Pesquisa em escala de demonstração do tratamento combinado de lixiviado

Research on combined treatment of landfill leachate

Ana Silvia Pereira Santos*

Doutora em Engenharia Civil - Tecnologia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela COPPE/UFRJ. Pesquisadora do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – DRHIMA/UFRJ

Eduardo Pacheco Jordão

Doutor em Engenharia Civil. Professor Associado do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – DRHIMA/UFRJ

*Endereço para correspondência: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente - Escola Politécnica. Centro de Tecnologia, Bloco D – Sala 204, Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ – CEP: 21.949-900 – Brasil - Tel.: +55 (21) 2562-7982 / +55 (21) 8168-7087 / Fax: +55 (21) 2562-7994 – e-mail: anasilvia_santos@yahoo.com.br

Data de Entrada: 18/08/2011

Data de aprovação: 26/01/2012

RESUMO

O objetivo do trabalho foi uma avaliação dos aspectos técnicos do tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário com esgoto doméstico. A pesquisa foi realizada com lixiviado dos aterros de Gramacho e Gericinó, em lagoas de estabilização para tratamento de esgoto doméstico gerado na Cidade Universitária da UFRJ. A diluição do lixiviado em esgoto doméstico foi realizada segundo taxas variando entre 0,2% e 2% (v/v) em duas linhas operacionais: linha 01 – lagoa facultativa + lagoa de maturação, com diluição do lixiviado de Gramacho; linha 02 – lagoa aerada + lagoa de sedimentação, com diluição do lixiviado de Gericinó. A linha 01 apresentou resultados satisfatórios somente em uma das fases operacionais. Porém, a tecnologia que compõe a linha 02 demonstrou viabilidade para diluição de até 0,5% (v/v), apresentando neste caso, concentração média efluente de DBO menor que 40 mg/L e de DQO menor que 100 mg/L.

ABSTRACT

This work was aimed at evaluating the technical aspects of the combined treatment of landfill leachate with domestic wastewater. The research was conducted with dilution of landfill leachates from Gramacho and

Gericinó Landfills into two stabilization ponds in Rio de Janeiro. The experimental stabilization ponds received the leachate according to dilution rates ranging between 0.2% and 2% (v/v) in two operational lines: Line 01 – facultative pond + maturation pond, operating with leachate from Gramacho landfill; Line 02 – aerated pond + sedimentation pond, operating with leachate from Gericinó landfill. Line 01 presented good results just in one of the phases, with 70% of average BOD removal and effluent average concentration less than 40 mg/L. Line 02, presented best results and in phases with up to 0.5% dilution, presented BOD effluent concentration less than 40 mg/L and COD effluent concentration under 100 mg/L.

Palavras-chave: tratamento combinado, lixiviado de aterro sanitário, esgoto sanitário, lagoas de estabilização

Key words: combined treatment, leachate, wastewater, stabilization ponds

INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos encontra sérios problemas de gestão, desde o acondicionamento

adequado por parte da população, passando pela coleta por parte dos órgãos responsáveis, até a correta disposição final.

Atualmente no Brasil, ainda se utiliza em larga escala o aterro sanitário para destinação final de resíduos sólidos, causando grandes impactos ambientais desde a sua construção até a sua operação e após o seu encerramento. Nos países desenvolvidos, políticas públicas e novas pesquisas têm incentivado cada vez mais a redução da utilização dos aterros.

No Japão, acredita-se que a utilização de tecnologias de incineração de resíduos seja mais ambientalmente correta e sustentável do que a sua disposição em aterros sanitários, em função de novas descobertas no tratamento de dioxinas liberadas no processo de queima (HARADA *et al*, 2007). Neste país, Segundo GIUSTI (2009), somente 3% dos resíduos coletados em 2003 tiveram como destino final o aterro sanitário. Na Alemanha este valor correspondeu a 18% em 2004 e na França, a 36% em 2005. Ressalta-se que nesses países, grande parte dos resíduos foi incinerada, ou reciclada ou ainda destinada à compostagem.

