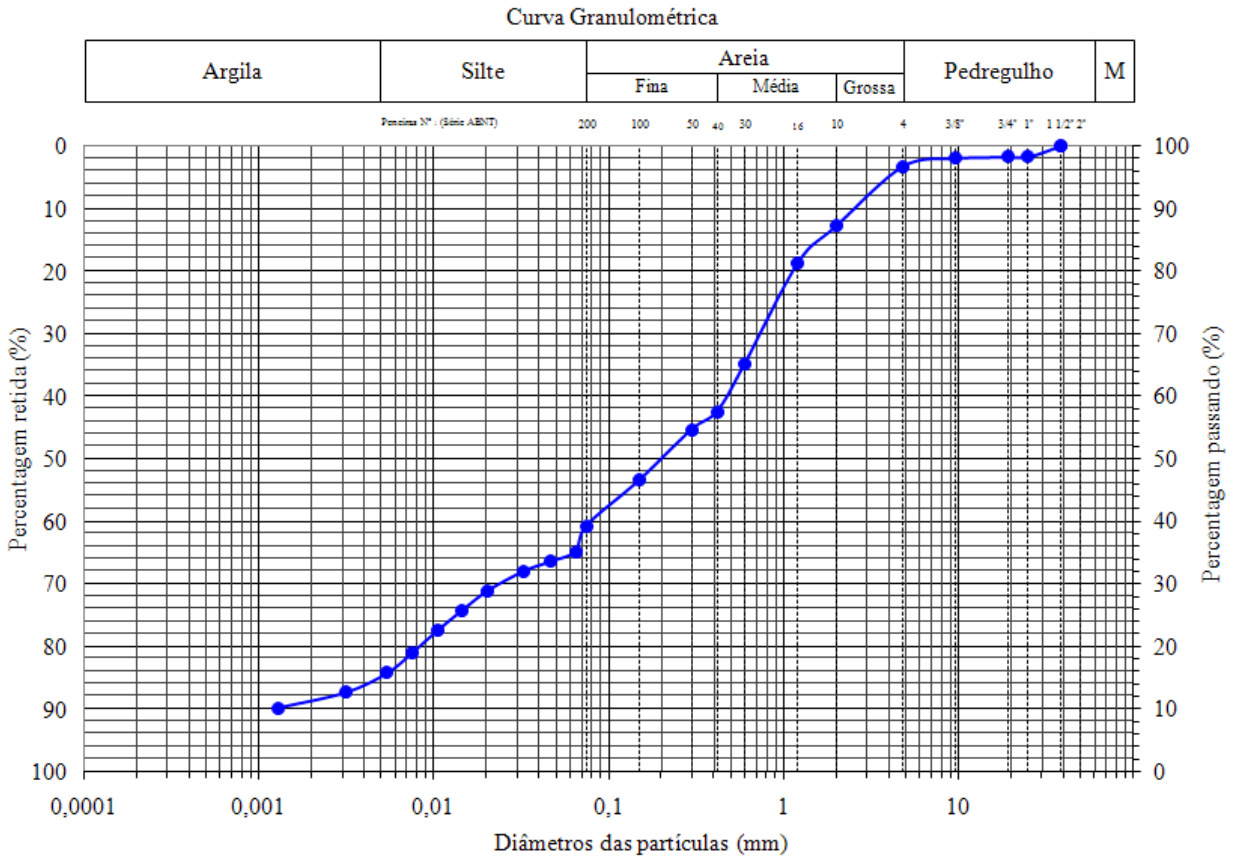


Apêndice 1 (c) – Resultados das análises do material de cobertura – Amostra 3.

GRANULOMETRIA (NBR-7181)	% passando
Peneira 2"	100
Peneira 1 1/2 "	100
Peneira 1"	98
Peneira 3/4"	98
Peneira 3/8"	98
Peneira N° 4	97
Peneira N° 10	87
Peneira N° 40	58
Peneira N° 200	39

LIMITES DE CONSISTÊNCIA	%
Limite de Liquidez (NBR-6459)	38,9
Limite de Plasticidade (NBR-7180)	23,2
Índice de Plasticidade	15,7

PORCENTAGEM DE MATERIAL	%
% Areia (até 0,075mm)	61
% Silte (entre 0,075 e 0,005mm)	23
% Argila (menor que 0,005mm)	16



Apêndice 2 (a) – Volumes e Temperaturas diárias das células experimentais ao longo dos 827 dias de monitoramento, para o período de 01/12/10 a 08/09/11.

Data da coleta	Volume (L)		Temperatura (ºC)		Data da coleta	Volume (L)		Temperatura (ºC)	
	RSD	RSS	RSD	RSS		RSD	RSS	RSD	RSS
01/12/10					06/06/11	23	70	28,5	29
08/12/10					07/06/11	22	23	27,5	28
10/12/10					08/06/11	12	20	28	28
22/12/10	140	176			09/06/11	6	16	28,5	29
29/12/10	90	290			10/06/11	2,5	11	29	29
05/01/11	170	320	30	30	13/06/11	20	43	29	29
11/01/11	140	370	31	29	14/06/11	8	20	30	29
19/01/11	220	360	32	30	15/06/11	3	12	29	29
24/01/11	80	260	30	29	16/06/11	2	10	29	28,5
01/02/11	40	130	32	33	17/06/11	2,5	9	29	29,5
02/02/11	12	38	32	29	20/06/11	3	7	30	29
31/03/11	3	6,2	29,5	28,5	21/06/11	3	10	29	29
01/04/11	92	192	30	29,2	22/06/11	2,5	12	30	31
04/04/11	184	321	30	27	24/06/11				
08/04/11	22	40	31	31	27/06/11		20	28	29
11/04/11	41	86	32	30	28/06/11	1	6	25	29
12/04/11	16	24	32	31	29/06/11	1	4,5	28	28,5
13/04/11	6	20	31	30	30/06/11	2	5	29	29
14/04/11	4	20	30	31	12/07/11	20	60	30	29
15/04/11	3	10	31	30	13/07/11	10	30	29	28
18/04/11	18	26	31	30	14/07/11	2,8	5	29	29
19/04/11	2	20	30	31	15/07/11	3,2	3,8	29	29
20/04/11	1	3	31	31	18/07/11	10	20	29	29
25/04/11	8	26	31	30	20/07/11	8	11	28,5	30
26/04/11	102	146	30	30	21/07/11	6	9	29	29,5
27/04/11	110	164	30	30	22/07/11	7	8	28,5	30
28/04/11	60	102	31	31	25/07/11	40	62	30	29
29/04/11	45,6	86,4	32	31	26/07/11	38	56	29	30
02/05/11	86	186	33	31	27/07/11	40	50	30	28
03/05/11	9	28	31	30	28/07/11	20	38	29	29
04/05/11	7	22	31	30	29/07/11	16	19	29	28
05/05/11	19	10	30	30	01/08/11	9	11	29,5	29
06/05/11	12	16	30	31	02/08/11	6	9	30	29
09/05/11	10	40	30	30	03/08/11	5	8,5	29	28
10/05/11	7	20	29,5	29	08/08/11	22	40	29	28
11/05/11	5,3	16	30	29,5	09/08/11	6	17	29	29
12/05/11	4	18	29,8	30	10/08/11	2,5	10	29	28,5
13/05/11	2,5	12	30	30	12/08/11	21	32	30	29
16/05/11	23	82	30	29	17/08/11	18	23	28	29
18/05/11	42	88	29	29,2	18/08/11	10	16	28,5	29
19/05/11	52	90	29	30	19/08/11	7	8	29	29
20/05/11	32	60	30	30	22/08/11	10	7	29	28,5
23/05/11	50	110	30	31	23/08/11	4	6	31	29
24/05/11	6	28	29,8	30	24/08/11	2	8	30	29
25/05/11	12,6	18	30	29,5	25/08/11	2,5	4	29	28
26/05/11	3	11	30	29	26/08/11	2	2,7	29	29
30/05/11	143	260	29,8	30	29/08/11	2,8	3	30	29,5
31/05/11	23	62	31	30	30/08/11	1,5	2	29	29
01/06/11	21	60	30	30	31/08/11	1,6	2	29	29
02/06/11	18	35	30	30	06/09/11	18	23	28	29
03/06/11	10	38	29,8	30	08/09/11	12	18	29	29

Apêndice 2 (a) – Volumes e Temperaturas diárias das células experimentais ao longo dos 827 dias de monitoramento, para o período de 09/09/11 a 03/04/12.

Data da coleta	Volume (L)		Temperatura (ºC)		Data da coleta	Volume (L)		Temperatura (ºC)	
	RSD	RSS	RSD	RSS		RSD	RSS	RSD	RSS
09/09/11	4	8	29,5	29	05/01/12	51	70	28	27
12/09/11	6	12	30	30	06/01/12	40	58	26	25
13/09/11	4	8	30	29,5	09/01/12	60	90	28,5	27
14/09/11	3,8	6	28,5	28	10/01/12	20	26	28	27
19/09/11	160	220	30	28,5	11/01/12	36	28	25	25
20/09/11	26	68	29	29	12/01/12	18	20	27	26
21/09/11	20	40	30	29,5	13/01/12	15	17	28,5	27
26/09/11	46	96	30	28	16/01/12	32	42	29	27,5
28/09/11	12	18	29	29,5	17/01/12	11	17	28	27,5
05/10/11	26	46	30	29	18/01/12	6,9	9,7	28,5	27,5
06/10/11	12	20	29,5	29	23/01/12	35	48	29	28
07/10/11	2	5	29	29	24/01/12	8	9	28,3	27
11/10/11	16	28	28	29	25/01/12	8	8	28	27,1
13/10/11	2	3,5	29	29,5	26/01/12	7	9	29,3	27,8
17/10/11	32	23	28	29	27/01/12	7	9	28,1	27
21/10/11		468	29	28	30/01/12	118	6	28,5	27,3
24/10/11	55	345	38	31	31/01/12	40	54	28,2	27,6
26/10/11	24	83	27	26	01/02/12	24,4	33,4	28,7	27,5
28/10/11	8	20	28	27	02/02/12	25	36	28,9	27,3
31/10/11	30	68	27	28	03/02/12	21	25	27	26,8
03/11/11	28	48	28	27	06/02/12	50	93	28,8	27,6
06/11/11	25	45	28	28	07/02/12	1	21	27,3	27,7
14/11/11	13	19	28	27	08/02/12	9	16	27,8	28
16/11/11	10	7	28,5	26,5	09/02/12	7	14	28,2	27,9
17/11/11	60	23	27	26,5	13/02/12	32	41	29,1	27,8
18/11/11	38	25	26	26,5	14/02/12	12,4	9,4	30	29,3
21/11/11	63	48	26,5	25,8	15/02/12	9	8	30	30,5
23/11/11	24,5	38,5	29	27	16/02/12	8	8	28,8	27,9
24/11/11	9	14	26,5	27	23/02/12	32	44	29,5	28,3
25/11/11	11	10	28	27	24/02/12	12	8	30,3	28,7
29/11/11	22	37	29	27	27/02/12	13	17	31	29,5
30/11/11	9	8	28	27,5	28/02/12	5	6	31,8	30,1
05/12/11	23	31	28	27	29/02/12	2,5	3	32,2	30,3
07/12/11	10,5	14,5	27,5	26,5	01/03/12	1,5	1	31,5	30,3
13/12/11	21	25	28,5	27	02/03/12	2,8	38	30,6	30,5
14/12/11	6	8	27	26,5	05/03/12	10	13	30,7	29,3
15/12/11	5	6	26,5	26	06/03/12	2,2	3,5	30,4	29,1
16/12/11	5	4	28,5	27	07/03/12	1,8	2,6	30,3	29,3
19/12/11	100	20	28,5	27,5	08/03/12	1,5	2	31,4	29,4
20/12/11	58	51	28,5	27,5	09/03/12	1,9	3,2	30,2	29,7
21/12/11	29,5	28,5	29	27,5	14/03/12	9	12	30,1	29,8
22/12/11	25	37	28,5	27	15/03/12	3,1	2,5	31,1	30,3
23/12/11	17	2	28,5	27	16/03/12	2,5	2,9	30	29,8
26/12/11	61	48	25	25	19/03/12	6,8	13	30,4	29,9
27/12/11	83	85	29	27,5	22/03/12	3,2	5,5	30,1	29,8
28/12/11	77	70	28	27	23/03/12	5,5	7,3	30,7	29,4
29/12/11	72	74	28,5	27	26/03/12	12	16	29,9	29
30/12/11	50	70	28,5	27	28/03/12	2,9	3,8	29,7	29,2
02/01/12	136	135	28,5	27	31/03/12	30	3,6	29,1	28,9
03/01/12	254	206	28,5	27	02/04/12	8	5,6	29,9	29,4
04/01/12	74,35	116,3	28,5	27	03/04/12	3,2	2,8	29	29,2

Apêndice 2 (a) – Volumes e Temperaturas diárias das células experimentais ao longo dos 827 dias de monitoramento, para o período de 09/04/12 a 12/11/12.

