

Monitoramento das Águas Subterrâneas e Lixiviado do Local de Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Passo Fundo - RS

Márcia Helena Beck
Eduardo Pavan Korf
Viviane Rocha dos Santos
Antonio Thomé
Pedro Alexandre Varella Escosteguy

RESUMO: Os resíduos sólidos urbanos (RSU) representam um problema ambiental, devido ao alto custo de tratamento e disposição e potencial poluidor. As áreas inadequadas de disposição destes resíduos apresentam problemas de vulnerabilidade ambiental pela falta de técnicas de controle de contaminação do solo e das águas. Esses locais, mesmo que apresentem condições de controle, necessitam do monitoramento contínuo da qualidade das águas subterrâneas em função do risco existente. O objetivo do presente trabalho é apresentar os resultados do monitoramento das águas subterrâneas do local de disposição de RSU do município de Passo Fundo (RS). A lagoa de contenção de lixiviado e os quatro poços executados na área foram monitorados durante o período de junho de 2004 a janeiro de 2005. Realizaram-se análises físico-químicas e biológicas. A análise das precipitações também foi realizada. Os resultados mostraram que as águas subterrâneas estão contaminadas com o lixiviado produzido pelos resíduos sólidos depositados junto ao aterro controlado.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoa de contenção de lixiviado, Contaminação de águas subterrâneas, Monitoramento de águas subterrâneas.

ABSTRACT: Urban solid wastes constitute a major municipal management issue due to high treatment/disposal costs and potential environmental impacts. Inadequate disposal siting contributes to environmental vulnerability, especially because of the absence of both soil and water contamination controls. However, even when adequate control is provided, solid waste disposal sites demand continuous groundwater quality monitoring for risk management and mitigation purposes. The present work discuss the results of a comprehensive monitoring program performed at the urban solid waste disposal site in Passo Fundo-RS city, Rio Grande do Sul state, from June 2004 to January 2005. It was carried out physical-chemical and biological analyses on samples extracted directly from both the leachate contention lagoon and from four downstream monitoring wells. The precipitation was also analyzed. The results have shown that groundwater is contaminated by the solid waste leachate.

KEY-WORDS: leachate contention lagoon, groundwater contamination, groundwater monitoring.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) constituem um sério problema ambiental para as administrações públicas, devido ao seu alto custo de tratamento e disposição, e potencial poluidor. A cada dia, uma grande quantidade de RSU é depositada de forma inadequada. De acordo com os resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2000), 30,5 % dos RSU no Brasil são depositados em lixões. Para a região sul do Brasil, Jucá (2002) mostra que 25,9 % dos resíduos são dispostos nesses locais.

Nos lixões, os RSU são dispostos a céu aberto, sem impermeabilização do solo e sem tratamento do

lixiviado e dos gases gerados, causando contaminações e comprometendo o ambiente e a saúde humana. Os principais problemas provocados por este meio de disposição são: proliferação de vetores de doenças, geração de maus odores e, poluição do solo e das águas subterrâneas e superficiais, pela infiltração do lixiviado resultante dos processos de decomposição dos RSU (Tressoldi, 1998).

A composição gravimétrica dos RSU produzidos no Brasil, segundo pesquisa feita por Alcantara (2007) em cidades brasileiras, apresenta em média mais de 50 % de matéria-orgânica, cerca de 35 % de materiais recicláveis e de 10 % a 15 % de rejeitos (outros). Com

a disposição inadequada, outros resíduos perigosos podem estar presentes, como é o caso de resíduos industriais e dos próprios resíduos domésticos. Segundo Oliveira e Jucá (2004), a decomposição dos resíduos gera o lixiviado, que apresenta características físico-químicas e microbiológicas que conferem concentrações variadas de compostos orgânicos e inorgânicos perigosos. Conforme Costa (2002), o lixiviado é constituído basicamente por água rica em sais, metais tóxicos e matéria orgânica, podendo a concentração dessa última chegar a níveis de até cem vezes o valor da concentração em esgotos domésticos.

O lixiviado pode permear as camadas de fundo dos locais de disposição e contaminar o solo e a água subterrânea. Esses locais, mesmo que apresentem condições de controle das contaminações, necessitam do monitoramento contínuo da qualidade das águas subterrâneas, uma vez que a composição do lixiviado é muito variada e muitas vezes se desconhece o comportamento da interação do contaminante com as barreiras de fundo (Lange et al, 2002; Pessin et al., 2003).

Além disso, o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas nas áreas de disposição de resíduos sólidos constitui uma ferramenta de tomada de decisão na gestão de recursos hídricos, pois auxilia na tomada de decisões de gerenciamento no caso de suspeita de contaminação e degradação da qualidade hídrica. Se isto for evidenciado, a solução é a aplicação de técnicas de remediação e contenção da propagação da pluma de contaminação.

O objetivo deste trabalho foi apresentar e discutir os resultados do monitoramento das águas subterrâneas e do lixiviado do local de disposição de RSU do município de Passo Fundo (RS).

METODOLOGIA

Local do estudo

O presente estudo foi realizado na Usina de Reciclagem, Compostagem e Destinação final dos RSU do município de Passo Fundo (RS), localizada próxima à RS 324, rodovia Passo Fundo – Marau, entre as coordenadas 28°25' de latitude Sul e 52°40' de longitude Oeste, no município de Passo Fundo (RS).

O local possui solo de origem residual, com classificação pedológica, segundo Streck et al. (2002), de um Latossolo Vermelho distrófico típico (unidade Passo Fundo) e classificação geotécnica de CH, ou argila de alta compressibilidade. Streck et al. (2002)

destaca que este tipo de solo constitui um material intemperizado com predominância de argilo-mineral caulina e teores elevados de óxidos de ferro (> 18 %), apresentando como características: pH ácido, alto teor de argila, baixo teor de matéria orgânica e baixa CTC.

Este local vem sendo utilizado para a disposição inadequada de RSU produzido pelo município desde 1991. A partir de 2001, teve início a operação na forma de aterro controlado. Entretanto, esta medida não se concretizou e ainda persiste a vulnerabilidade de contaminações do ar, solo e mananciais.

A área possui cerca de 3,5 hectares e recebe 150 toneladas de RSU por dia, sendo 100 toneladas de resíduos domiciliares. Os resíduos que chegam à usina passam por triagem, e os materiais recicláveis, como papel, papelão, metais, plásticos rígidos e uma parte dos plásticos filmes, são separados. O rejeito desta triagem vai para o aterro controlado existente na área.

Em junho de 2004, a área do aterro foi mapeada com auxílio de GPS de navegação (*Global Positioning System*), em que foram marcadas as localizações dos poços de monitoramento, do local de recebimento de embalagens de agrotóxicos, da célula de resíduos em operação e da lagoa de lixiviado, conforme apresentado na Figura 1.