Na Suécia, a utilização de aterros sanitários como disposição final de resíduos sólidos era usual. Porém, atualmente, devido à aplicação de impostos específicos para esta prática e um rápido crescimento das instalações de incineração de resíduos sólidos, a utilização de aterros sanitários se tornou menos significativa no país. De 2004 para 2005, a quantidade de resíduos aterrados na Suécia, diminuiu em 44,7% (PERSSON *et al*, 2007).

Na Europa, desde 1999, as diretrizes para implantação de aterro sanitário, constantes na CEC-1999/31/EC de 26 de abril de 1999, contêm requisitos para reduzir a quantidade de resíduos a serem depositados em aterros. Segundo as mesmas diretrizes, em 2016, os membros da Comunidade Européia não estarão permitidos a aterram mais de 35% dos resíduos municipais biodegradáveis aterrados em 1995 (SCHARFF *et al*, 2007).

Na Holanda, de acordo com SCHARFF *et al* (2007), em 1993 aproximadamente 13 milhões de toneladas de resíduos sólidos foram aterradas. Em 2005, este número foi reduzido a apenas 3 milhões de toneladas. No mesmo período, o número de aterros em operação foi reduzido de aproximadamente 80 unidades, para menos de 30 unidades.

Nos Estados Unidos, desde a promulgação de novas orientações e padrões de emissão de gases, em 1996, ocorreram mudanças com relação à utilização de aterros sanitários como método de disposição final de resíduos sólidos. Segundo THORNELOE (2007), a porcentagem de resíduos sólidos aterrados em 1980 era 81% dos resíduos coletados. Em 2005, este índice foi reduzido para 54%. O autor ainda afirma que em 1988 haviam aproximadamente 8000 aterros sanitários nos Estados Unidos e em 2005 este número era em torno de 1650.

No Brasil, a maior parte dos resíduos sólidos que sofrem algum tipo de tratamento é disposta em aterros sanitários. Mas ainda a maior parte dos resíduos gerados é destinada a aterros controlados e lixões. Segundo ABRELPE (2010), 61% dos municípios brasileiros usam essas unidades como destino final de seus resíduos gerados. Já segundo o SNIS (2008), das 943 unidades de processamento de resíduos sólidos cadastradas no banco de dados de 2008, 18% são aterros sanitários, 12,9% são aterros controlados e 11,8% são lixões. Ainda, somente 3,4% são unidades de compostagem e 2,2% são unidades de tratamento por incineração. O restante está dividido em outras unidades de processamento como áreas de reciclagem de entulhos, áreas de triagem e transbordo, aterros de resíduos da construção civil, aterros industriais, unidades de tratamento por microondas ou autoclave, unidades de manejo de galhos e podas, valas específicas de resíduos de saúde, queima, dentre outros.

A ampla utilização de aterros sanitários no país traz uma discussão sobre seus subprodutos gerados: lixiviado e biogás. O tratamento deste último no Brasil é praticamente todo feito através da queima do metano (CH_4) e liberação do dióxido de carbono (CO_2). Já o tratamento de lixiviado é hoje apontado por técnicos da área como o principal problema associado aos aterros sanitários e de acordo com POVINELLI e SOUTO (2007), uma solução apropriada ainda não foi alcançada.

Uma aparente similaridade entre o lixiviado e o esgoto sanitário, apontada pelos técnicos no início das tentativas frustradas de tratamento do primeiro, levaram a erros consecutivos e a uma grande dificuldade de equacionamento do problema. Segundo ReCESA (2008), embora venham sendo adotados os processo de tratamento de esgotos domésticos aos lixiviados no Brasil, ainda não há dados concretos sobre a eficiência dos sistemas de tratamento empregados.

Há ainda que se ressaltar, que segundo POVINELLI & ALÉM SOBRINHO (PROSAB, 2009), as dificuldades encontradas pelos pesquisadores e engenheiros para tratar o lixiviado de aterros sanitários talvez se devam ao fato de ser um problema relativamente novo para a engenharia sanitária no Brasil. O início da implantação de aterros sanitários com impermeabilização de base se deu na década de 1970. Antes disso, o lixiviado era um líquido que infiltrava por toda a extensão da base dos aterros e, portanto se figurava como um problema de contaminação do subsolo e das águas subterrâneas. Como não era coletado e conduzido a algum local específico, não se pensava em um tratamento para o mesmo.