Data da coleta	Volume (L)		Temperatura (ºC)		Data da coleta	Volume (L)		Temperatura (ºC)	
	RSD	RSS	RSD	RSS		RSD	RSS	RSD	RSS
09/04/12	22	21	30,4	29,4	02/08/12	31	22	28	26,3
10/04/12	6,2	12	29,6	28,8	03/08/12	20	26	28,1	26,4
11/04/12	2,6	2,8	29,9	29,8	06/08/12	23	32	27,8	26,3
12/04/12	2,2	2,4	29,6	29,1	08/08/12	18	16	27,4	25,4
13/04/12	2,6	2,2	30,1	29,6	09/08/12	12	14	27,5	26
16/04/12	5,1	3,9	30,2	29,4	10/08/12	10	12	27	26,1
17/04/12	3,6	2,3	28,7	28,5	13/08/12	22	27	27,5	26,2
18/04/12	2,6	2,4	29,1	28,6	15/08/12	14	34	26,6	27,4
19/04/12	2,4	2,4	29,4	28,8	17/08/12	10	18	28,2	27
20/04/12	2,6	2,6	29,2	29,8	22/08/12	26	43	28	26,9
24/04/12	5,1	4,8	29,2	29,3	23/08/12	12	16	27,8	26,8
25/04/12	2,6	2,3	28	27,2	24/08/12	10	13	28	27
27/04/12	3,8	2,7	28,7	27,6	27/08/12	22	40	28,3	27
30/04/12	6,4	5,8	28,1	27,2	29/08/12	20	21	28,1	26,3
02/05/12	502	318	28,9	29,2	31/08/12	12	18	27,7	26,7
03/05/12	120	148	29	28,7	03/09/12	7,5	7	28	26,1
07/05/12	210	275	29,1	28,2	04/09/12	8	10	28,2	26,2
08/05/12	28	43	28,9	28,2	05/09/12	1,5	3	28	26,8
09/05/12	36	37	28,2	28,1	06/09/12	2	2,8	28,3	27
10/05/12	22	34	29	28,6	10/09/12	1,5	1,8	28	26,9
11/05/12	28	38	29,1	28,2	12/09/12	4	5	28,6	27,1
14/05/12	72,6	84,2	28,6	28,2	13/09/12	2	3	28,6	27
15/05/12	49	63	28,9	29	14/09/12	2,1	1,5	27,8	27,3
16/05/12	31	43	28,8	28,9	17/09/12	18	15	27,7	27,9
17/05/12	26	37	29	28,9	18/09/12	2	25	28,1	28
18/05/12	20	28	29,1	29	19/09/12	3,2	3,5	29,1	28,2
21/05/12	812	501	28,6	27,9	20/09/12	3	3	29	27
22/05/12	78,1	192	28,5	27,1	21/09/12	2,6	2,8	29,3	27,3
23/05/12	39	43	28,2	27,6	24/09/12	2	1,5	29,1	27
25/05/12	32	38,6	29	28,1	26/09/12	15	10	27,4	25,4
27/05/12	90	120	28	28	27/09/12	220	42	28,3	27,6
29/05/12	28,8	69,9	28,7	27,5	28/09/12	80	53	28,3	26,6
30/05/12	18,6	40	28,9	28	01/10/12	80	68	28,3	27
31/05/12	16,8	32	29	28,8	02/10/12	62	56	28,6	27,1
01/06/12	16	29	28,2	27,2	04/10/12	40	26	28,7	28,7
02/06/12	13	22	28,8	28,1	05/10/12	21	19	28,9	28,9
05/06/12	68	86	29,9	27,9	08/10/12				
06/06/12	21	20	29,1	28,6	15/10/12	108	62	29,1	27,9
11/06/12	678	405	27,9	27,9	16/10/12	20	14	29,8	28,3
12/06/12	135	108	27,8	28,1	17/10/12	18	12	29	27,9
13/06/12	76	68	28,1	27,9	18/10/12	14	10	28,9	27,8
15/06/12	86	80	27,9	26,5	22/10/12	58	60	28,3	27,1
18/06/12	118	135	28,1	27,1	24/10/12	28	21	29,3	27,2
19/06/12	76	98	27,7	29,2	25/10/12	13	10	29	27,1
20/06/12	70	88	27,9	26,7	29/10/12	43	38	29,2	27
21/06/12	52	67	27,9	26,5	30/10/12	10	11	29,6	27,3
25/07/12	23	28	27,8	26,8	01/11/12	16	13	29,1	27
26/07/12	12	22	28	25,4	05/11/12	38	20	29,3	27,2
27/07/12	13	20	27,3	26,6	07/11/12	21	16	30,2	27,3
30/07/12	15	18	27,6	26,9	08/11/12	12	8	29,7	27
01/08/12	56	83	28,3	26,4	12/11/12	19	11	29,6	27,6

Apêndice 2 (a) – Volumes e Temperaturas diárias das células experimentais ao longo dos 827 dias de monitoramento, para o período de 14/11/12 a 20/02/13.

Data da coleta	Volume (L)		Temperatura (ºC)	
	RSD	RSS	RSD	RSS
14/11/12	20	13	28,7	26,9
21/11/12	38	20	28	27,1
22/11/12	8	6	27,3	26,4
23/11/12	6	4	27,4	26,7
27/11/12	96	72	28	26
28/11/12	160	126	28,1	26,9
30/11/12	138	110	28,2	27,1
03/12/12	86	128	28,6	27,5
05/12/12	38	66	29,2	27,9
10/12/12	138	118	29,1	27,3
11/12/12	22	16	29,2	27,2
12/12/12	12	10	29,7	27,3
13/12/12	4	2,8	29,2	27
14/12/12	3	2,5	29,3	27,3
17/12/12	3,2	2,9	29,6	27,8
18/12/12	3	3	29,7	28,1
19/12/12	4	3,5	29,5	28,4
20/12/12	3	2	29,3	28,6
21/12/12	2,5	2	29	28,2
26/12/12	12	8	31,6	29,1
27/12/12	6	4	29	28,4
28/12/12	4	3	29,1	28,9
02/01/13	140	80	30,4	28,9
04/01/13	60	68	30,1	28,7
07/01/13	78	60	30	29
09/01/13	34	12	30,2	29,1
14/01/13	190	118	29,7	28,8
15/01/13	98	90	29,7	28,9
16/01/13	118	110	29,9	29
17/01/13	98	90	29,7	29
21/01/13	395	380	29,9	29,1
22/01/13	98	95	29,2	28,9
23/01/13	78	70	29,1	28,7
24/01/13	60	56	29,6	28,8
28/01/13	420	350	29,4	28,5
30/01/13	390	360	29,2	28,7
31/01/13	112	102	29	28,6
01/02/13	90	86	29,2	28,8
04/02/13	180	176	29	28,7
06/02/13	280	202	28,2	28,8
20/02/13	410	360	29,1	28,4
Total (L)	**12109**	**14705**		

Apêndice 2 (b) – Volume e Temperatura observados nos dias de coleta de amostras

Data da coleta	Dias de operação	Volume (L/dia) RSD	Volume (L/dia) RSS	Temperatura (ºC) RSD	Temperatura (ºC) RSS
01/12/10	15				
22/12/10	36	140	176		
05/01/11	50	170	320	30	30
19/01/11	64	220	360	32	30
02/02/11	78	12	38	32	29
02/03/11	106				
27/04/11	162	110	164	30	30
10/05/11	175	7	20	29,5	29
25/05/11	190	12,6	18	30	29,5
08/06/11	204	12	20	28	28
27/06/11	223		20	28	29
06/07/11	232				
20/07/11	246	8	11	28,5	30
03/08/11	260	5	8,5	29	28
17/08/11	274	18	23	28	29
31/08/11	288	1,6	2	29	29
14/09/11	302	3,8	6	28,5	28
28/09/11	316	12	18	29	29,5
11/10/11	329	16	28	28	29
26/10/11	344	24	83	27	26
21/11/11	370	63	48	26,5	25,8
07/12/11	386	10,5	14,5	27,5	26,5
21/12/11	400	29,5	28,5	29	27,5
04/01/12	414	74,35	116,3	28,5	27
18/01/12	428	6,9	9,7	28,5	27,5
01/02/12	442	24,4	33,4	28,7	27,5
14/02/12	455	12,4	9,4	30	29,3
29/02/12	470	2,5	3	32,2	30,3
14/03/12	484	9	12	30,1	29,8
28/03/12	498	2,9	3,8	29,7	29,2
25/04/12	526	2,6	2,3	28	27,2
07/05/12	538	210	275	29,1	28,2
14/05/12	545	72,6	84,2	28,6	28,2
25/05/12	556	32	38,6	29	28,1
06/06/12	568	21	20	29,1	28,6
20/06/12	582	70	88	27,9	26,7
03/07/12	595				
18/07/12	610				
01/08/12	624	56	83	28,3	26,4
15/08/12	638	14	34	26,6	27,4
29/08/12	652	20	21	28,1	26,3
12/09/12	666	4	5	28,6	27,1
26/09/12	680	15	10	27,4	25,4
08/10/12	692				
24/10/12	708	28	21	29,3	27,2
07/11/12	722	21	16	30,2	27,3
21/11/12	736	38	20	28	27,1
05/12/12	750	38	66	29,2	27,9
19/12/12	764	4	3,5	29,5	28,4
02/01/13	778	140	80	30,4	28,9
16/01/13	792	390	360	29,2	28,7
30/01/13	806	280	202	28,2	28,8
20/02/13	827	410	360	29,1	28,4

Apêndice 2 (c) – Análises físico-químicas (Absorbância, Alcalinidade e Cloreto)

Data da coleta	Dias de operação	Absorbância (cm^{-1})		Alcalinidade ($mgCaCO_3.L^{-1}$)		Cloreto ($mg.L^{-1}$)	
		RSD	RSS	RSD	RSS	RSD	RSS
01/12/10	15			372	1548	769	721
22/12/10	36			480	1315	641	493
05/01/11	50			619	1392	808	20
19/01/11	64			564	1128	739	246
02/02/11	78			795	1230	808	
02/03/11	106			646	1341	798	493
27/04/11	162			1090	1226	64	68
10/05/11	175			1031	1043	70	58
25/05/11	190					23	14
08/06/11	204			840	630	5	8
27/06/11	223				847		4
06/07/11	232			1130	950	26	25
20/07/11	246			1070	980	22	31
03/08/11	260			810	710	21	31
17/08/11	274			940	770	110	150
31/08/11	288			520	860	790	240
14/09/11	302			920	700	720	200
28/09/11	316			720	620	300	250
11/10/11	329			840	760	375	275
26/10/11	344			860	800	179	280
21/11/11	370			960	680	160	190
07/12/11	386			960	700	190	190
21/12/11	400			960	440	259	160
04/01/12	414	1,90	0,76	1240	620	230	130
18/01/12	428	0,80	1,68	1100	700	100	294
01/02/12	442	1,76	0,80	1320	540	100	160
14/02/12	455	1,56	0,86	1220	680	110	220
29/02/12	470	1,82	1,10	1260	800	50	260
14/03/12	484	1,52	0,98	1180	800	765	290
28/03/12	498	1,50	1,17	1200	780	840	310
25/04/12	526	1,14	1,64	840	1200	340	920
07/05/12	538	2,69	0,84	1630	930		
14/05/12	545			3160	1960		
25/05/12	556	2,85	0,89				
06/06/12	568	2,68	0,96	2140	1010	9	199
20/06/12	582	3,72	0,88	2124	751	1157	212
03/07/12	595	4,70	0,88	4330	3230	968	188
18/07/12	610	5,66	0,70	3650	1110	1015	160
01/08/12	624	4,42	0,80	3180	830	1297	179
15/08/12	638	4,04	0,97	2470	950	1010	261
29/08/12	652	3,84	0,98	2380	1190	1127	151
12/09/12	666	3,70	1,34	2830	1095	1063	208
26/09/12	680	3,70	1,34	2100	1080	1546	323
08/10/12	692	1,19	1,16	1900	1950	1380	305
24/10/12	708	1,94	1,01	2040	810	1394	268
07/11/12	722	2,40	1,26	2530	990	1614	357
21/11/12	736	1,56	1,29			1608	372
05/12/12	750	3,88	0,98	2500	860	1538	281
19/12/12	764	3,90	1,52			1587	373
02/01/13	778	5,67	2,72			1402	377
16/01/13	792	8,42	2,19			1376	309
30/01/13	806	8,70	1,49			1791	280
20/02/13	827	7,93	1,59			1827	212