Poços de monitoramento de água subterrânea

Os poços foram executados de acordo com a norma 6410 da Cetesb (CETESB, 1999), que descreve o procedimento para construção de poços de monitoramento de aquíferos freáticos. A execução ocorreu no mês de maio de 2004, sendo um à montante (Poço 1) e três à jusante (Poços 2, 3 e 4) da célula de resíduos em operação, conforme apresentado na Figura 1.

De acordo com a Figura 1 e com as características hidrogeológicas e topográficas os poços 2 e 3 apenas podem receber contaminantes provenientes da lagoa de contenção de lixiviado, enquanto o poço 4 pode receber contaminações tanto da antiga célula de disposição de resíduos como da lagoa de contenção de lixiviado.

A Figura 2 apresenta a profundidade dos poços de monitoramento e os níveis máximo e mínimo do lençol freático.

Lagoa de contenção de lixiviado

A área de disposição de RSU possui uma lagoa de coleta e contenção do lixiviado proveniente da

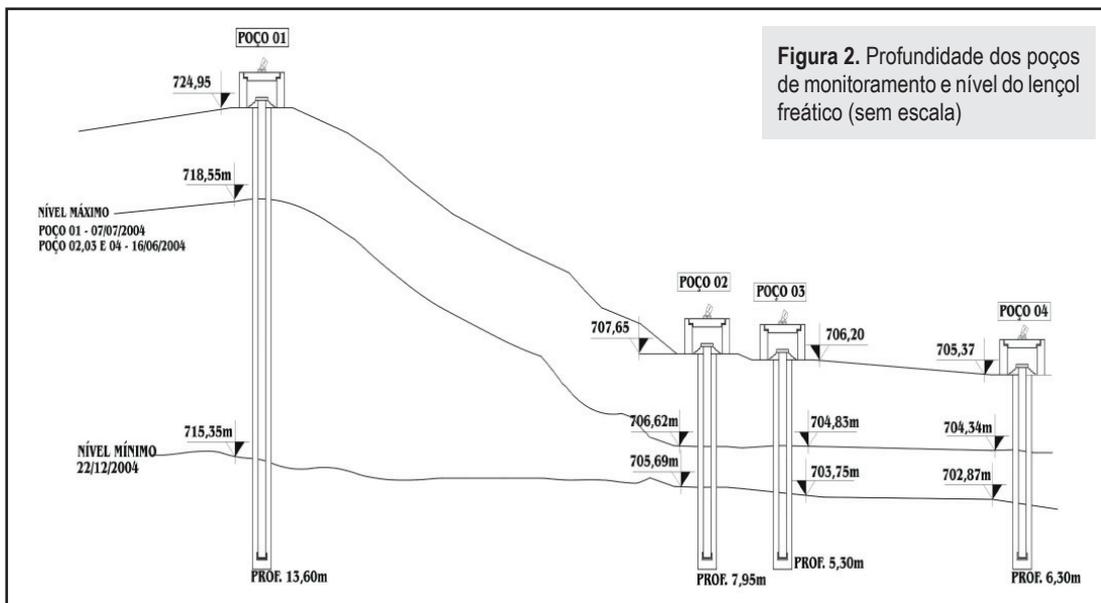
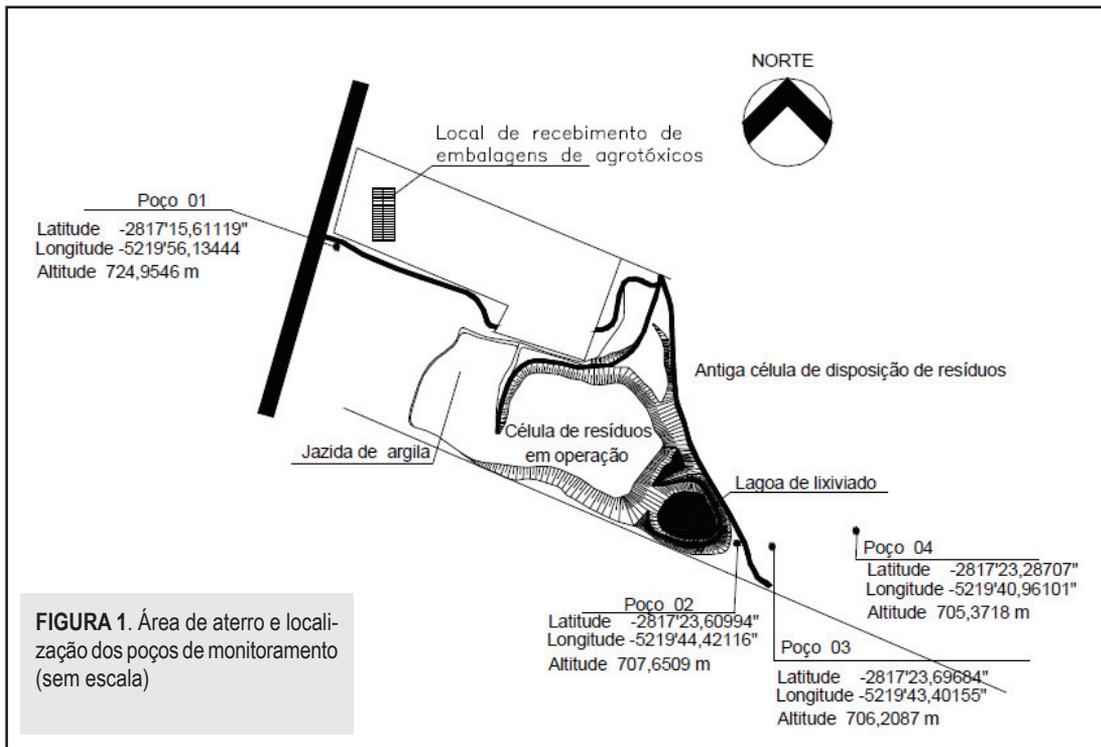


FIGURA 3. Lagoa de contenção da célula de resíduos em operação do aterro



célula de resíduos em operação. Esta lagoa não possui barreira de impermeabilização de fundo e nem descarga para corpo receptor, o que constitui um risco à contaminação subterrânea. A Figura 3 apresenta uma vista da lagoa de contenção de lixiviado.

Monitoramento das precipitações

As precipitações do município de Passo Fundo (RS) foram obtidas a partir de dados da estação meteorológica da Embrapa Trigo (Estação 83914 - Passo Fundo (INMET) - Convencional). Foram observadas precipitações mensais desde o ano de 1986.

Amostragens e análises de água subterrânea e lixiviado

As amostragens foram realizadas no período de junho de 2004 a janeiro de 2005. A amostragem de lixiviado foi feita na saída da célula de resíduos e na lagoa de contenção, enquanto que, para a água subterrânea a amostragem seguiu a norma 6420 da CETESB (1999).