A composição do lixiviado de aterros sanitários só passou a ser estudada e conhecida no princípio da década de 1970 (FLECK, 2003) e posteriormente se iniciaram os estudos para o tratamento desse efluente.

O lixiviado possui características que dificultam o seu gerenciamento e principalmente o seu tratamento biológico. Além de apresentarem elevadas concentrações de amônia, cloretos e de compostos recalcitrantes, existe a dificuldade de se estimar o seu volume, e ainda as suas características são bastante variáveis de um aterro para outro.

O tratamento biológico do lixiviado tem se mostrado pouco eficiente e os tratamentos físico-químicos, normalmente apresentam custos bastante elevados, operação complexa e geração de lodo químico de difícil gestão.

Já a evaporação do lixiviado pode ser considerada como uma tecnologia emergente em todo o mundo, principalmente quando utiliza equipamentos unitários instalados em cada unidade de saída de biogás do aterro. Sistemas únicos que recebem todo o lixiviado produzido no aterro são utilizados, porém apresentam grandes extensões de tubulação e ainda uma elevada dificuldade operacional.

Atualmente, apresenta-se como uma solução conveniente para o tratamento do lixiviado de aterros sanitários, o seu tratamento combinado em unidades existentes de tratamento de esgoto doméstico. No tratamento combinado, é importante a avaliação da compatibilidade do processo convencional de tratamento já implantado com as características do lixiviado produzido. Essa solução é uma das alternativas adotadas em vários países

como forma de reduzir os custos de operação dos aterros, inclusive no Brasil.

Os insucessos obtidos no Brasil e no mundo todo apontam para a necessidade de se repensar as estratégias até agora adotadas, buscando processos adequados para o tratamento do lixiviado e que possam ser aplicados dentro da realidade brasileira (POVINELLI & ALÉM SOBRINHO, PROSAB 2009). Considerando os problemas no tratamento por processos biológicos e físico-químicos convencionais, é necessária a busca de alternativas de tratamentos eficientes dentro de um padrão de sustentabilidade técnica e econômica.

Dessa maneira, uma pesquisa em escala de demonstração foi realizada, com o objetivo de analisar aspectos técnicos do tratamento combinado de lixiviado e esgoto doméstico, levando-se em consideração tanto o grau de complexidade operacional como a adequação dos efluentes à legislação ambiental vigente para lançamento em corpos d'água.

METODOLOGIA

A pesquisa de tratamento combinado em escala de demonstração (500 habitantes) foi desenvolvida nas lagoas facultativa, de maturação, aerada e de sedimentação do Centro Experimental de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro – CESA/UFRJ, em um período de quatro meses para cada linha de tratamento.

Foram utilizadas duas linhas de tratamento, conforme descritas a seguir e representadas na Figura 1:

- Linha 01: lagoa facultativa (LF) + lagoa de maturação (LM) + diluição lixiviado Gramacho;
- Linha 02: lagoa aerada (LA) + lagoa de sedimentação (LS) + diluição lixiviado Gericinó.

Ainda na Figura 1, pode-se observar os tanques de 1000 Litros que foram instalados nas proximidades das lagoas experimentais para armazenamento dos lixiviados provenientes dos aterros de Gramacho e de Gericinó, localizados no município do Rio de Janeiro. O abastecimento era realizado semanalmente por meio de caminhão pipa e a diluição do lixiviado nas lagoas era realizada por meio de bomba dosadora,

Figura 1 – Aparato experimental em funcionamento

em regime constante.

É importante ressaltar que as lagoas facultativa e de maturação já haviam sido operadas por FONSECA (2005) para o tratamento de esgoto doméstico sem a adição de lixiviado e seus resultados foram utilizados para comparação de desempenho do tratamento combinado. De maneira análoga, o mesmo pode-se relatar em relação às lagoas aerada e de sedimentação que haviam sido operadas por MATOS (2005). Ambas as pesquisas referidas foram desenvolvidas entre os anos de 2003 e 2005.