Apêndice 2 (d) – Análises físico-químicas (Condutividade, Cor Verdadeira e Carbono Orgânico Total - COT)

Data da coleta	Dias de operação	Condutividade ($\mu S.cm^{-1}$)		Cor Verdadeira ($mgPtCo.L^{-1}$)		COT ($mg.L^{-1}$)	
		RSD	RSS	RSD	RSS	RSD	RSS
01/12/10	15	1448	1923	22	266	35,8	555,5
22/12/10	36	1124	1412	40	346	58,3	123,0
05/01/11	50	2660	2600	179	800		140,4
19/01/11	64	2550	2260	144	860	74,3	104,0
02/02/11	78	1408	1280	59	71		
02/03/11	106	3560	3600	65	65		
27/04/11	162	3230	2720				
10/05/11	175	3550	2500				
25/05/11	190	3300	1840				
08/06/11	204	2570					
27/06/11	223		2550				
06/07/11	232	3370	1932				
20/07/11	246	3050	1848				
03/08/11	260	2720	1563				
17/08/11	274	2400	1424				
31/08/11	288	2690	1695				
14/09/11	302	2680	1187				
28/09/11	316	2580	1651				
11/10/11	329	2530	1515				
26/10/11	344	2490	1910				
21/11/11	370	2790	1651				
07/12/11	386	3240	1962				
21/12/11	400	3050	1139				
04/01/12	414	3500	1348	200	37		
18/01/12	428	3340	1444	62	157		
01/02/12	442	3500	1091	140	75		
14/02/12	455	3240	1584	103	42		
29/02/12	470	3640	2030	137	117	91,6	44,3
14/03/12	484	3470	1844	100	62		
28/03/12	498	3350	1706	93	87	120,1	53,3
25/04/12	526	2210	4250	43	80	51,8	90,8
07/05/12	538	5140	2130	748	52	163,3	57,8
14/05/12	545			1035	530	634,2	473,5
25/05/12	556	4900	1762	85	130	215,6	60,0
06/06/12	568	6410	2450	127	37	67,1	68,8
20/06/12	582	7430	8940	532	45	169,1	60,0
03/07/12	595	7760	2023	792	37	161,2	61,3
18/07/12	610	8210	2172	370	83	172,7	57,0
01/08/12	624	8150	2360	372	108	168,9	44,4
15/08/12	638	7330	6860	438	97	163,0	58,8
29/08/12	652	6560	2130	307	87	203,0	49,5
12/09/12	666	7200	2530	485	158	182,9	50,7
26/09/12	680	7170	2750	213	83	180,7	52,1
08/10/12	692	6760	2370	297	132	182,0	54,3
24/10/12	708	6980	2200	348	102		
07/11/12	722	6630	2490	367	85	362,4	135,2
21/11/12	736	6040	2160	237	100	351,2	122,6
05/12/12	750	7070	1759	678	250	331,1	79,1
19/12/12	764	6710	240	582	123	371,0	161,1
02/01/13	778	7210	2400	473	183	322,5	172,8
16/01/13	792	6210	1783	867	603	413,4	126,2
30/01/13	806	8007	1554	1843	1203	185,5	17,1
20/02/13	827	8350	2130	1050	552	170,6	19,9

Apêndice 2 (e) – Análises físico-químicas (DBO, DQO e Relação DBO/DQO)

Data da coleta	Dias de operação	DBO ($mg.L^{-1}$) RSD	DBO ($mg.L^{-1}$) RSS	DQO ($mg.L^{-1}$) RSD	DQO ($mg.L^{-1}$) RSS	Relação DBO / DQO RSD	Relação DBO / DQO RSS
01/12/10	15	24		175	1106	0,137	
22/12/10	36			217	501		
05/01/11	50			305	544		
19/01/11	64			306	551		
02/02/11	78			229	185		
02/03/11	106			223	204		
27/04/11	162			453	550		
10/05/11	175	13	13	206	152	0,062	0,086
25/05/11	190	14	35	248	184	0,058	0,189
08/06/11	204	14	17	201	120	0,069	0,144
27/06/11	223		4		147		0,030
06/07/11	232	3	17	221	128	0,012	0,133
20/07/11	246	1		202	129	0,005	
03/08/11	260		3	179	139		0,020
17/08/11	274	7		188	134	0,038	
31/08/11	288	1	1	209	138	0,006	0,010
14/09/11	302	9		201	134	0,047	
28/09/11	316			154	127		
11/10/11	329			183	142		
26/10/11	344			232	184		
21/11/11	370			232	116		
07/12/11	386	14	12	223	147	0,063	0,083
21/12/11	400	7	15	252	130	0,027	0,119
04/01/12	414			449	158		
18/01/12	428	17	17	269	107	0,062	0,163
01/02/12	442	35	27	389	115	0,089	0,237
14/02/12	455	14	9	249	132	0,057	0,070
29/02/12	470	10	6	277	152	0,038	0,039
14/03/12	484	22	28	285	159	0,076	0,178
28/03/12	498	9	24	274	175	0,034	0,139
25/04/12	526	21	17	158	284	0,132	0,061
07/05/12	538	35	17	458	146	0,077	0,120
14/05/12	545	87	51	670	596	0,130	0,086
25/05/12	556	41	23				
06/06/12	568	21	20	496	140	0,042	0,146
20/06/12	582	64	9	749	121	0,086	0,071
03/07/12	595	50	17	677	124	0,074	0,140
18/07/12	610	50	9	648	128	0,077	0,067
01/08/12	624	30	19	622	124	0,049	0,154
15/08/12	638	16	18	622	174	0,026	0,106
29/08/12	652	28	3	558	156	0,050	0,019
12/09/12	666	21	7	560	162	0,038	0,046
26/09/12	680	20	4	520	159	0,039	0,028
08/10/12	692	22	3	565	179	0,039	0,016
24/10/12	708	40	28	613	151	0,065	0,183
07/11/12	722	26	23	616	193	0,042	0,117
21/11/12	736	39	25	644	216	0,060	0,116
05/12/12	750	34	1	641	126	0,052	0,005
19/12/12	764	48	22	658	176	0,072	0,128
02/01/13	778	53	30	647	181	0,083	0,168
16/01/13	792	51	27	756	151	0,068	0,181
30/01/13	806	163	41	1091	123	0,149	0,330
20/02/13	827	122	35	989	100	0,123	0,355

Apêndice 2 (f) – Análises físico-químicas (Dureza, Fósforo e N-Amoniacal)

Data da coleta	Dias de operação	Dureza ($mgCaCO_3.L^{-1}$)		Fósforo ($mgP.L^{-1}$)		N-Amoniacal ($mgN.L^{-1}$)	
		RSD	RSS	RSD	RSS	RSD	RSS
01/12/10	15	646	828	0,03	0,07	38	197
22/12/10	36	640	673			43	139
05/01/11	50	673	606			41	168
19/01/11	64	741	539			44	161
02/02/11	78		471	0,35	0,30	63	161
02/03/11	106			0,17	0,21	64	64
27/04/11	162	720	460	1,21	1,28	37	69
10/05/11	175	800	340	1,23	1,21	39	65
25/05/11	190	800	340	0,41	0,55	123	192
08/06/11	204	740	240			235	319
27/06/11	223		400		0,26		258
06/07/11	232	840	460	0,26	0,25	139	178
20/07/11	246	910	470	0,27	0,25	72	115
03/08/11	260	570	270	0,26	0,26	329	132
17/08/11	274	790	410	0,26	0,25	62	99
31/08/11	288	410	400			12	21
14/09/11	302	830	390	0,29	0,30	830	29
28/09/11	316	750	380	0,31	0,31	77	125
11/10/11	329	750	380	0,31	0,31	79	129
26/10/11	344	740	360	0,30	0,32	113	154
21/11/11	370	710	300	0,18	0,00		
07/12/11	386	740	310	0,00	0,18		
21/12/11	400	760	280	0,14	0,11		
04/01/12	414	780	260	0,15	0,23	140	183
18/01/12	428	790	270	0,17	0,09	213	425
01/02/12	442	800	260	0,20	0,14	900	2121
14/02/12	455	720	300	0,22	0,08	130	170
29/02/12	470	660	300	0,19	0,01	337	331
14/03/12	484	700	280	0,25		222	477
28/03/12	498	740	360	0,14	0,01	264	258
25/04/12	526		254	0,01	0,01	317	254
07/05/12	538		382	0,01	0,01	583	382
14/05/12	545	1368	1409			1368	1400
25/05/12	556			0,01	0,01		
06/06/12	568	270	230	0,11	0,01	405	226
20/06/12	582	380	340	0,34	1,16	499	222
03/07/12	595	150	340	0,29	0,24	258	111
18/07/12	610	814	292	0,18	0,01	244	103
01/08/12	624	774	362	0,21	0,01	309	135
15/08/12	638	816	199	0,10	0,01	191	99
29/08/12	652	790	315	0,09	0,01	1553	955
12/09/12	666	840	382	0,17	0,01	1639	995
26/09/12	680	288	99	0,01	0,01	1300	875
08/10/12	692	314	122	0,01	0,01	1372	780
24/10/12	708	330	160	0,01	0,01	398	209
07/11/12	722	310	160	0,01	0,01	292	185
21/11/12	736	780	360	0,01	0,01	269	176
05/12/12	750	154	33	0,01	0,01	192	91
19/12/12	764			0,01	0,01	190	116
02/01/13	778			0,01	0,01	183	122
16/01/13	792			0,23	1,99	185	87
30/01/13	806			1,11	0,01	230	77
20/02/13	827			0,87	0,01	236	87

Apêndice 2 (g) – Análises físico-químicas (pH e Sólidos Sedimentáveis - SSED)