As amostras foram submetidas à caracterização físico-química e microbiológica no Laboratório de Controle de Efluentes, de Águas e de Microbiologia da Universidade de Passo Fundo. As análises seguiram a metodologia descrita em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Os parâmetros analisados foram: pH, DQO, DBO₅, cloretos, nitrato, nitritos, nitrogênio total, dureza,

turbidez, condutividade elétrica, cromo hexavalente, sódio, zinco, cobre, ferro, magnésio, potássio, coliformes totais, coliformes fecais e contagem de bactérias heterotróficas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Precipitações

A tabela 1 apresenta as precipitações mensais e anuais, para o município de Passo Fundo, desde o ano de 1986. Para esse período a média geral foi de 161,8 mm. No quadro pode-se verificar que os meses de maior precipitação média são Janeiro, Maio, Setembro, Outubro e Dezembro.

A tabela 1 permitiu verificar que as precipitações, observadas nos meses junho, julho, agosto, outubro e novembro de 2004 e janeiro de 2005, estiveram abaixo da média de 20 anos (1986-2005). Os desvios em relação à média para os meses de junho, julho, agosto, outubro e novembro de 2004 e janeiro de 2005 foram 12 %, 41 %, 52 %, 17 %, 24 % e 41 %, respectivamente. Portanto, os meses que apresentaram maior desvio em relação à precipitação média mensal foram julho e agosto de 2004 e janeiro de 2005.

Qualidade do lixiviado

As tabelas 2 e 3 são apresentadas os resultados obtidos das análises físico-químicas e microbiológicas do lixiviado coletado na saída da célula de resíduos e na lagoa de contenção. Além disso, apresenta-se

TABELA 1
Valores mensais e anuais de precipitações pluviométricas de Passo Fundo (RS),
observados no período de 1986 a 2005

Ano	Precipitação Mensal (mm)												Anual (mm)
	Jan.	Fev.	Mar.	Abril	Mai	Junho	Julho	Ago	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
1986	80,7	64,0	126,9	245,8	147,5	106,9	54,1	146,8	171,3	132,4	249,8	63,4	1589,6
1987	137,4	120,9	49,8	311,1	324,6	73,4	312,8	127,3	137,5	202,7	82,7	130,1	2010,3
1988	261,1	32,5	22,5	230,2	119,1	152,8	20,8	28,0	416,5	143,7	114,4	198,9	1740,5
1989	228,2	121,8	120,4	101,5	54,4	74,2	210,5	173,8	451,8	153,2	92,8	160,2	1942,8
1990	200,5	123,6	155,5	262,8	341,0	221,5	123,5	28,7	332,1	248,2	254,5	101,4	2393,3
1991	147,1	19,3	45,9	109,7	45,5	240,7	95,4	92,4	58,5	179,5	80,7	264,3	1379,0
1992	183,2	164,4	203,1	118,1	386,7	109,9	241,6	147,8	186,3	136,5	280,2	130,3	2288,1
1993	255,5	152,7	197,0	75,0	176,2	137,2	284,0	15,2	136,5	154,2	273,9	259,0	2116,4
1994	55,2	333,6	69,8	193,6	152,2	198,8	243,0	46,0	161,7	308,7	138,1	235,2	2135,9
1995	300,9	84,0	73,5	68,1	21,4	174,7	135,9	76,1	135,4	198,6	78,2	31,6	1378,4
1996	355,3	135,2	104,5	75,9	73,9	140,6	126,1	213,9	119,5	157,8	107,4	123,2	1733,3
1997	156,3	129,8	33,2	69,5	103,7	114,4	115,8	257,5	152,0	550,4	339,9	235,5	2258,0
1998	231,0	357,6	229,9	342,2	201,0	82,7	191,0	257,4	204,2	118,9	68,5	122,5	2406,9
1999	125,3	114,4	65,4	188,3	108,7	94,3	176,8	19,4	149,5	177,1	118,6	131,1	1468,9
2000	143,6	105,7	267,4	76,1	76,8	205,5	148,1	83,8	169,0	339,3	164,2	159,9	1939,4
2001	212,5	196,5	110,5	118,4	164,6	106,3	103,5	28,1	240,0	275,5	116,9	194,1	1866,9
2002	96,0	76,7	356,8	135,9	192,4	241,9	146,2	233,8	253,6	372,3	205,0	329,5	2640,1
2003	176,2	265,0	128,3	114,3	107,3	152,6	100,6	57,5	64,0	237,1	168,2	391,5	1962,6
2004	97,5	123,0	26,7	142,3	222,4	133,5	88,8	53,0	234,3	193,2	121,9	67,3	1503,9
2005	104,5	26,1	88,3	291,9	317,0	273,1	83,7	135,4	152,7	384,8	138,8	81,6	2077,9
Média	177,4	137,3	123,8	163,5	166,8	151,7	150,1	111,1	196,3	233,2	159,7	170,5	1941,6

TABELA 2
Análise do lixiviado coletado na saída da célula de resíduos

Parâmetros analisados	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	Faixa de valores p/ aterro novo	Resolução 128 CONSEMA (2006)
pH	8,54	7,42	7,99	8,10	8,07	7,27	4,5-7,51 / 5,3-8,42	6 - 9
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	1959	1523	24076	5346	4077	44295	3000 - 600001 / 246-750002	400 (Q = 20 m ³ /d)
DBO5 (mg.L ⁻¹ O ₂)	944	480	8170	1960	1880	12450	2000-300001 / 5,90-720002	180 (Q = 20 m ³ /d)
DBO5/DQO	0,48	0,31	0,34	0,37	0,46	0,28	N.R.	N.R.
Cromo hexavalente (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.R.	0,1
Cloretos (mg.L ⁻¹)	281	154	204	447	396	398	200-30001	N.R.
Sódio (mg.L ⁻¹)	145,09	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200-25001	N.R.
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,09	N.A.	0,4	N.A.	N.A.	N.A.	02-13442	2
Cobre (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	0-9,902	0,5
Ferro (mg.L ⁻¹)	6,75	N.A.	27,2	N.A.	N.A.	N.A.	50-12001 / 0,08-55002	10
Magnésio (mg.L ⁻¹)	1,66	N.A.	1,6	N.A.	N.A.	N.A.	50-15001	N.R.
Potássio (mg.L ⁻¹)	736,65	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200-10001	N.R.
Dureza (mg.L ⁻¹)	46,80	41,50	648	62,3	64,2	1128	300-100001	N.R.
Turbidez (NTU)	500,7	204,4	621,2	180,8	253	772,0	N.R.	N.R.
Nitrito (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.R.	N.R.
Nitrato (mg.L ⁻¹)	4,8	81,6	112,4	N.D.	41,2	472,0	5-401	N.R.
Nitrogênio Total (mg.L ⁻¹)	192,3	154,0	1.028,0	457,90	242,10	1926,0	N.R.	20 (Q<100 m ³ /d)
Condutividade (ms.cm ⁻¹)	5.630,0	2.960,0	14350,0	4710,00	17659,0	21400,0	N.R.	N.R.
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1,6.105	1,4.106	1,6.106	1,6.104	4,5.03	1,7.105	N.R.	N.R.
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	1,6.105	2,8.105	3,0.10 5	4,6.x103	4,5.103	1,7.105	N.R.	N.R.
Contagem de Bact. Heterotróficas (UFC/mL)	8,0.105	2,5.105	1,5.105	1,5.105	8,5.105	2,5.105	N.R.	N.R.