No presente trabalho, as linhas de tratamento 01 e 02 foram avaliadas em 05 diferentes fases operacionais, com características distintas, sendo cada uma delas operada por aproximadamente 04 meses.

Nas Tabelas 1 e 2 pode-se observar as principais características de operação das lagoas das linhas 01 e 02 de tratamento, respectivamente, para cada uma das 05 fases. Na Tabela 3 estão apresentadas as características de vazão e fator de diluição, utilizados em cada fase operacional da pesquisa.

Tabela 1 – Resumo das condições operacionais para a linha 01

Fase	Td Lagoa Facultativa (dias)		Td Lagoa Maturação (dias)		COS Lagoa Facultativa (kgDBO/ha.dia)	
	Aplicado*	Literatura**	Aplicado*	Literatura**	Aplicado***	Literatura**
01	6,6	15-45	3,2	>3 -7(ótimo)	313	100-350 (regiões tropicais)
02	6,6		3,2		221	
03	16,5		8,1		95	
04	16,5		8,1		95	
05	16,5		8,1		95	

Obs.: Td → Tempo de detenção hidráulica

COS → Carga Orgânica Superficial

* Valor aplicado no período

** Faixa recomendada pela bibliografia (JORDÃO & PESSOA, 2009) para esgoto doméstico

*** Valor aplicado em função da concentração afluyente média de DBO no período e da vazão imposta

Tabela 2 – Resumo das condições operacionais para a linha 02

Fase	Td Lagoa Aerada (dias)		Td Lagoa Sedimentação (dias)		COS Lagoa Aerada (kgDBO/ha.dia)	
	Aplicado*	Literatura**	Aplicado*	Literatura**	Aplicado***	Literatura**
01	4,8	2-4	1,5	< 2 ~1(ótimo)	557	1000-3000
02	4,8		1,5		574	
03	3,6		1,2		774	
04	7,1		2,3		304	
05	7,1		2,3		286	

Obs.: Td → Tempo de detenção hidráulica

COS → Carga Orgânica Superficial

* Valor aplicado no período

** Faixa recomendada pela bibliografia (JORDÃO & PESSOA, 2009) para esgoto doméstico

*** Valor aplicado em função da concentração afluente média de DBO no período e da vazão imposta

Tabela 3 – Vazões de lixiviado e esgoto doméstico e respectivas porcentagens de diluição

Fase	Linha Operacional 01				Linha Operacional 02			
	Vazão afluente		Vazão Gramacho	Diluição	Vazão afluente		Vazão Gericinó	Diluição
	(L/s)	(L/h)	(L/h)	(%)	(L/s)	(L/h)	(L/h)	(%)
01	0,10	360	7,20	2,0	0,15	540	10,80	2,0
02	0,10	360	1,80	0,5	0,15	540	2,70	0,5
03	0,04	144	0,72	0,5	0,20	720	3,60	0,5
04	0,04	144	0,72	0,5	0,10	360	1,80	0,5
05	0,04	144	variável	± 0,2	0,10	360	variável	± 0,2

Obs.: Linha 01 → Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação

Linha 02 → Lagoa Aerada + Lagoa de Sedimentação

Ressalta-se que na Tabela 3, os dados de vazão de lixiviado estão apresentados em L/h e os dados de vazão afluente estão apresentados em L/s e L/h, para facilitar o entendimento. Ainda, a vazão de lixiviado da fase 05, por estar condicionada à sua concentração de amônia, foi variável e apresentou uma diluição de aproximadamente 0,2% para ambas as linhas operacionais.

Para desenvolvimento desse trabalho, foram avaliados os parâmetros DBO, DQO e N-Amônia, que foram analisados de acordo com o que preconiza a 20ª edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

RESULTADOS

As 05 fases operacionais das duas linhas de tratamento combinado foram analisadas em relação às respectivas

estatísticas descritivas das concentrações afluentes e efluentes e das eficiências de remoção.

Para a linha 01, as estatísticas descritivas dos parâmetros DQO, DBO e N-amônia, para as fases operacionais de 01 a 05 podem ser observadas nas Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8 respectivamente. Para a linha 02, esses valores são encontrados nas Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13.