Data da coleta	Dias de operação	pH RSD	pH RSS	SSED ($mL.L^{-1}$) RSD	SSED ($mL.L^{-1}$) RSS
01/12/10	15	6,7	7,0		
22/12/10	36	5,8	7,0		
05/01/11	50	6,4	6,2		
19/01/11	64	6,1	5,6		
02/02/11	78	6,8	7,0		
02/03/11	106	6,6	6,8		
27/04/11	162	6,7	6,9	5,5	0,1
10/05/11	175	7,0	7,1	2,3	2,8
25/05/11	190	6,9	6,9	2,8	0,3
08/06/11	204	7,5	6,8	0,0	0,1
27/06/11	223		7,1		2,4
06/07/11	232	7,2	6,8	1,2	3,6
20/07/11	246	6,7	6,7	1,2	4,1
03/08/11	260	6,9	6,9	3,2	4,4
17/08/11	274	6,9	6,8	0,0	4,0
31/08/11	288	7,1	7,0	0,8	0,1
14/09/11	302	7,0	6,6	0,8	2,0
28/09/11	316	7,1	6,8	0,8	4,8
11/10/11	329	6,9	6,9	0,1	0,1
26/10/11	344	6,9	7,0	0,7	0,1
21/11/11	370	7,1	7,0	0,4	2,1
07/12/11	386	6,9	6,9	0,5	2,4
21/12/11	400	6,9	6,7	3,2	2,4
04/01/12	414	6,8	6,7	0,1	0,1
18/01/12	428	6,9	6,7	0,4	2,4
01/02/12	442	6,7	6,5	0,1	1,6
14/02/12	455	7,0	6,8	0,8	3,6
29/02/12	470	7,0	6,7	0,1	0,1
14/03/12	484	7,1	6,8	0,8	2,8
28/03/12	498	7,3	6,9	0,4	3,2
25/04/12	526	7,2	7,3	0,4	0,4
07/05/12	538	7,0	6,9	0,2	2,2
14/05/12	545				
25/05/12	556	7,0	6,7		
06/06/12	568	7,2	6,8	0,7	1,6
20/06/12	582	7,1	7,4	0,1	1,6
03/07/12	595	7,2	6,8	0,4	5,2
18/07/12	610	7,3	6,8	0,4	2,8
01/08/12	624	7,1	6,6	0,1	0,1
15/08/12	638	7,2	6,9	0,4	0,6
29/08/12	652	7,2	6,7	0,1	0,1
12/09/12	666	7,2	6,8	0,1	0,1
26/09/12	680	7,2	6,9	0,1	0,1
08/10/12	692	7,2	6,7	0,1	0,1
24/10/12	708	7,3	7,0	0,1	0,1
07/11/12	722	7,7	7,1	0,1	0,1
21/11/12	736	7,0	6,6	0,1	1,8
05/12/12	750	7,2	6,4	0,5	0,3
19/12/12	764	7,0	6,8		
02/01/13	778	7,2	6,8		
16/01/13	792	6,6	6,3		
30/01/13	806	7,0	6,5		
20/02/13	827	7,2	6,6		

Apêndice 2 (h) – Análises físico-químicas (Sólidos Totais, Sulfato e Turbidez)

Data da coleta	Dias de operação	Sólidos Totais ($mg.L^{-1}$) RSD	Sólidos Totais ($mg.L^{-1}$) RSS	Sulfato ($mg.L^{-1}$) RSD	Sulfato ($mg.L^{-1}$) RSS	Turbidez (UNT) RSD	Turbidez (UNT) RSS
01/12/10	15	2070	214		29,8		234,0
22/12/10	36	2128	174	14,6	20,0	268,0	178,0
05/01/11	50	2434	94	64,6	17,3	147,0	104,0
19/01/11	64	2340	142	23,1	17,7	129,0	96,0
02/02/11	78	2260	1580	18,3	39,4	28,0	37,0
02/03/11	106	2410	2410			110,0	136,0
27/04/11	162	2200	2400			71,0	23,5
10/05/11	175	2400	1200			150,0	140,0
25/05/11	190	2000	1300			147,0	98,8
08/06/11	204	2234	937			56,3	91,7
27/06/11	223		1212				49,6
06/07/11	232	2310	1261			78,4	158,0
20/07/11	246		1329			92,4	70,7
03/08/11	260	2600	2000			40,3	57,9
17/08/11	274	2100	1200			84,0	70,6
31/08/11	288	1900	3800			88,4	53,6
14/09/11	302	1700	900			52,7	25,2
28/09/11	316	2000	1100			54,1	67,0
11/10/11	329	1900	800			69,3	27,3
26/10/11	344	2000	1000			54,5	51,8
21/11/11	370	2300	800			84,6	68,9
07/12/11	386	2400	900			53,2	48,7
21/12/11	400	2100	800			60,3	65,7
04/01/12	414	3000		8,2	8,3	22,8	55,7
18/01/12	428	2300	1200	2,7	8,3	146,0	58,9
01/02/12	442	2400	800	6,4	8,8	8,2	21,8
14/02/12	455	5300	1600	0,7	1,0	245,0	85,8
29/02/12	470	3100	600	15,4	0,3	76,6	68,4
14/03/12	484	6300	1300	21,4	0,2	67,7	16,0
28/03/12	498	2800	1400	0,4	1,3	67,6	45,6
25/04/12	526	2300	2700	0,8	13,2	159,0	45,9
07/05/12	538	2617	987	14,3	10,0	58,6	31,6
14/05/12	545			4,0	6,3		
25/05/12	556					6,6	5,7
06/06/12	568	2000	200	8,1	3,1	76,4	55,3
20/06/12	582	3600	1000	4,3	16,9	18,2	71,9
03/07/12	595	4300	600	15,0	4,5	74,3	48,6
18/07/12	610	3800	800	15,1	11,3	39,1	34,2
01/08/12	624	3700	400	10,0	11,0	45,4	82,8
15/08/12	638	3700	700	14,0	38,4	33,0	84,4
29/08/12	652	3757	1447	2,8	8,6	20,9	57,3
12/09/12	666	4069	1155	8,8	3,9	23,9	71,3
26/09/12	680	4421	2372	96,2	1,9	11,5	69,6
08/10/12	692	3385	5558	63,3	10,7	41,2	13,2
24/10/12	708	4500	900	42,4	3,2	21,9	11,6
07/11/12	722	3600	700	65,2	2,5	16,1	69,3
21/11/12	736	3925	633	32,8	3,4	14,2	29,0
05/12/12	750	4393	877	5,3	5,3	22,3	11,6
19/12/12	764			4,0	2,8	20,2	19,4
02/01/13	778			3,3	4,6	33,4	18,6
16/01/13	792			5,2	5,6	8,1	23,3
30/01/13	806			13,8	6,3	11,2	16,3
20/02/13	827			8,0	2,1	6,5	9,7

Apêndice 2 (i) – Análises físico-químicas – metais (Cd, Cr, Pb e Cu)

Data da coleta	Dias de operação	Cádmio (Cd) ($mg.L^{-1}$)		Cromo (Cr) ($mg.L^{-1}$)		Chumbo (Pb) ($mg.L^{-1}$)		Cobre (Cu) ($mg.L^{-1}$)	
		RSD	**RSS**	**RSD**	**RSS**	**RSD**	**RSS**	**RSD**	**RSS**
01/12/10	15								
22/12/10	36	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
05/01/11	50	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
19/01/11	64								
02/02/11	78	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
02/03/11	106	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
27/04/11	162	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
10/05/11	175	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
25/05/11	190	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
08/06/11	204	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
27/06/11	223		0,01		0,01		0,01		0,01
06/07/11	232	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
20/07/11	246	0,01	0,01	0,10	0,20	0,01	0,01	0,01	0,10
03/08/11	260	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01	0,01
17/08/11	274	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
31/08/11	288	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
14/09/11	302	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
28/09/11	316	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
11/10/11	329	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
26/10/11	344	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
21/11/11	370	0,01	0,01	0,04	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
07/12/11	386	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
21/12/11	400	0,01		0,01	0,01	0,01		0,01	0,01
04/01/12	414	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
18/01/12	428	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
01/02/12	442	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
14/02/12	455	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
29/02/12	470	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
14/03/12	484	0,01	0,01	0,01		0,01	0,01	0,01	
28/03/12	498	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06
25/04/12	526	0,01	0,01	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
07/05/12	538	0,01	0,01	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02
14/05/12	545								
25/05/12	556	0,01	0,01	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
06/06/12	568	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
20/06/12	582	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03/07/12	595	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
18/07/12	610	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
01/08/12	624	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
15/08/12	638	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
29/08/12	652	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
12/09/12	666	0,01	0,01	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
26/09/12	680	0,01	0,01	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
08/10/12	692	0,01	0,01	0,07	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
24/10/12	708	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
07/11/12	722	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
21/11/12	736	0,01	0,01	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
05/12/12	750	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
19/12/12	764	0,01	0,01	0,05	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01
02/01/13	778	0,01	0,01	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
16/01/13	792	0,01	0,01	0,06	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01
30/01/13	806	0,01	0,01	0,06	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
20/02/13	827	0,01	0,01	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01

Apêndice 2 (j) – Análises físico-químicas – metais (Fe, Ni e Zn)

Data da coleta	Dias de operação	Ferro (Fe) ($mg.L^{-1}$)		Níquel (Ni) ($mg.L^{-1}$)		Zinco (Zn) ($mg.L^{-1}$)	
		RSD	RSS	RSD	RSS	RSD	RSS
01/12/10	15						
22/12/10	36	28,00	22,00	0,01		0,20	0,30
05/01/11	50	13,90	11,80	0,01	0,01	0,10	0,40
19/01/11	64						
02/02/11	78	18,00	18,00	0,01	0,01	0,60	3,40
02/03/11	106	12,80	10,00			0,10	0,10
27/04/11	162	9,80	15,30	0,01	0,01	0,10	0,20
10/05/11	175	10,50	15,60	0,01	0,01	0,10	0,10
25/05/11	190	12,40	12,30	0,01	0,01	0,10	0,10
08/06/11	204	5,90	8,20	0,01	0,10	0,10	0,10
27/06/11	223		9,30		0,01		0,10
06/07/11	232	9,70	22,50	0,01	0,01	0,10	0,10
20/07/11	246	11,20	13,50	0,01	0,01	0,10	0,10
03/08/11	260	7,70	8,80	0,10	0,10	0,01	0,01
17/08/11	274	6,80	10,80	0,01	0,01	0,10	0,10
31/08/11	288	8,60	6,20	0,01	0,01	0,10	0,10
14/09/11	302	2,90	7,20	0,01	0,01	0,01	0,10
28/09/11	316	5,80	9,40	0,01	0,01	0,10	0,01
11/10/11	329	5,40	5,50	0,01	0,01	0,10	0,10
26/10/11	344	6,30	8,10	0,01	0,01	0,10	0,10
21/11/11	370	4,04	6,10	0,01	0,01	0,25	0,10
07/12/11	386	5,67	9,23	0,03	0,01	0,01	0,04
21/12/11	400	7,79	13,50	0,01		0,03	0,05
04/01/12	414	6,46	7,65	0,01	0,02	0,02	0,04
18/01/12	428	7,27	7,93	0,01	0,01	0,13	0,07
01/02/12	442	8,57	10,90	0,01	0,01	0,02	0,02
14/02/12	455	11,60	9,38	0,01	0,01	0,02	0,01
29/02/12	470	5,82	6,67	0,01	0,01	0,03	0,01
14/03/12	484	7,72		0,01	0,01	0,02	
28/03/12	498	5,91	10,00	0,01	0,01	0,03	0,03
25/04/12	526	5,39	1,76	0,01	0,01	0,11	0,04
07/05/12	538	8,96	0,62	0,01	0,01	0,07	0,04
14/05/12	545						
25/05/12	556	6,27	1,95	0,01	0,01	0,03	0,03
06/06/12	568	3,29	2,28	0,01	0,01	0,01	0,01
20/06/12	582	5,57	3,70	0,01	0,01	0,01	0,04
03/07/12	595	6,08	6,70	0,01	0,01	0,03	0,35
18/07/12	610	3,63	7,34	0,01	0,01	0,01	0,01
01/08/12	624	3,05	4,17	0,01	0,01	0,01	0,01
15/08/12	638	1,53	4,76	0,01	0,01	0,01	0,01
29/08/12	652	1,12	2,98	0,01	0,01	0,01	0,01
12/09/12	666	3,05	5,26	0,01	0,01	0,04	0,04
26/09/12	680	0,51	0,94	0,01	0,01	0,03	0,03
08/10/12	692	4,05	5,91	0,01	0,01	0,05	0,05
24/10/12	708	0,51	6,04	0,01	0,01	0,03	0,02
07/11/12	722	0,95	4,46	0,01	0,01	0,05	0,15
21/11/12	736	0,41	3,59	0,01	0,01	0,02	0,02
05/12/12	750	0,20	4,56	0,01	0,01	0,03	0,02
19/12/12	764	4,43	4,77	0,01	0,01	0,02	0,02
02/01/13	778	4,00	2,28	0,01	0,01	0,17	0,12
16/01/13	792	0,62	1,29	0,01	0,01	0,03	0,15
30/01/13	806	1,92	10,40	0,01	0,01	0,10	0,15
20/02/13	827	2,36	10,70	0,01	0,01	0,04	0,11