N.R - Não referenciado; N.D. - Não detectado; N.A. - Não analisado; 1-Tchobanoglous, Theisen e Vigil (1993); 2- Gomes (1995)

TABELA 3
Análise do lixiviado coletado na lagoa de contenção

Parâmetros analisados	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	Faixa de valores p/ aterro novo	Resolução 128 CONSEMA (2006)
pH	8,51	7,7	8,37	9	8,79	8,51	4,5-7,5 ¹ / 5,3-8,4 ²	6 - 9
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	1959	1447	13543	2192	1884	5496	3000 - 60000 ¹ / 246-75000 ²	400 (Q = 20 m ³ /d)
DBO ₅ (mg.L ⁻¹ O ₂)	550	440	3680	859	498	1480	2000-30000 ¹ / 5,90-72000 ²	180 (Q = 20 m ³ /d)
DBO ₅ /DQO	0,28	0,3	0,27	0,39	0,26	0,27	N.R.	N.R.
Cromo hexavalente (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.R.	0,1
Cloretos (mg.L ⁻¹)	278	487	1.252	296	246	780	200-3000 ¹	N.R.
Sódio (mg.L ⁻¹)	146,67	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200-2500 ¹	N.R.
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,1	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	0 ² -1344 ²	2
Cobre (mg.L ⁻¹)	0,03	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	0-9,90 ²	0,5
Ferro (mg.L ⁻¹)	7,45	N.A.	5,8	N.A.	N.A.	N.A.	50-1.200 ¹ / 0,08- 5.500 ²	10
Magnésio (mg.L ⁻¹)	1,56	N.A.	1,6	N.A.	N.A.	N.A.	50-1500 ¹	N.R.
Potássio (mg.L ⁻¹)	707,19	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200-1000 ¹	N.R.
Dureza (mg.L ⁻¹)	51,8	40,3	352	52,5	46,3	390	300-10000 ¹	N.R.
Turbidez (NTU)	377,7	184,4	170,4	102,4	181,2	1.120	N.R.	N.R.
Nitrito (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.R.	N.R.
Nitrato (mg.L ⁻¹)	4,6	84,2	77,2	N.D.	20,7	15,6	5-40 ¹	N.R.
Nitrogênio Total (mg.L ⁻¹)	189,69	151,1	640	242	183,07	128	N.R.	20 (Q<100 m ³ /d)
Condutividade (ms.cm⁻¹)	5630	3580	6190	1495	7040	1169	N.R.	N.R.
Coliformes Totais (NMP/100mL)	3,5.10 ³	3,5.10 ⁴	6,8.10 ³	7,9.10 ²	4,5.10 ³	N.D.	N.R.	N.R.
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	3,5.10 ³	1,1.10 ⁵	1,1.10 ³	7,9.10 ²	2,0.10 ⁴	N.D.	N.R.	N.R.
Contagem de Bact. Heterotróficas (UFC/mL)	8,0.10 ⁵	9,5.10 ⁵	1,5.10 ⁵	2,5.10 ⁵	2,5.10 ⁵	5,0.10 ³	N.R.	N.R.

N.R - Não referenciado; N.D. - Não detectado; N.A. - Não analisado; 1-Tchobanoglous, Theisen e Vigil (1993); 2-Gomes (1995)

uma comparação com a faixa de valores encontrados em aterros sanitários segundo Tchobanoglous et al. (1993) e Gomes (1995) para aterros jovens (menos de 2 anos) e a Resolução N° 128 do CONSEMA (2006), para emissão de efluentes líquidos em águas superficiais.

Destaca-se, considerando-se os valores apresentados nas tabelas 2 e 3, que os valores de pH encontrados na saída da célula de resíduos e na lagoa de contenção estão de acordo com a faixa de variação proposta pela resolução N° 128 do CONSEMA (CONSEMA, 2006), uma vez que variaram de 7,27 a 9,0 nos meses analisados. Os mesmos se enquadram, em parte, em conformidade na faixa de 5,3 a 8,4, proposta por Gomes (1995), para aterros novos.

Conforme a resolução N° 128 do CONSEMA (CONSEMA, 2006) os valores de DQO e DBO₅ na saída da célula de resíduos e na lagoa de contenção, não estão de acordo com o proposto por esta legislação. Os resultados indicam que, na lagoa de contenção, apenas houve uma redução na concentração de DQO e DBO₅ do lixiviado, pois a mesma atua na diluição do lixiviado. Os valores de DQO e DBO₅ enquadram-se aos valores propostos por Gomes (1995), para aterros novos, pois se apresentaram no limite inferior da faixa proposta (246 mg.L⁻¹ – 75000 mg.L⁻¹), com exceção aos meses agosto de 2004 e janeiro de 2005, para o efluente provindo da célula de resíduos.

Segundo Tchobanoglous et al. (1993), a biodegradabilidade do lixiviado varia com o tempo e esta variação pode ser monitorada, relacionando-se a razão DBO₅/DQO. No início, as taxas variam em torno de 0,5 ou maiores. Taxas de 0,4 a 0,6 levam a indicação de que o material orgânico presente no lixiviado é facilmente biodegradável. Em lixiviados maduros essa proporção freqüentemente é de 0,05 a 0,2, sendo que essa taxa cai devido à presença de ácidos húmicos e fúlvicos, que são de difícil biodegradabilidade. Os resultados obtidos nas amostras de lixiviado do aterro indicam que o lixiviado analisado encontra-se na fase jovem e com relativa biodegradabilidade, pois a proporção DBO₅/DQO encontrada foi de 0,28 a 0,48.

Cromo hexavalente e nitritos não foram identificados nas análises do lixiviado. O cromo hexavalente satisfaz o parâmetro proposto pela resolução N° 128 do CONSEMA (CONSEMA, 2006).

Cloretos, sódio, zinco, cobre, ferro, magnésio, potássio e dureza apresentaram-se, na maioria dos

casos, dentro da faixa proposta por Tchobanoglous et al. (1993) e por Gomes (1995). No caso dos parâmetros propostos pela resolução N° 128 do CONSEMA (CONSEMA, 2006), o ferro não satisfaz a condição no lixiviado da saída da célula de resíduos, no mês de agosto de 2004.

A concentração baixa dos íons metálicos cromo hexavalente, zinco e cobre pode ser atribuída à baixa solubilidade desses íons na faixa do pH básico e ao alto teor de matéria orgânica, pois podem precipitar na forma de hidróxidos e formar complexos com a matéria orgânica Buschinelli (1985 apud Sisinho e Moreira, 1996). As concentrações baixas, também, são resultado das características do aterro, que recebe resíduos sólidos domésticos em maior quantidade e baixas quantidades de resíduos sólidos industriais.

Nitrogênio total não foi referenciado na faixa proposta por Tchobanoglous et al. (1993) e por Gomes (1995). Os valores obtidos não respeitaram o parâmetro da resolução N° 128 do CONSEMA (CONSEMA, 2006), tanto para o lixiviado da saída da célula de resíduos como para o coletado na lagoa de contenção, para vazões de efluentes abaixo de 100 m³.dia⁻¹. A presença de nitrogênio total reduzida no lixiviado coletado na lagoa em relação ao lixiviado coletado na saída da célula reduzida pode ter ocorrido através de oxidação e formação de nitrato.

Nitrato não se apresentou na faixa proposta por Tchobanoglous et al. (1993), na maioria dos meses, e não foi referenciado na resolução n° 128 do CONSEMA (CONSEMA, 2006). Não foi observado aumento considerável de nitrato no lixiviado da lagoa em relação ao coletado diretamente da célula de resíduos. No entanto, isso não descarta a hipótese de oxidação, pois segundo Lee et al. (2006), após oxidação o nitrato apresenta alta mobilidade, o que pode ocasionar contaminação rápida em outros sistemas como o lençol freático.

Turbidez, condutividade elétrica, coliformes totais e fecais e contagem de bactérias heterotróficas não foram referenciados nas faixas propostas por Tchobanoglous et al. (1993), por Gomes (1995) e nos parâmetros da resolução N° 128 do CONSEMA (CONSEMA, 2006). Condutividade elétrica apresentou grande oscilação principalmente para o lixiviado provindo da célula de resíduos, o que indica a presença de substâncias iônicas como sais. A presença de coliformes (totais e fecais) confere um potencial de contaminação microbiológica.

Qualidade da água Subterrânea

Nas tabelas 4 a 7 são apresentados os resultados das análises de água subterrânea dos quatro poços de monitoramento e a comparação com os valores máximos permitidos segundo à portaria Nº 518 do

Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), que estabelece os padrões para consumo humano e à Resolução Nº 396 do CONAMA (CONAMA, 2008), que estabelece parâmetros para enquadramento de água subterrânea.

TABELA 4
Análise da água subterrânea do poço 01 em comparação com os valores máximos permitidos

Parâmetros analisados	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	VMP (BRASIL, 2004)	Res. 396 (CONAMA, 2008)
pH	6,75	6,97	5,65	5,99	5,83	5,81	6 - 9,5	N.R.
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	24	15,2	60	4,1	8	12	N.R.	N.R.
DBO ₅ (mg.L ⁻¹ O ₂)	9,8	6,5	27,2	1,8	4,5	3,6	N.R.	N.R.
Cromo hexavalente (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A	N.A	N.R.	N.R.
Cloretos (mg.L ⁻¹)	0,2	3,47	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	250	250
Sódio (mg.L ⁻¹)	0,3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200	200
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,01	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	5	5
Cobre (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	2	2
Ferro (mg.L ⁻¹)	0,43	N.A.	0,15	N.A.	N.A.	N.A.	0,3	0,3
Magnésio (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.A.	0,22	N.A.	N.A	N.A.	N.R.	N.R.
Potássio (mg.L ⁻¹)	0,18	N.A.	N.A.	N.A	N.A	N.A.	N.R.	N.R.
Dureza (mg.L ⁻¹)	3,93	3,6	8,34	0,8	4,28	1,6	500	N.R.
Turbidez (NTU)	71,13	133,1	1,32	22,56	10,73	0,8	5	N.R
Nitrito (mg.L ⁻¹)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1	1
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,9	5,53	4,62	N.D.	2,07	0,50	10	10
Nitrogênio Total (mg.L ⁻¹)	2,03	1,93	4,39	0,85	1,49	1	N.R.	N.R.
Condutividade Elétrica (ms.cm⁻¹)	65,9	38,0	206,0	13,61	2,17	18,05	N.R.	N.R
Coliformes Totais (NMP/100mL)	2,20x10 ³	4,90x10 ²	3,60	23,0	3,60	23,0	ausência/100mL	ausência/100 mL
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	7,00x10 ²	3,30x10 ²	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência/100mL	ausência/100 mL
Contagem de Bact. Heterotróficas (UFC/mL)	2,00x10 ⁵	2,80.10 ⁵	4,50.10 ³	4,50.10 ³	2,50.10 ⁴	7,00.10 ³	> 500	N.R.

N.R. - Não referenciado N.D. - Não detectado N.A. - Não analisado VMP – Valor máximo permitido

TABELA 5
Análise da água subterrânea do poço 02 em comparação com os valores máximos permitidos

Parâmetros analisados	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	VMP (BRASIL, 2004)	Res. 396 (CONAMA, 2008)
pH	7,16	6,56	5,65	5,81	5,49	5,44	6 - 9,5	N.R.
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	16	144	53	8,3	4	3,72	N.R.	N.R.
DBO ₅ (mg.L ⁻¹ O ₂)	11,3	62	25,5	3,2	2,2	1,2	N.R.	N.R.
Cromo hexavalente (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.R.	N.R.
Cloretos (mg.L ⁻¹)	6,9	6,9	N.D.	10,4	N.D.	N.D.	250	250
Sódio (mg.L ⁻¹)	1,13	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	200	200
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,02	N.A.	0,01	N.A.	N.A.	N.A.	5	5
Cobre (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	2	2
Ferro (mg.L ⁻¹)	0,11	N.A.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	0,3	0,3
Magnésio (mg.L ⁻¹)	0,03	N.A.	0,16	N.A.	N.A.	N.A.	N.R.	N.R.
Potássio (mg.L ⁻¹)	0,89	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.R.	N.R.
Dureza (mg.L ⁻¹)	6,29	7,2	5,64	1,5	2,15	1	500	N.R.
Turbidez (NTU)	10,6	78	0,36	2,14	1,33	16,56	5	N.R.
Nitrito (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1	1
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,35	4,31	4,19	N.D.	2,1	0,64	10	10
Nitrogênio Total (mg.L ⁻¹)	2,24	2,46	4,07	0,96	0,43	N.A.	N.R.	N.R.
Condutividade Elétrica (ms.cm⁻¹)	140,1	31,0	103,50	15,66	15,55	12,89	N.R.	N.R.
Coliformes Totais (NMP/100mL)	7,80.10 ²	ausente	ausente	3,60	12	1,1	ausência/100mL	ausência/100 mL
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausência/100mL	ausência/100 mL
Contagem de Bact. Heterotróficas (UFC/mL)	6,0.10 ⁵	1,2.10 ⁴	2,0.10 ³	2,5.10 ³	2,0.10 ³	1,0.10 ³	> 500	N.R.