Apêndice 2 (k) – Toxicidade para *Danio rerio*

Data da coleta	Dias de operação	TOXICIDADE PARA *Danio rerio* RSD UT	RSD CL50(%)	RSS UT	RSS CL50(%)
01/12/10	15				
22/12/10	36				
05/01/11	50	4	43,52	8	21,76
19/01/11	64				
02/02/11	78				
02/03/11	106	4	53,59	8	17,68
27/04/11	162				
10/05/11	175	4	35,36	8	20,31
25/05/11	190				
08/06/11	204	2	89,00	4	35,40
27/06/11	223				
06/07/11	232	4	35,40	8	19,00
20/07/11	246				
03/08/11	260		AP	4	32,99
17/08/11	274				
31/08/11	288				
14/09/11	302				
28/09/11	316				
11/10/11	329				
26/10/11	344	4	35,40	4	33,00
21/11/11	370				
07/12/11	386	4	35,36	4	35,36
21/12/11	400				
04/01/12	414				
18/01/12	428				
01/02/12	442	8	26,79	4	50,00
14/02/12	455				
29/02/12	470				
14/03/12	484				
28/03/12	498				
25/04/12	526				
07/05/12	538				
14/05/12	545				
25/05/12	556				
06/06/12	568				
20/06/12	582				
03/07/12	595				
18/07/12	610				
01/08/12	624	16	8,80	4	30,81
15/08/12	638				
29/08/12	652				
12/09/12	666				
26/09/12	680				
08/10/12	692				
24/10/12	708				
07/11/12	722	16	8,80	8	17,67
21/11/12	736				
05/12/12	750				
19/12/12	764				
02/01/13	778				
16/01/13	792				
30/01/13	806				
20/02/13	827	32	4,21	4	35,35

AP – Análise Prejudicada

Apêndice 3 (a) – Estatística descritiva

Variável	Tratamento	N	Mínimo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Máximo	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	IC (95%)	
											Inferior	Superior
Absorbância 254nm (cm^{-1})	01 - RSD	29	0,8	1,8	2,9	4,0	8,7	3,4	2,2	0,4	2,6	4,2
	02 - RSS	29	0,7	0,9	1,0	1,3	2,7	1,2	0,5	0,1	1,0	1,4
Alcalinidade ($mgCaCO_3.L^{-1}$)	01 - RSD	44	372	840	1.115	2.112	4.330	1.488	929,5	140,1	1.212,9	1.762,2
	02 - RSS	45	440	751	860	1.128	3.230	1.012	468,9	69,9	874,9	1.148,9
Cloreto ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	49	5	110	765	1.157	1.827	716,7	586,2	83,7	552,6	880,9
	02 - RSS	49	4	160	220	294	920	239,7	170,4	24,3	192,0	287,4
Condutividade (uS/cm)	01 - RSD	51	1.124	2.690	3.500	6.760	8.350	4.539	2.187	306	3.938	5.139
	02 - RSS	51	240	1.584	1.932	2.400	8.940	2.209	1.336	187	1.842	2.576
Cor ($mgPtCo.L^{-1}$)	01 - RSD	36	22	102	267	509	1.843	379	381,4	63,6	254,1	503,3
	02 - RSS	36	37	73	101	217	1.203	218	271,5	45,2	129,2	306,6
COT ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	27	35,8	120,1	172,7	322,5	634,2	207,5	134,9	26,0	156,7	258,4
	02 - RSS	28	17,1	52,7	60,6	124,6	555,5	110,5	121,7	23,0	65,4	155,6
DBO ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	40	1,1	14,0	21,9	40,4	163,1	32,4	32,0	5,1	22,5	42,3
	02 - RSS	38	0,6	8,6	17,4	25,1	51,5	18,0	11,8	1,9	14,2	21,7
DQO ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	51	154	221	305	622	1.091	415	231,6	32,4	351,9	479,0
	02 - RSS	52	100	129	151	183	1.106	208	176,5	24,5	159,7	255,7
Relação DBO/DQO	01 - RSD	39	0,01	0,04	0,06	0,08	0,15	0,06	0,03	0,01	0,05	0,07
	02 - RSS	37	0,00	0,06	0,12	0,15	0,35	0,12	0,08	0,01	0,09	0,14
Dureza ($mgCaCO_3.L^{-1}$)	01 - RSD	42	150	640	740	790	1.368	669,7	233,2	36,0	599,2	740,2
	02 - RSS	46	33	270	340	400	1.409	364,7	211,5	31,2	303,6	425,8
Fósforo ($mgP.L^{-1}$)	01 - RSD	45	0,01	0,03	0,18	0,29	1,23	0,25	0,30	0,04	0,16	0,33
	02 - RSS	45	0,01	0,01	0,08	0,26	1,99	0,23	0,41	0,06	0,12	0,35

N – Nº de amostras IC – Índice de Confiança

Apêndice 3 (b) – Estatística descritiva

Variável	Tratamento	N	Mínimo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Máximo	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	IC (95%)	
											Inferior	Superior
N-Amoniacal ($mgN.L^{-1}$)	01 - RSD	48	12	78	217	333	1.639	351,2	421,8	60,9	231,9	470,5
	02 - RSS	49	21	111	168	258	2.121	294,4	385,9	55,1	186,4	402,5
pH	01 - RSD	51	5,8	6,9	7,0	7,2	7,7	7,0	0,3	0,0	6,9	7,1
	02 - RSS	52	5,6	6,7	6,8	6,9	7,4	6,8	0,3	0,0	6,7	6,9
SSED ($mL.L^{-1}$)	01 - RSD	39	0,0	0,1	0,4	0,8	5,5	0,8	1,1	0,2	0,4	1,1
	02 - RSS	40	0,1	0,1	1,6	2,8	5,2	1,7	1,6	0,2	1,2	2,2
ST ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	44	1.700	2.164	2.405	3.700	6.300	2.933	1.040,6	156,9	2.625,6	3.240,5
	02 - RSS	45	94	800	1.000	1.329	5.558	1.233	979,9	146,1	946,6	1.519,2
Sulfato ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	33	0,4	4,3	10,0	18,3	96,2	18,6	22,7	4,0	10,8	26,3
	02 - RSS	34	0,2	3,1	6,3	11,3	39,4	9,6	9,9	1,7	6,3	13,0
Turbidez (UNT)	01 - RSD	50	6,5	22,3	54,3	84,0	268,0	66,3	57,5	8,1	50,4	82,2
	02 - RSS	52	5,7	26,3	55,5	71,6	234,0	61,3	45,2	6,3	49,0	73,6
Toxicidade CL50 (%)	01 - RSD	9	8,80	35,36	35,40	43,52	89,00	40,36	21,9	7,3	26,1	54,7
	02 - RSS	10	17,68	20,31	31,90	35,36	50,00	29,63	10,1	3,2	23,4	35,9
Toxicidade (UT)	01 - RSD	9	2	4	4	4	16	5,6	4,2	1,4	2,8	8,3
	02 - RSS	10	4	4	4	8	8	5,6	2,1	0,7	4,3	6,9
Temperatura (ºC)	01 - RSD	340	25,0	28,2	29,0	29,9	38,0	29,1	1,27	0,1	28,9	29,2
	02 - RSS	340	25,0	27,1	28,4	29,0	33,0	28,3	1,32	0,1	28,2	28,4
Volume (L/dia)	01 - RSD	340	1	6	18	41	812	43,4	84,9	4,6	34,4	52,4
	02 - RSS	342	1	9	21	60	501	51,7	80,6	4,4	43,2	60,2

N – Nº de amostras IC – Índice de Confiança

Apêndice 3 (c) – Estatística descritiva

Variável	Tratamento	N	Mínimo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Máximo	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	IC (95%)	
											Inferior	Superior
Cádmio ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	49	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
	02 - RSS	49	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Chumbo (mg L-1)	01 - RSD	49	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02
	02 - RSS	49	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Cobre ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	49	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
	02 - RSS	49	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02
Cromo ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	49	0,01	0,01	0,01	0,04	0,10	0,02	0,02	0,00	0,02	0,03
	02 - RSS	49	0,01	0,01	0,01	0,04	0,20	0,02	0,03	0,00	0,02	0,03
Ferro ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	49	0,20	3,05	5,82	8,57	28,00	6,41	5,04	0,72	5,01	7,83
	02 - RSS	49	0,62	4,56	7,34	10,40	22,50	8,00	5,01	0,72	6,60	9,41
Níquel ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	48	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02
	02 - RSS	47	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02
Zinco ($mg.L^{-1}$)	01 - RSD	49	0,01	0,02	0,04	0,10	0,60	0,07	0,09	0,01	0,05	0,10
	02 - RSS	49	0,01	0,02	0,05	0,10	3,40	0,14	0,48	0,07	0,01	0,28

N – Nº de amostras IC – Índice de Confiança

Apêndice 4 – Comparação de médias das células pelo Teste T (RSD x RSS)

Variável	Teste T para Igualdade de Médias (RSD x RSS)		
	T	G.L.	Significância (Bi-Caudal) (p-valor %)
Absorbância	5,452	56	0,00
Alcalinidade	3,058	87	0,30
Cloreto	5,470	96	0,00
Condutividade	6,491	100	0,00
Cor	2,060	70	4,31
Carbono Orgânico Total - COT	2,804	53	0,70
DBO	2,624	76	1,05
DQO	5,127	101	0,00
Relação DBO/DQO	-3,765	74	0,03
Dureza	6,435	86	0,00
Fósforo	0,163	88	87,10
N-Amoniacal	0,692	95	49,05
pH	3,355	101	0,11
Sólidos Sedimentáveis - SSED	-2,880	77	0,51
Sólidos Totais – ST	7,937	87	0,00
Sulfato	2,091	65	4,00
Turbidez	0,490	100	62,55
Toxicidade (CL50)	1,398	17	18,00
Toxicidade (UT)	-0,030	17	97,67
Temperatura	7,695	678	0,00
Volume	-1,315	680	18,90
Cádmio	0,000	96	100,00
Chumbo	1,000	96	32,10
Cromo	-0,074	96	94,10
Cobre	-1,467	96	14,60
Ferro	-1,566	96	12,10
Níquel	-0,534	93	59,50
Zinco	-1,086	96	28,00

T – Valor do teste

G.L. – Grau de Liberdade

p-valor – são considerados iguais com até 5% de erro

Apêndice 5 – Correlação das variáveis com o tempo de aterramento (Evolução temporal).

Variável	RSD			RSS		
	Pearson	p-valor (%)	C	Pearson	p-valor (%)	C
Absorbância	,684**	0,00	↑	,497**	0,70	↑
Alcalinidade	,766**	0,00	↑	,053	36,40	
Carbono Orgânico Total - COT	,516**	0,30	↑	-,403*	1,70	↓
Cloreto	,680**	0,00	↑	,179	10,90	
Condutividade	,861**	0,00	↑	,124	19,20	
Cor	,563**	0,00	↑	-,090	30,00	
DBO	,574**	0,01	↑	,241	7,20	
DQO	,806**	0,00	↑	-,431**	0,10	↓
Relação DBO/DQO	,162	16,20		,255	6,40	
Dureza	-,329*	1,70	↓	-,428**	0,20	↓
Fósforo	-,238	5,80		-,225	6,90	
N-Amoniacal	,406**	0,20	↑	,173	11,70	
pH	,591**	0,00	↑	-,034	40,60	
Sólidos Sedimentáveis - SSED	-,556**	0,00	↓	-,306*	2,70	↓
Sólidos Totais - ST	,651**	0,00	↑	,102	25,30	
Sulfato	-,036	42,20		-,582**	0,00	↓
Toxicidade (CL50)	-,629*	3,50	↓	,611*	3,00	↑
Toxicidade (UT)	,786**	0,60	↑	-,717**	1,00	↓
Turbidez	-,595**	0,00	↓	-,623**	0,00	↓
Temperatura	-,206	8,50		-,412**	0,20	↓
Volume	,230	6,20		-,000	40,10	
Cádmio	.[a]	-		.[a]	-	
Chumbo	-,133	18,10		.[a]	-	
Cobre	.[a]	-		-,103	24,90	
Cromo	,518**	0,00	↑	,267*	3,20	↑
Ferro	-,788**	0,00	↓	-,686**	0,00	↓
Níquel	-,152	15,20		-,246*	4,80	↓
Zinco	-,455**	0,10	↓	-,303*	1,70	↓

a. Não pode ser computado pois todos os resultados da variável são constantes.