N.R. - Não referenciado N.D. - Não detectado N.A. - Não analisado VMP – Valor máximo permitido

TABELA 6
Análise da água subterrânea do poço 03 em comparação com os valores máximos permitidos

Parâmetros analisados	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	VMP (BRASIL, 2004)	Res. 396 (CONAMA, 2008)
pH	7,1	6,01	5,5	5,64	5,14	5,24	6 - 9,5	N.R.
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	106	186	36	8,3	96	7,9	N.R.	N.R.
DBO ₅ (mg.L ⁻¹ O ₂)	22	74	15,5	3,93	32	3,64	N.R.	N.R.
Cromo hexavalente (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A	N.A	N.R.	N.R.
Cloretos (mg.L ⁻¹)	N.D.	3,47	N.D.	13,9	3,22	7,8	250	250
Sódio (mg.L ⁻¹)	0,53	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	200	200
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,03	N.A	N.D.	N.A	N.A	N.A	5	5
Cobre (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.A	N.D.	N.A	N.A	N.A	2	2
Ferro (mg.L ⁻¹)	0,16	N.A	N.D.	N.A	N.A	N.A	0,3	0,3
Magnésio (mg.L ⁻¹)	0,10	N.A	0,61	N.A	N.A	N.A	N.R.	N.R.
Potássio (mg.L ⁻¹)	0,72	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.R.	N.R.
Dureza (mg.L ⁻¹)	6,29	8,45	15,3	1,2	10,8	1,20	500	N.R.
Turbidez (NTU)	12,43	49,9	1,28	13,05	2,07	2,45	5	N.R.
Nitrito (mg.L ⁻¹)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D.	1	1
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,32	3,97	4,07	17,1	10,8	2,01	10	10
Nitrogênio Total (mg.L ⁻¹)	2,32	2,25	3,01	2,38	1,07	1,93	N.R.	N.R.
Condutividade Elétrica (ms.cm⁻¹)	108,5	21	82,2	20,7	25,3	28	N.R.	N.R.
Coliformes Totais (NMP/100mL)	3,50.10 ⁴	ausente	6,90	Ausente	ausente	ausente	ausência/100mL	ausência/100 mL
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	ausente	ausente	ausente	Ausente	ausente	ausente	ausência/100mL	ausência/100 mL
Contagem de Bact. Heterotróficas (UFC/mL)	1,5.10 ⁵	9,9.10 ⁴	2,5.10 ³	1,5.10 ⁴	6,5.10 ³	5,0.10 ³	> 500	N.R.

N.R. - Não referenciado N.D. - Não detectado N.A. - Não analisado VMP – Valor máximo permitido

TABELA 7
Análise da água subterrânea do poço 04 em comparação com os valores máximos permitidos

Parâmetros analisados	Jun. 2004	Jul. 2004	Ago. 2004	Out. 2004	Nov. 2004	Jan. 2005	VMP (BRASIL, 2004)	Res. 396 (CONAMA, 2008)
pH	6,75	6,49	6,38	6,65	6,6	6,52	6 - 9,5	N.R.
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	43,5	152,3	94,8	38	36	17,7	N.R.	N.R.
DBO ₅ (mg.L ⁻¹ O ₂)	8,1	55	43,8	13,7	12,8	8,2	N.R.	N.R.
Cromo hexavalente (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A	N.A	N.R.	N.R.
Cloretos (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.D.	N.D.	48,7	N.D.	12,6	250	250
Sódio (mg.L ⁻¹)	0,9	N.A	N.A	N.A	N.D.	N.A	200	200
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,03	N.A	0,01	N.A	N.D.	N.A	5	5
Cobre (mg.L ⁻¹)	N.D.	N.A	N.D.	N.A	N.D.	N.A	2	2
Ferro (mg.L ⁻¹)	5,25	N.A	0,43	N.A	N.D.	N.A	0,3	0,3
Magnésio (mg.L ⁻¹)	0,46	N.A	0,55	N.A	N.D.	N.A	N.R.	N.R.
Potássio (mg.L ⁻¹)	3,41	N.A	N.A	N.A	N.D.	N.A	N.R.	N.R.
Dureza (mg.L ⁻¹)	5,19	12,6	10,8	5,6	6,8	2,8	500	N.R.
Turbidez (NTU)	143,1	35,04	56,6	52,12	23,79	106,6	5	N.R.
Nitrito (mg.L ⁻¹)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1	1
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,34	4,16	3,78	N.D.	1,44	0,2	10	10
Nitrogênio Total (mg.L ⁻¹)	0,21	1,28	4,71	0,96	2,24	N.D.	N.R.	N.R.
Condutividade Elétrica (ms.cm⁻¹)	99	1.792	7,19	54,2	59	109,6	N.R.	N.R
Coliformes Totais (NMP/100mL)	3,50.10 ⁴	9,40.10 ²	ausente	Ausente	3,60	5,1	ausência/100mL	ausência/100 mL
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	2,00.10 ²	2,30.10 ²	ausente	Ausente	ausente	5,1	ausência/100mL	ausência/100 mL
Contagem de Bact. Heterotróficas (UFC/mL)	5,0. 10 ⁵	2,0. 10 ⁵	2,0.10 ³	5,5.10 ²	7,0.10 ⁴	8,0.10 ³	> 500	N.R.

N.R. - Não referenciado N.D. - Não detectado N.A. - Não analisado VMP – Valor máximo permitido

De acordo com as tabelas 4 a 7, os valores observados de cloreto, sódio, zinco, cobre, dureza e nitrito encontrados nos quatro poços obedeceram aos padrões de qualidade proposto pela portaria Nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) e/ou pela resolução Nº 396 do CONAMA (CONAMA, 2008). Porém, segundo Lima et al. (2004), isso não significa que a água seja adequada para consumo humano, pois outras características físico-químicas da água podem comprometer a sua qualidade, como neste caso é comprovado para outros parâmetros.

Os parâmetros não referenciados tanto pela portaria Nº 518 do Ministério da Saúde (2004) ou pela resolução Nº 396 do CONAMA (CONAMA, 2008) são DQO, DBO₅, cromo hexavalente, magnésio, potássio, nitrogênio total e condutividade elétrica. A ausência de referência de qualidade não exclui a importância de análise de tais parâmetros, uma vez que qualquer presença já pode se tornar um fator de alerta em relação à contaminação ao meio ambiente e saúde humana.

O parâmetro cromo hexavalente não foi detectado em nenhum dos poços analisados. Os parâmetros DQO, DBO₅, nitrogênio total e condutividade elétrica apresentaram consideráveis disparidades, o que sugere à ocorrência de contaminação em relação ao lixiviado proveniente dos RSU, que possui alguns desses parâmetros elevados em relação à legislação.

Os valores de condutividade elétrica indicam contaminação com concentração elevada de compostos iônicos. Em comparação com os valores presentes no lixiviado, a condutividade elétrica pode reportar contaminação, conforme propõe Lee et al. (2006) e Fatta et al. (1999). Fatta et al. (1999) adotam com relação ao parâmetro de condutividade elétrica o nível de referência de 400 $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$. Considerando esse nível de referência, o parâmetro de julho de 2004 apresenta-se com valor muito acima, o que confirma a influência de contaminação.

A concentração baixa dos íons metálicos cromo hexavalente, zinco e cobre em alguns meses analisados pode ocorrer devido ao tipo de solo que é capaz de promover elevada atenuação, por mecanismos geoquímicos entre os argilominerais e óxidos presentes. Isso foi comprovado por Melo et al. (2008) em um estudo da capacidade de atenuação de metais realizado com o mesmo solo presente na forma não contaminada e oriundo do lixão desativado Invernadinha de Passo Fundo. Da mesma maneira, a concentração baixa de íons cloretos nas águas subterrâneas em relação à concentração presente no lixiviado sugere

que não há contaminação do lixiviado, havendo atenuação pelo solo. Lee et al. (2006) também observaram a redução da concentração de cloretos em águas subterrâneas de poços de aterros sanitários em relação às concentrações nos RSU. A explicação do autor é que o mecanismo de atenuação envolvido é o de mistura e diluição.

Em geral, as quantidades de ferro atenderam ao padrão de potabilidade, segundo à portaria Nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) e à resolução Nº 396 do CONAMA (CONAMA, 2008). Em relação às tabelas 4 a 7, isto não aconteceu no mês de junho de 2004, para os poços de monitoramento 1 e 4 e em agosto de 2004 no poço 4. As demais amostragens atenderam aos parâmetros de legislação. Sisino e Moreira (1996), em estudo da qualidade de águas subterrâneas próximo de aterro sanitário em Niterói (RJ), concluíram que as concentrações de ferro foram mais elevadas em águas subterrâneas, mas não ultrapassaram os parâmetros de qualidade. No estudo, os autores sugeriram que as concentrações elevadas são devido ao tipo de solo, pois não houve alteração em relação às águas de nascentes. Para o caso em estudo as concentrações de ferro também podem ser explicadas pelo solo onde está localizado o lixão e a lagoa de contenção que é um Latossolo Vermelho distrófico, caracterizando, segundo Streck et al. (2002), um material com teores de ferro elevados (> 18 %).

Os valores de pH encontrados variaram de 5,4 a 7,1. O pH não está de acordo com a faixa de variação proposta pela portaria Nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), para os poços 1, 2 e 3, nos meses de agosto, outubro e novembro de 2004 e em janeiro de 2005. O único poço a atender este parâmetro, em todos os meses de monitoramento, foi o poço 4. Esses valores de pH na faixa ácida, segundo Sisino e Moreira (1996), podem ser explicados pela característica dos solos da região, que segundo Streck et al. (2002), constituem um material intemperizado com elevada acidez.

A concentração de DQO e DBO₅ nos poços de monitoramento apresentou um valor menor em alguns meses precedidos por precipitação acima da média, como é caso de junho e outubro de 2004, o que também ocorreu para o lixiviado coletado na saída da célula de resíduos e na lagoa. Isso foi mais pronunciável e notável para o mês de outubro de 2004, com queda brusca da concentração de DQO e DBO₅ no lixiviado e nos poços.

O contrário também foi observado para o mês de julho de 2004, uma vez que junho e julho de 2004 tiveram baixa pluviosidade, acarretando em aumento considerável da DQO e DBO₅ medida nos poços. A mesma repercussão ocorreu no lixiviado, porém foi observável apenas no mês de agosto com valores muito maiores que todos os outros monitorados. Porém, o efeito desse aumento na DQO e DBO₅ do lixiviado deve ter sido neutralizado pelo excesso de precipitações em setembro de 2004, já que o monitoramento em outubro de 2004 não indicou variação considerável nos poços. Outra explicação é a de que a oscilação da concentração de DQO e DBO₅ presente no lixiviado não tem relação direta com esse parâmetro na água subterrânea, pois há mecanismos de atenuação natural envolvidos. No entanto, cabe salientar que isto não exclui o lixiviado e a disposição de RSU como fonte de contaminação dos poços.

O poço 1 apresentou contaminação de DQO e DBO₅ oriunda de fonte desconhecida, pois apesar de ser um poço de controle e estar acima no nível do lençol freático dos outros poços, apresentou concentrações maiores que os demais em alguns meses, como é o caso de junho e agosto de 2004. A hipótese é que a contaminação seja oriunda do escoamento superficial de material orgânico presente na superfície do solo devido ao assentamento irregular de centenas de catadores nas proximidades.

Os poços 2 e 3 recebem contaminantes provenientes apenas da lagoa de contenção. Nesse sentido, avaliando os resultados de alguns parâmetros, como, por exemplo, DQO, observou-se uma concentração mais elevada no poço 3 em relação ao poço 2, o que descreve o caminho preferencial de deslocamento de uma possível pluma de contaminação.

O poço 4 recebe contaminantes tanto da lagoa de contenção, quanto da antiga área de disposição de resíduos, de acordo com a característica topográfica do terreno. Observando o parâmetro DQO, o poço 4 apresentou maior concentração, principalmente nos meses de agosto, outubro, novembro de 2004 e janeiro de 2005.

Em relação aos parâmetros DBO₅ e DQO, relacionados à contaminação orgânica, Fatta et al. (1999) discorrem que os parâmetros da legislação grega utilizados para águas de irrigação impõem um limite máximo de 40 mg/L para o parâmetro de DBO₅. Considerando esta afirmação os valores preocupantes em relação a contaminações são observados no mês de julho de 2004, para os poços 2, 3 e 4 e ainda no

mês de agosto de 2004 para o poço 4, que mais um vez sugere o nível de influência de contaminação.

Os valores de turbidez apresentaram-se, em vários meses, superiores aos permitidos na portaria Nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004). Os valores de nitrato se apresentaram superiores aos parâmetros da portaria Nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) e da resolução Nº 396 do CONAMA (CONAMA, 2008), nos meses de outubro e novembro de 2004 para o poço 3. Segundo Lee et al. (2006), a presença de nitrato elevada pode ocorrer devido a migração de nitrato de outros meios, devido à sua alta mobilidade ambiental, após sofrer oxidação. Assim, o nitrato pode ter provindo do lixiviado, pois este apresentou teores acima dos permitidos pela legislação.

As variáveis microbiológicas (coliformes totais, coliformes fecais e contagem de bactérias heterotróficas) mostraram grande variabilidade, uma vez que algumas amostras apresentaram alta contaminação e outras ausências de contaminação em relação à portaria Nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) e à resolução Nº 396 do CONAMA (CONAMA, 2008). Isso é um indicativo de contaminação biológica a partir do lixiviado ou dos RSU.

Em comparação com dados de Schneider et al. (2000), referentes à análise da qualidade da água subterrânea do lixão desativado Invernadinha, que constituiu uma área de disposição de resíduos sólidos de Passo Fundo nas décadas de 80 e 90, pôde-se verificar o mesmo comportamento observado para os parâmetros pH, cromo, cobre, sódio, zinco, cloretos e turbidez. Essa semelhança de comportamento em ambos locais é explicada pela forma de interação físico-química da barreira de solo existente em ambas as áreas com esses contaminantes.