(**) Correlação é significativa com até 1% de erro.

(*) Correlação é significativa com até 5% de erro.

C - Correlação Positiva (↑) e Correlação Negativa (↓)

Apêndice 6(a) – Matriz de correlação entre os parâmetros para RSD

Variável	Absorbância	Alcalinidade	Carbono Orgânico Total	Cloreto	Condutividade	COR Verdadeira	DBO	DQO	Dureza	Fósforo	N Amoniacal	pH	Sólidos Sedimentáveis	Sólidos Totais	Sulfato	Temperatura	Turbidez	Toxicidade (UT)	Volume	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Níquel	Zinco
Absorbância	1																									
Alcalinidade	0,88*	1																								
Carbono Orgânico Total	0,29	0,52*	1																							
Cloreto	0,58*	0,56*	0,71*	1																						
Condutividade	0,68*	0,93*	0,51*	0,74*	1																					
Cor Verdadeira	0,82*	0,75*	0,44*	0,63*	0,65*	1																				
DBO	0,77*	0,67*	0,28	0,62*	0,61*	0,88*	1																			
DQO	0,83*	0,88*	0,49*	0,79*	0,91*	0,85*	0,83*	1																		
DUREZA	-0,13	-0,20	0,34	-0,49*	-0,46*	0,02	0,01	-0,30*	1																	
Fósforo	0,63*	-0,20	-0,13	-0,14	-0,06	0,69*	0,49*	0,13	0,28	1																
N Amoniacal	-0,14	0,46*	0,22	0,27*	0,40*	0,12	0,05	0,29*	0,06	-0,28*	1															
pH	-0,09	0,53*	0,29	0,24*	0,51*	0,22	0,03	0,30*	-0,30*	-0,24	0,30*	1														
Sólidos Sedimentáveis	-0,10	-0,29*	-0,32	-0,42*	-0,34*	-0,21	-0,40*	-0,27*	0,16	0,69*	-0,31*	-0,43*	1													
Sólidos Totais	0,21	0,60*	0,72*	0,56*	0,62*	0,36*	0,43*	0,60*	-0,31*	-0,26	0,30*	0,37*	-0,28*	1												
Sulfato	-0,16	-0,02	-0,00	0,33*	0,09	-0,16	-0,16	-0,01	-0,41*	-0,23	0,20	0,08	-0,36*	0,15	1											
Temperatura	-0,14	-0,19	-0,07	0,01	-0,17	-0,25	-0,07	-0,08	-0,11	0,11	-0,28*	-0,28*	0,30*	0,05	0,01	1										
Turbidez	-0,44*	-0,42*	-0,63*	-0,49*	-0,56*	-0,42*	-0,44*	-0,56*	0,20	0,15	-0,37*	-0,49*	0,25	-0,20	-0,12	0,21	1									
Toxicidade (UT)	1,00*	0,96*	1,00*	0,60	0,88*	0,95*	0,93	0,81*	0,51	-0,34	0,80*	0,45	-0,43	0,96*	-0,09	-0,18	-0,28	1								
Volume	0,82*	-0,09	0,06	0,44*	0,31*	0,62*	0,73*	0,57*	0,05	0,37*	-0,14	-0,33*	0,11	-0,14	-0,06	0,13	-0,10	-0,18	1							
Cádmio	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	1						
Chumbo	0,00	-0,12	[a]	-0,17	-0,13	[a]	[a]	-0,15	-0,06	0,00	-0,01	-0,05	0,35*	-0,06	[a]	0,01	-0,06	[a]	-0,09	[a]	1					
Cobre	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	1				
Cromo	0,37*	0,16	0,37*	0,46*	0,42*	0,53*	0,38*	0,46*	-0,11	-0,09	0,24	0,06	-0,21	0,31*	0,18	-0,16	-0,28*	-0,02	0,42*	[a]	-0,10	[a]	1			
Ferro	-0,44*	-0,53*	-0,47*	-0,46*	-0,66*	-0,40*	-0,39*	-0,54*	0,26	0,26*	-0,38*	-0,73*	0,52*	-0,35*	-0,09	0,44*	0,71*	-0,42	-0,05	[a]	0,04	[a]	-0,31*	1		
Níquel	0,00	-0,15	[a]	-0,20	-0,15	[a]	-0,09	-0,18	-0,05	0,00	-0,01	-0,07	0,34*	-0,08	[a]	-0,03	-0,07	[a]	-0,10	[a]	0,98*	[a]	-0,13	0,04	1	
Zinco	0,08	-0,38*	-0,15	-0,14	-0,43*	-0,14	-0,01	-0,29*	0,19	0,16	-0,29*	-0,27*	0,14	-0,36*	-0,01	0,29*	0,20	-0,38	0,01	[a]	-0,10	[a]	-0,04	0,53*	-0,12	1

Fonte preta correlação positiva e vermelha correlação negativa

[a.] Não pode ser computado pois todos os resultados da variável são constantes.

* Correlação significativa

Apêndice 6(b) – Matriz de correlação entre os parâmetros para RSS

Variável	Absorbância	Alcalinidade	Carbono Orgânico Total	Cloreto	Condutividade	COR Verdadeira	DBO	DQO	Dureza	Fósforo	N Amoniacal	pH	Sólidos Sedimentáveis	Sólidos Totais	Sulfato	Temperatura	Turbidez	Toxicidade (UT)	Volume	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Níquel	Zinco
Absorbância	1																									
Alcalinidade	0,01	1																								
Carbono Orgânico Total	0,59*	0,29	1																							
Cloreto	0,47*	0,20	0,52*	1																						
Condutividade	-0,10	0,07	-0,14	0,13	1																					
COR Verdadeira	0,41*	0,19	0,12	,0,10	-0,14	1																				
DBO	0,38*	0,14	0,57*	0,15	-0,15	0,56*	1																			
DQO	0,28	0,37*	0,84*	0,39*	0,02	0,34*	0,45*	1																		
DUREZA	-0,15	0,35*	0,79*	0,09	-0,13	0,56*	0,57*	0,68*	1																	
Fósforo	0,26	-0,01	0,04	-0,24	0,22	0,21	0,05	0,07	0,26	1																
N Amoniacal	-0,18	0,07	0,24	-0,04	-0,07	-0,12	0,11	0,04	0,16	-0,20	1															
pH	-0,12	-0,03	0,10	0,20	0,33*	-0,64*	-0,25	-0,12	-0,10	0,06	-0,09	1														
Sólidos Sedimentáveis	-0,21	0,13	-0,04	-0,26	-0,20	-0,41*	0,07	-0,30*	0,38*	0,08	-0,20	-0,05	1													
Sólidos Totais	0,34	0,17	-0,24	0,12	0,04	-0,31	-0,42*	-0,17	-0,32*	0,07	0,13	0,23	-0,19	1												
Sulfato	-0,18	0,10	0,29	0,23	0,35*	0,06	-0,12	0,44*	0,25	0,08	-0,15	0,10	-0,17	-0,10	1											
Temperatura	0,19	0,15	0,13	-0,23	-0,22	0,41*	0,23	0,30*	0,29*	0,23	-0,31*	-0,29*	0,36*	0,01	-0,01	1										
Turbidez	-0,26	0,15	0,67*	0,13	0,13	0,05	-0,25	0,58*	0,63*	0,07	-0,14	0,13	0,19	-0,26*	0,48*	0,04	1									
Toxicidade (UT)	a.	0,65*	1,00*	0,08	0,19	0,40	-0,59	0,65*	0,69*	0,48	-0,20	0,57*	-0,23	0,24	0,82	0,48	0,09	1								
Volume	0,28	0,37*	-0,01	-0,03	0,03	0,73*	0,39*	0,43*	0,35*	0,39*	-0,16	-0,56*	-0,15	-0,36*	0,14	0,22	0,00	0,53	1							
Cádmio	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	1						
Chumbo	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	a.	1					
Cobre	-0,05	-0,03	-0,14	-0,13	-0,06	-0,09	0,12	-0,06	0,19	-0,05	-0,06	-0,03	0,31*	0,01	-0,15	0,28*	0,01	-0,27	-0,09	a.	a.	1				
Cromo	0,59*	0,03	0,26	0,06	-0,10	,332*	0,33*	-0,11	-0,02	0,10	-0,05	-0,21	0,10	0,10	-0,32*	0,10	-0,24	-0,33	0,18	a.	a.	0,67*	1			
Ferro	-0,20	0,00	0,01	-0,37*	-0,24*	0,27	0,10	0,33*	0,61*	0,18	-0,13	0,03	0,42*	-0,07	0,39*	0,47*	0,54*	0,69*	0,07	a.	a.	0,15	-0,14	1		
Níquel	-0,19	-0,16	a.	-0,30*	-0,08	-0,11	-0,16	-0,09	-0,14	0,01	-0,04	0,04	0,08	0,04	-0,00	-0,04	0,14	a.	-0,11	a.	a.	-0,05	-0,11	0,05	1	
Zinco	0,31	0,18	0,34*	-0,10	-0,11	-0,00	0,29*	0,12	0,28*	0,07	-0,09	0,10	0,20	0,02	0,61*	0,17	-0,03	0,46	0,04	a.	a.	-0,03	-0,07	0,35*	-0,04	1

Fonte preta correlação positiva e vermelha correlação negativa

[a.] Não pode ser computado pois todos os resultados da variável são constantes.

* Correlação significativa

Anexo – Pluviometria do período de 01/12/10 a 08/05/11 (Estação Pluviométrica Recreio)

Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada	Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada	Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada
01/12/10	0,4	0,4	23/01/11	0	246,6	17/03/11	2	372,6
02/12/10	5,2	5,6	24/01/11	0	246,6	18/03/11	0	372,6
03/12/10	2,2	7,8	25/01/11	0	246,6	19/03/11	0	372,6
04/12/10	0,4	8,2	26/01/11	0	246,6	20/03/11	0	372,6
05/12/10	24,6	32,8	27/01/11	0	246,6	21/03/11	3,4	376
06/12/10	0,4	33,2	28/01/11	0	246,6	22/03/11	2,4	378,4
07/12/10	1	34,2	29/01/11	0	246,6	23/03/11	0	378,4
08/12/10	0	34,2	30/01/11	0	246,6	24/03/11	0	378,4
09/12/10	0	34,2	31/01/11	0	246,6	25/03/11	0	378,4
10/12/10	3,2	37,4	01/02/11	28,2	274,8	26/03/11	0	378,4
11/12/10	0	37,4	02/02/11	0	274,8	27/03/11	0	378,4
12/12/10	0	37,4	03/02/11	0	274,8	28/03/11	0	378,4
13/12/10	6,4	43,8	04/02/11	0	274,8	29/03/11	11,6	390
14/12/10	7,2	51	05/02/11	0	274,8	30/03/11	1,2	391,2
15/12/10	11,6	62,6	06/02/11	0	274,8	31/03/11	23,8	415
16/12/10	4,2	66,8	07/02/11	0	274,8	01/04/11	10,6	425,6
17/12/10	0	66,8	08/02/11	0	274,8	02/04/11	3,8	429,4
18/12/10	0	66,8	09/02/11	0	274,8	03/04/11	5,4	434,8
19/12/10	0	66,8	10/02/11	0	274,8	04/04/11	2,8	437,6
20/12/10	0	66,8	11/02/11	2,6	277,4	05/04/11	0,6	438,2
21/12/10	0	66,8	12/02/11	0	277,4	06/04/11	0	438,2
22/12/10	8,8	75,6	13/02/11	0	277,4	07/04/11	0	438,2
23/12/10	16	91,6	14/02/11	0	277,4	08/04/11	0	438,2
24/12/10	5,6	97,2	15/02/11	0	277,4	09/04/11	0,2	438,4
25/12/10	0	97,2	16/02/11	0	277,4	10/04/11	0	438,4
26/12/10	0	97,2	17/02/11	0	277,4	11/04/11	0	438,4
27/12/10	18,8	116	18/02/11	0	277,4	12/04/11	0	438,4
28/12/10	20,8	136,8	19/02/11	0	277,4	13/04/11	0	438,4
29/12/10	8	144,8	20/02/11	0	277,4	14/04/11	0	438,4
30/12/10	19	163,8	21/02/11	0	277,4	15/04/11	0	438,4
31/12/10	0	163,8	22/02/11	6	283,4	16/04/11	0	438,4
01/01/11	0,2	164	23/02/11	3,2	286,6	17/04/11	0	438,4
02/01/11	1,8	165,8	24/02/11	0	286,6	18/04/11	0	438,4
03/01/11	8,8	174,6	25/02/11	0	286,6	19/04/11	0	438,4
04/01/11	9,6	184,2	26/02/11	0	286,6	20/04/11	0	438,4
05/01/11	0	184,2	27/02/11	0	286,6	21/04/11	0	438,4
06/01/11	0	184,2	28/02/11	5,2	291,8	22/04/11	0	438,4
07/01/11	0	184,2	01/03/11	0,2	292	23/04/11	0	438,4
08/01/11	0	184,2	02/03/11	3,4	295,4	24/04/11	70,2	508,6
09/01/11	0	184,2	03/03/11	2,2	297,6	25/04/11	23	531,6
10/01/11	0,2	184,4	04/03/11	8,6	306,2	26/04/11	35,8	567,4
11/01/11	42,4	226,8	05/03/11	14,8	321	27/04/11	2,2	569,6
12/01/11	1,2	228	06/03/11	3,8	324,8	28/04/11	0,4	570
13/01/11	4,2	232,2	07/03/11	0	324,8	29/04/11	0	570
14/01/11	0	232,2	08/03/11	0,4	325,2	30/04/11	0	570
15/01/11	0,6	232,8	09/03/11	2	327,2	01/05/11	0	570
16/01/11	3,8	236,6	10/03/11	2	329,2	02/05/11	2,2	572,2
17/01/11	0	236,6	11/03/11	1,2	330,4	03/05/11	3,6	575,8
18/01/11	10	246,6	12/03/11	0	330,4	04/05/11	0	575,8
19/01/11	0	246,6	13/03/11	0	330,4	05/05/11	0	575,8
20/01/11	0	246,6	14/03/11	0,2	330,6	06/05/11	0	575,8
21/01/11	0	246,6	15/03/11	29,6	360,2	07/05/11	0	575,8
22/01/11	0	246,6	16/03/11	10,4	370,6	08/05/11	0	575,8

Anexo – Pluviometria do período de 09/05/11 a 14/10/11 (Estação Pluviométrica Recreio)

Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada	Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada	Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada
09/05/11	0	575,8	01/07/11	0	717,6	23/08/11	0	805,2
10/05/11	14,8	590,6	02/07/11	0	717,6	24/08/11	0	805,2
11/05/11	0	590,6	03/07/11	1,8	719,4	25/08/11	0	805,2
12/05/11	2,2	592,8	04/07/11	10,4	729,8	26/08/11	0	805,2
13/05/11	8,6	601,4	05/07/11	0	729,8	27/08/11	0	805,2
14/05/11	1,4	602,8	06/07/11	0,2	730	28/08/11	0	805,2
15/05/11	1,8	604,6	07/07/11	6	736	29/08/11	0	805,2
16/05/11	7,2	611,8	08/07/11	0,2	736,2	30/08/11	0	805,2
17/05/11	22,4	634,2	09/07/11	0	736,2	31/08/11	13,4	818,6
18/05/11	8,2	642,4	10/07/11	0	736,2	01/09/11	0	818,6
19/05/11	0	642,4	11/07/11	0	736,2	02/09/11	0	818,6
20/05/11	0	642,4	12/07/11	0	736,2	03/09/11	0	818,6
21/05/11	0	642,4	13/07/11	0	736,2	04/09/11	0	818,6
22/05/11	0	642,4	14/07/11	0	736,2	05/09/11	0	818,6
23/05/11	0	642,4	15/07/11	0	736,2	06/09/11	0	818,6
24/05/11	0	642,4	16/07/11	0	736,2	07/09/11	0	818,6
25/05/11	0	642,4	17/07/11	0	736,2	08/09/11	0	818,6
26/05/11	0	642,4	18/07/11	0,2	736,4	09/09/11	0	818,6
27/05/11	32,4	674,8	19/07/11	0	736,4	10/09/11	0	818,6
28/05/11	7,4	682,2	20/07/11	0	736,4	11/09/11	0	818,6
29/05/11	1,4	683,6	21/07/11	0	736,4	12/09/11	0,4	819
30/05/11	0	683,6	22/07/11	5,8	742,2	13/09/11	0	819
31/05/11	0	683,6	23/07/11	24,6	766,8	14/09/11	28	847
01/06/11	0	683,6	24/07/11	0,2	767	15/09/11	1,8	848,8
02/06/11	0	683,6	25/07/11	0	767	16/09/11	0	848,8
03/06/11	0	683,6	26/07/11	0	767	17/09/11	0	848,8
04/06/11	2	685,6	27/07/11	0	767	18/09/11	0	848,8
05/06/11	0,4	686	28/07/11	0	767	19/09/11	0	848,8
06/06/11	0	686	29/07/11	0	767	20/09/11	0	848,8
07/06/11	2	688	30/07/11	0	767	21/09/11	0	848,8
08/06/11	1,4	689,4	31/07/11	0	767	22/09/11	1,4	850,2
09/06/11	7,2	696,6	01/08/11	0,4	767,4	23/09/11	0	850,2
10/06/11	1	697,6	02/08/11	0	767,4	24/09/11	0,4	850,6
11/06/11	0	697,6	03/08/11	9,8	777,2	25/09/11	0	850,6
12/06/11	0	697,6	04/08/11	0,8	778	26/09/11	0	850,6
13/06/11	0	697,6	05/08/11	0	778	27/09/11	0	850,6
14/06/11	0,2	697,8	06/08/11	0	778	28/09/11	0	850,6
15/06/11	0	697,8	07/08/11	0	778	29/09/11	0	850,6
16/06/11	0	697,8	08/08/11	0	778	30/09/11	0	850,6
17/06/11	0	697,8	09/08/11	0	778	01/10/11	0	850,6
18/06/11	0	697,8	10/08/11	7,6	785,6	02/10/11	0	850,6
19/06/11	0	697,8	11/08/11	1,6	787,2	03/10/11	20,4	871
20/06/11	0	697,8	12/08/11	0	787,2	04/10/11	2,2	873,2
21/06/11	0	697,8	13/08/11	0	787,2	05/10/11	0	873,2
22/06/11	0	697,8	14/08/11	0	787,2	06/10/11	0	873,2
23/06/11	1,8	699,6	15/08/11	0	787,2	07/10/11	0	873,2
24/06/11	0	699,6	16/08/11	0	787,2	08/10/11	0	873,2
25/06/11	0	699,6	17/08/11	0	787,2	09/10/11	0	873,2
26/06/11	6,4	706	18/08/11	0	787,2	10/10/11	0	873,2
27/06/11	11,6	717,6	19/08/11	0	787,2	11/10/11	27,4	900,6
28/06/11	0	717,6	20/08/11	7	794,2	12/10/11	0	900,6
29/06/11	0	717,6	21/08/11	6,6	800,8	13/10/11	3,4	904
30/06/11	0	717,6	22/08/11	4,4	805,2	14/10/11	3,6	907,6

Anexo – Pluviometria do período de 15/10/11 a 21/03/12 (Estação Pluviométrica Recreio)

Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada	Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada	Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada
15/10/11	9,2	916,8	07/12/11	0,6	1106,4	29/01/12	7,6	1454,6
16/10/11	7,8	924,6	08/12/11	1,8	1108,2	30/01/12	0	1454,6
17/10/11	44,6	969,2	09/12/11	1,6	1109,8	31/01/12	4	1458,6
18/10/11	24,2	993,4	10/12/11	2,8	1112,6	01/02/12	9,2	1467,8
19/10/11	0,2	993,6	11/12/11	0,6	1113,2	02/02/12	0,2	1468
20/10/11	0	993,6	12/12/11	0	1113,2	03/02/12	0	1468
21/10/11	0	993,6	13/12/11	0	1113,2	04/02/12	0	1468
22/10/11	0	993,6	14/12/11	5,2	1118,4	05/02/12	0	1468
23/10/11	0	993,6	15/12/11	1,6	1120	06/02/12	0	1468
24/10/11	0	993,6	16/12/11	28,6	1148,6	07/02/12	0	1468
25/10/11	0	993,6	17/12/11	0,2	1148,8	08/02/12	0	1468
26/10/11	0	993,6	18/12/11	23,8	1172,6	09/02/12	0	1468
27/10/11	0	993,6	19/12/11	16,8	1189,4	10/02/12	0	1468
28/10/11	6,8	1000,4	20/12/11	0	1189,4	11/02/12	2,8	1470,8
29/10/11	0	1000,4	21/12/11	0	1189,4	12/02/12	36,4	1507,2
30/10/11	4,2	1004,6	22/12/11	0	1189,4	13/02/12	0	1507,2
31/10/11	6,4	1011	23/12/11	0	1189,4	14/02/12	0	1507,2
01/11/11	8	1019	24/12/11	0	1189,4	15/02/12	0	1507,2
02/11/11	0,4	1019,4	25/12/11	13,8	1203,2	16/02/12	0	1507,2
03/11/11	0	1019,4	26/12/11	54,6	1257,8	17/02/12	0	1507,2
04/11/11	0	1019,4	27/12/11	17,6	1275,4	18/02/12	0	1507,2
05/11/11	0	1019,4	28/12/11	15,2	1290,6	19/02/12	0	1507,2
06/11/11	0	1019,4	29/12/11	2	1292,6	20/02/12	0	1507,2
07/11/11	0	1019,4	30/12/11	0	1292,6	21/02/12	0	1507,2
08/11/11	0	1019,4	31/12/11	8	1300,6	22/02/12	0	1507,2
09/11/11	0	1019,4	01/01/12	16,8	1317,4	23/02/12	0	1507,2
10/11/11	0	1019,4	02/01/12	34,8	1352,2	24/02/12	0	1507,2
11/11/11	0	1019,4	03/01/12	0	1352,2	25/02/12	0	1507,2
12/11/11	0	1019,4	04/01/12	0	1352,2	26/02/12	0	1507,2
13/11/11	5,6	1025	05/01/12	0	1352,2	27/02/12	0	1507,2
14/11/11	18,2	1043,2	06/01/12	10,2	1362,4	28/02/12	0	1507,2
15/11/11	5,6	1048,8	07/01/12	0	1362,4	29/02/12	0	1507,2
16/11/11	26	1074,8	08/01/12	2	1364,4	01/03/12	0	1507,2
17/11/11	0,6	1075,4	09/01/12	0,2	1364,6	02/03/12	0	1507,2
18/11/11	0	1075,4	10/01/12	12,2	1376,8	03/03/12	0	1507,2
19/11/11	0	1075,4	11/01/12	0,2	1377	04/03/12	20	1527,2
20/11/11	0	1075,4	12/01/12	0	1377	05/03/12	0	1527,2
21/11/11	0	1075,4	13/01/12	8,8	1385,8	06/03/12	0	1527,2
22/11/11	1,8	1077,2	14/01/12	0,8	1386,6	07/03/12	0	1527,2
23/11/11	13,8	1091	15/01/12	2	1388,6	08/03/12	0	1527,2
24/11/11	0	1091	16/01/12	6,8	1395,4	09/03/12	0	1527,2
25/11/11	0	1091	17/01/12	0	1395,4	10/03/12	0	1527,2
26/11/11	0	1091	18/01/12	0	1395,4	11/03/12	0	1527,2
27/11/11	5	1096	19/01/12	0,8	1396,2	12/03/12	2	1529,2
28/11/11	3,2	1099,2	20/01/12	0	1396,2	13/03/12	0,6	1529,8
29/11/11	0	1099,2	21/01/12	0	1396,2	14/03/12	2,6	1532,4
30/11/11	0	1099,2	22/01/12	0	1396,2	15/03/12	0,8	1533,2
01/12/11	3,6	1102,8	23/01/12	0	1396,2	16/03/12	3,8	1537
02/12/11	3	1105,8	24/01/12	0	1396,2	17/03/12	0	1537
03/12/11	0	1105,8	25/01/12	0	1396,2	18/03/12	0,4	1537,4
04/12/11	0	1105,8	26/01/12	1,8	1398	19/03/12	0	1537,4
05/12/11	0	1105,8	27/01/12	27,8	1425,8	20/03/12	0	1537,4
06/12/11	0	1105,8	28/01/12	21,2	1447	21/03/12	0	1537,4

Anexo – Pluviometria do período de 22/03/12 a 27/08/12 (Estação Pluviométrica Recreio)

Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada	Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada	Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada
22/03/12	7,4	1544,8	14/05/12	19,6	1813,6	06/07/12	0	2012
23/03/12	17	1561,8	15/05/12	3,6	1817,2	07/07/12	0	2012
24/03/12	1	1562,8	16/05/12	25,8	1843	08/07/12	20,4	2032,4
25/03/12	0	1562,8	17/05/12	7	1850	09/07/12	1,4	2033,8
26/03/12	0	1562,8	18/05/12	4,4	1854,4	10/07/12	0	2033,8
27/03/12	0	1562,8	19/05/12	0,2	1854,6	11/07/12	0	2033,8
28/03/12	17,2	1580	20/05/12	0	1854,6	12/07/12	13,8	2047,6
29/03/12	7,2	1587,2	21/05/12	0	1854,6	13/07/12	0	2047,6
30/03/12	0	1587,2	22/05/12	0	1854,6	14/07/12	0	2047,6
31/03/12	0,6	1587,8	23/05/12	0	1854,6	15/07/12	0	2047,6
01/04/12	0	1587,8	24/05/12	0	1854,6	16/07/12	8,8	2056,4
02/04/12	0	1587,8	25/05/12	0	1854,6	17/07/12	0	2056,4
03/04/12	0	1587,8	26/05/12	0	1854,6	18/07/12	10,2	2066,6
04/04/12	1,2	1589	27/05/12	0	1854,6	19/07/12	0	2066,6
05/04/12	1	1590	28/05/12	0	1854,6	20/07/12	0	2066,6
06/04/12	0	1590	29/05/12	0	1854,6	21/07/12	0	2066,6
07/04/12	11,2	1601,2	30/05/12	0	1854,6	22/07/12	0	2066,6
08/04/12	0	1601,2	31/05/12	1,4	1856	23/07/12	0	2066,6
09/04/12	0	1601,2	01/06/12	1,2	1857,2	24/07/12	0	2066,6
10/04/12	0	1601,2	02/06/12	24	1881,2	25/07/12	0	2066,6
11/04/12	0	1601,2	03/06/12	0	1881,2	26/07/12	0	2066,6
12/04/12	0	1601,2	04/06/12	0	1881,2	27/07/12	0	2066,6
13/04/12	0	1601,2	05/06/12	0	1881,2	28/07/12	0	2066,6
14/04/12	0	1601,2	06/06/12	1,2	1882,4	29/07/12	0	2066,6
15/04/12	1,6	1602,8	07/06/12	26,4	1908,8	30/07/12	0	2066,6
16/04/12	6	1608,8	08/06/12	16,6	1925,4	31/07/12	0	2066,6
17/04/12	0,2	1609	09/06/12	27,2	1952,6	01/08/12	0	2066,6
18/04/12	0	1609	10/06/12	0,2	1952,8	02/08/12	0	2066,6
19/04/12	0	1609	11/06/12	2	1954,8	03/08/12	0	2066,6
20/04/12	0	1609	12/06/12	0	1954,8	04/08/12	0	2066,6
21/04/12	2,8	1611,8	13/06/12	0	1954,8	05/08/12	6,8	2073,4
22/04/12	21,2	1633	14/06/12	0	1954,8	06/08/12	0	2073,4
23/04/12	0	1633	15/06/12	0	1954,8	07/08/12	0	2073,4
24/04/12	0	1633	16/06/12	0	1954,8	08/08/12	0	2073,4
25/04/12	0	1633	17/06/12	0	1954,8	09/08/12	0	2073,4
26/04/12	1,6	1634,6	18/06/12	0	1954,8	10/08/12	0	2073,4
27/04/12	2,6	1637,2	19/06/12	0	1954,8	11/08/12	0	2073,4
28/04/12	0,2	1637,4	20/06/12	2	1956,8	12/08/12	0	2073,4
29/04/12	12,6	1650	21/06/12	19,8	1976,6	13/08/12	0	2073,4
30/04/12	56,4	1706,4	22/06/12	22,2	1998,8	14/08/12	1,4	2074,8
01/05/12	39,8	1746,2	23/06/12	0	1998,8	15/08/12	0,2	2075
02/05/12	1,2	1747,4	24/06/12	0	1998,8	16/08/12	0	2075
03/05/12	4	1751,4	25/06/12	0	1998,8	17/08/12	0	2075
04/05/12	2	1753,4	26/06/12	13,2	2012	18/08/12	0	2075
05/05/12	0	1753,4	27/06/12	0	2012	19/08/12	0	2075
06/05/12	0	1753,4	28/06/12	0	2012	20/08/12	0	2075
07/05/12	0	1753,4	29/06/12	0	2012	21/08/12	0	2075
08/05/12	7,2	1760,6	30/06/12	0	2012	22/08/12	0	2075
09/05/12	0	1760,6	01/07/12	0	2012	23/08/12	0	2075
10/05/12	0	1760,6	02/07/12	0	2012	24/08/12	0	2075
11/05/12	0	1760,6	03/07/12	0	2012	25/08/12	0	2075
12/05/12	0	1760,6	04/07/12	0	2012	26/08/12	0	2075
13/05/12	33,4	1794	05/07/12	0	2012	27/08/12	0	2075

Anexo – Pluviometria do período de 28/08/12 a 02/02/13 (Estação Pluviométrica Recreio)

Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada	Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada	Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada
28/08/12	5,4	2080,4	20/10/12	0,6	2202,4	12/12/12	3,4	2317,4
29/08/12	0,6	2081	21/10/12	10	2212,4	13/12/12	0,4	2317,8
30/08/12	2,4	2083,4	22/10/12	0,2	2212,6	14/12/12	5,2	2323
31/08/12	0	2083,4	23/10/12	0,6	2213,2	15/12/12	1,8	2324,8
01/09/12	0	2083,4	24/10/12	3	2216,2	16/12/12	0,4	2325,2
02/09/12	0	2083,4	25/10/12	0	2216,2	17/12/12	0	2325,2
03/09/12	0,4	2083,8	26/10/12	0	2216,2	18/12/12	0	2325,2
04/09/12	0	2083,8	27/10/12	0	2216,2	19/12/12	0	2325,2
05/09/12	0	2083,8	28/10/12	0	2216,2	20/12/12	0	2325,2
06/09/12	0	2083,8	29/10/12	0	2216,2	21/12/12	0	2325,2
07/09/12	0	2083,8	30/10/12	0	2216,2	22/12/12	0	2325,2
08/09/12	0	2083,8	31/10/12	0	2216,2	23/12/12	0	2325,2
09/09/12	0	2083,8	01/11/12	0,6	2216,8	24/12/12	0	2325,2
10/09/12	0	2083,8	02/11/12	0,6	2217,4	25/12/12	0	2325,2
11/09/12	0	2083,8	03/11/12	0	2217,4	26/12/12	0	2325,2
12/09/12	0	2083,8	04/11/12	0	2217,4	27/12/12	8,8	2334
13/09/12	1,2	2085	05/11/12	0	2217,4	28/12/12	0	2334
14/09/12	0,2	2085,2	06/11/12	0	2217,4	29/12/12	0	2334
15/09/12	0	2085,2	07/11/12	0	2217,4	30/12/12	1,8	2335,8
16/09/12	0	2085,2	08/11/12	0	2217,4	31/12/12	0	2335,8
17/09/12	0	2085,2	09/11/12	1,2	2218,6	01/01/13	0	2335,8
18/09/12	0	2085,2	10/11/12	4,4	2223	02/01/13	0,2	2336
19/09/12	0	2085,2	11/11/12	0	2223	03/01/13	37,4	2373,4
20/09/12	0,4	2085,6	12/11/12	0,4	2223,4	04/01/13	5,8	2379,2
21/09/12	13,4	2099	13/11/12	27,8	2251,2	05/01/13	0	2379,2
22/09/12	2,2	2101,2	14/11/12	1,6	2252,8	06/01/13	0	2379,2
23/09/12	0	2101,2	15/11/12	3,4	2256,2	07/01/13	0	2379,2
24/09/12	0	2101,2	16/11/12	2	2258,2	08/01/13	0	2379,2
25/09/12	18,6	2119,8	17/11/12	0	2258,2	09/01/13	16	2395,2
26/09/12	48,2	2168	18/11/12	0,4	2258,6	10/01/13	22	2417,2
27/09/12	1	2169	19/11/12	0	2258,6	11/01/13	4,2	2421,4
28/09/12	2,8	2171,8	20/11/12	1,6	2260,2	12/01/13	0,2	2421,6
29/09/12	0	2171,8	21/11/12	0	2260,2	13/01/13	2,2	2423,8
30/09/12	0	2171,8	22/11/12	0	2260,2	14/01/13	42,8	2466,6
01/10/12	0	2171,8	23/11/12	0	2260,2	15/01/13	10,4	2477
02/10/12	0	2171,8	24/11/12	0	2260,2	16/01/13	7,4	2484,4
03/10/12	0	2171,8	25/11/12	3,4	2263,6	17/01/13	25,8	2510,2
04/10/12	0	2171,8	26/11/12	19	2282,6	18/01/13	3	2513,2
05/10/12	0	2171,8	27/11/12	23,8	2306,4	19/01/13	31,4	2544,6
06/10/12	0	2171,8	28/11/12	1	2307,4	20/01/13	19,2	2563,8
07/10/12	0	2171,8	29/11/12	0	2307,4	21/01/13	32,2	2596
08/10/12	0	2171,8	30/11/12	0	2307,4	22/01/13	6	2602
09/10/12	0	2171,8	01/12/12	0	2307,4	23/01/13	0	2602
10/10/12	0	2171,8	02/12/12	6,4	2313,8	24/01/13	0	2602
11/10/12	7,6	2179,4	03/12/12	0,2	2314	25/01/13	0	2602
12/10/12	17	2196,4	04/12/12	0	2314	26/01/13	76,8	2678,8
13/10/12	5	2201,4	05/12/12	0	2314	27/01/13	0,8	2679,6
14/10/12	0	2201,4	06/12/12	0	2314	28/01/13	0	2679,6
15/10/12	0	2201,4	07/12/12	0	2314	29/01/13	1	2680,6
16/10/12	0	2201,4	08/12/12	0	2314	30/01/13	0	2680,6
17/10/12	0	2201,4	09/12/12	0	2314	31/01/13	0	2680,6
18/10/12	0,4	2201,8	10/12/12	0	2314	01/02/13	0	2680,6
19/10/12	0	2201,8	11/12/12	0	2314	02/02/13	0	2680,6

Anexo – Pluviometria do período de 03/02/13 a 20/02/13 (Estação Pluviométrica Recreio)

Data	Chuva (mm)	Chuva Acumulada
03/02/13	4,6	2685,2
04/02/13	13,2	2698,4
05/02/13	28,6	2727
06/02/13	0,4	2727,4
07/02/13	41,6	2769
08/02/13	0	2769
09/02/13	0	2769
10/02/13	0	2769
11/02/13	0	2769
12/02/13	0	2769
13/02/13	0	2769
14/02/13	0	2769
15/02/13	0	2769
16/02/13	0	2769
17/02/13	0	2769
18/02/13	0	2769
19/02/13	0	2769
20/02/13	0	2769