CONCLUSÕES

O trabalho avaliou resultados de monitoramento das águas subterrâneas e do lixiviado do local de disposição de RSU do município de Passo Fundo (RS). A partir dos resultados obtidos conclui-se que:

- ☞ A constituição química do lixiviado analisado tanto na saída da célula de resíduos como na lagoa de contenção está em desacordo com a resolução Nº 128 do CONSEMA (CONSEMA, 2006) para os parâmetros DQO, DBO₅ e Nitrogênio Total. O parâmetro Ferro apresentou alteração de qualidade em relação à legislação apenas para o lixiviado coletado da saída da célula de resíduos;

- As águas subterrâneas estão em desacordo com os padrões de potabilidade e qualidade estabelecidos na portaria Nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) e na Resolução Nº 396 do CONAMA (CONAMA, 2008), uma vez que as amostras apresentaram contaminação com variáveis microbiológicas, variações de pH, concentração de ferro, nitrato e turbidez;
- Os valores de condutividade elétrica, DBO_5 , DQO e nitrogênio total sugerem que a qualidade da água está comprometida devido à contaminação pelo lixiviado;

- Isso indica que há contaminação com o lixiviado produzido pelos resíduos sólidos depositados junto ao aterro controlado. Essa contaminação tem origem tanto da lagoa de contenção de lixiviado como da antiga área de disposição de resíduos. A hipótese de contribuição da lagoa, foi evidenciada pela alteração de qualidade observada para os poços 2 e 3. A hipótese de contaminação da antiga área de disposição de resíduos é confirmada devido à alteração de qualidade observada no poço 4 em maior magnitude, pois este poço tem a possibilidade de receber contaminação de ambas as fontes.

Referências

- ALCANTARA P.B. **Avaliação da influência da composição de resíduos urbanos no comportamento de aterros simulados**. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco – RE: UFPE, 2007. 200 p.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 25. ed. New York: MacGraw HILL, 1998.
- BRASIL. Portaria n. 518, de 24 mar. 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 de março de 2004
- Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 de abril de 2008.
- CETESB. **6410**: águas subterrâneas e poços tubulares. São Paulo: CETESB, 1999.
- _____. **6420**: preservação e manuseio de amostras de água e churume e relacionados aos parâmetros de análises. São Paulo: CETESB, 1999.
- COSTA, P. O. S. **Avaliação em laboratório, do transporte de contaminantes no solo do aterro sanitário de Sauípe/BA**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. PUC: Rio de Janeiro, 2002. 171 p.
- Conselho estadual de Meio Ambiente - CONSEMA. Resolução nº 128/2006, de 24 de Novembro de 2006. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, RS, 7 de Dezembro de 2006.
- FATTA, D.; PAPADOPOULOS, A.; LOIZIDOU, M. A Study on landfill leachate and its impact on the groundwater quality of the greater area. **Environmental geochemistry and health**, v.21, p. 175-190, 1999.
- GOMES, L. P. **Avaliação da atividade bacteriana anaeróbica celulolítica do chorume originado em sistema de disposição de resíduos sólidos urbanos a céu aberto**. 1995. Tese (Doutorado em engenharia) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos – USP. USP: São Carlos - SP, 1995. 210 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** 2000. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/SNSA/Cidades_secretaria_saneamento_diagnostico_apresenta%E7%E3o.htm>. Acesso em: 10 dez. 2003.
- JUCÁ, J. F. T. Destinação final de resíduos sólidos no Brasil: situação atual e perspectivas. In: Simpósio luso-brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 10., 2002, Braga, Portugal. **Anais...** Portugal: Associação Portuguesa para Estudos de Saneamento Básico, 2002. Disponível em: <www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/destina10.pdf>. Acesso em: 12. abr. 2008.
- LANGE, L. C et al. Estudo do transporte de contaminantes em meios porosos aplicado a aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos. In: JUNIOR, A. B. C. et al. **Alternativas para disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades**: coletânea de trabalhos técnicos. Florianópolis: PROSAB, 2002. p. 13-17. Disponível em: <www.finep.gov.br/prosab/livros/livrocompletofinal.pdf>. Acesso em: 12. abr. 2008.
- LEE, J.; CHEON, J.; KWON, H.; YOON, H.; LEE, S. KIM, J.; PARK, J.; KIM, C. Attenuation of landfill leachate at two uncontrolled landfills. **Environmental Geology**, v. 51, p. 581-593, 2006.
- LIMA, E. B. N. R. **Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na bacia do Rio Cuiabá**. 2001. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil) - Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ: Rio de Janeiro, 2001. 184 p.

MELO, E. F. R. Q.; KORF, E. P.; THOMÉ, A.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; ZANCHETTA, G. S. B. Mecanismo de atenuação natural de metais em solos de antigas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos. In: Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 6., 2008, Porto Alegre - RS. **Anais do VI Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental: na busca da sustentabilidade**. Porto Alegre: ABES/RS, 2008.

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. **Revista Brasileira de engenharia sanitária e ambiental**, v.9, n.3, p. 211-217, jul/set. 2004. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/esa/v9n3/v9n3a07.pdf>. Acesso em: 12. abr. 2008.

PESSIN, N.; SILVA, A. R.; PANAROTTO, C. T. Monitoramento de aterros sustentáveis para município de pequeno porte. In: JUNIOR, A. B. D. C. (Org.) **Resíduos sólidos Urbanos: Aterro sustentável para município de pequeno porte**. Florianópolis: PROSAB, 2003. p.142-197. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabArmando.pdf>>. Acesso em: 12. abr. 2008.

SCHNEIDER, I.A.H.; NAIME, R.; CAUDURO, F. Qualidade das Águas em uma Antiga Área de Recebimento de Resíduos Sólidos Urbanos de Passo Fundo, RS. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 22., 2000, **Anais...** ABES/RS: Rio de Janeiro, 2000.

SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, RJ, v.12, n.4, p. 515-523, out.-dez. 1996.

STRECK, E. V. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER, 2002. 107 p.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. Hightstown: Irwin McGraw-Hill, 1993.

TRESSOLDI, M.; CONSONI, A. J. Disposição de resíduos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 343-360.

Márcia Helena Beck Instituto Federal do Paraná, Campus Foz do Iguaçu - PR; email: marcia.beck@ifpr.edu.br

Eduardo Pavan Korf Universidade de Passo Fundo, Campus I, BR 285, km 171, Passo Fundo - RS, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Curso de Engenharia Ambiental, email: eduardokorf@gmail.com

Viviane Rocha dos Santos Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre - RS, email: evy_rs@yahoo.com.br

Antonio Thomé Universidade de Passo Fundo, Campus I, BR 285, km 171, Passo Fundo - RS, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Curso de Engenharia Ambiental e Programa de Pós-Graduação em Engenharia - Área de Concentração Infra-estrutura e Meio Ambiente; email: thome@upf.br

Pedro Alexandre Varella Escosteguy Universidade de Passo Fundo, Campus I, BR 285, km 171, Passo Fundo - RS, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Curso de Engenharia Ambiental e Programa de Pós-Graduação em Engenharia - Área de Concentração Infra-estrutura e Meio Ambiente; email: escosteguy@upf.br