É importante ressaltar que os valores de média, mínimo, máximo e desvio padrão são referentes a um determinado número de dados (diferentes datas de coleta) para cada amostra. Se o número de dados de duas diferentes amostras de uma mesma fase for equivalente, não necessariamente os valores correspondem à mesma data de coleta. Dessa forma alguma discrepância pode ser encontrada ao se comparar valores de média, mínimo, máximo e desvio padrão de distintas amostras de uma mesma fase.

Tabela 4 – Estatísticas descritivas da fase operacional 01 (Linha 01)

Fase	Parâmetro	Amostra	Nº Dados	Média (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão
1	DQO	Esgoto bruto	15	493	115	1728	445
		Lixiviado bruto	15	3279	2088	3836	431
		Diluição (afluente)	12	315	200	518	97
		Efluente	12	173	75	253	63
	DBO	Esgoto bruto	15	238	37	654	176
		Lixiviado bruto	15	412	118	857	178
		Diluição (afluente)	11	181	119	298	55
		Efluente	9	75	48	96	18
	N-amoniacal	Esgoto bruto	7	44	17	101	27
		Lixiviado bruto	7	2385	530	3090	845
		Diluição (afluente)	7	99	32	219	61
		Efluente	7	50	21	111	31

Tabela 5 – Estatísticas descritivas da fase operacional 02 (Linha 01)

Fase	Parâmetro	Amostra	Nº Dados	Média (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão
2	DQO	Esgoto bruto	15	235	140	419	76
		Lixiviado bruto	16	3208	1950	4255	601
		Diluição (afluente)	13	236	105	387	80
		Efluente	13	141	32	256	78
	DBO	Esgoto bruto	15	127	70	239	41
		Lixiviado bruto	12	336	137	663	155
		Diluição (afluente)	12	128	71	199	46
		Efluente	11	58	16	147	33
	N-amoniacal	Esgoto bruto	6	47	26	98	27
		Lixiviado bruto	6	1211	228	3565	1222
		Diluição (afluente)	6	56	30	115	33
		Efluente	6	58	10	116	45

Tabela 6 – Estatísticas descritivas da fase operacional 03 (Linha 01)

Fase	Parâmetro	Amostra	Nº Dados	Média (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão
3	DQO	Esgoto bruto	15	224	90	462	102
		Lixiviado bruto	16	1989	1530	2802	397
		Diluição (afluente)	14	238	143	597	113
		Efluente	15	119	35	228	56
	DBO	Esgoto bruto	13	118	61	183	36
		Lixiviado bruto	2	245	198	292	66
		Diluição (afluente)	10	142	97	243	55
		Efluente	12	42	17	85	21
	N-amoniacal	Esgoto bruto	8	32	10	49	12
		Lixiviado bruto	6	564	76	700	242
		Diluição (afluente)	7	46	11	119	34
		Efluente	7	22	13	32	7

Tabela 7 – Estatísticas descritivas da fase operacional 04 (Linha 01)

Fase	Parâmetro	Amostra	Nº Dados	Média (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão
4	DQO	Esgoto bruto	10	272	133	569	143
		Lixiviado bruto	8	2559	2289	2910	249
		Diluição (afluente)	8	248	108	377	79
		Efluente	9	132	41	201	50
	DBO	Esgoto bruto	9	148	58	231	52
		Lixiviado bruto	-	-	-	-	-
		Diluição (afluente)	8	137	57	201	43
		Efluente	9	51	10	94	23
	N-amoniacoal	Esgoto bruto	10	36	30	42	5
		Lixiviado bruto	8	1311	764	2032	414
		Diluição (afluente)	8	37	9	48	12
		Efluente	9	29	23	38	5

Tabela 8 – Estatísticas descritivas da fase operacional 05 (Linha 01)

Fase	Parâmetro	Amostra	Nº Dados	Média (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão
5	DQO	Esgoto bruto	5	175	145	220	29
		Lixiviado bruto	5	2421	927	3635	1136
		Diluição (afluente)	7	296	108	994	316
		Efluente	7	258	77	859	275
	DBO	Esgoto bruto	4	89	75	108	14
		Lixiviado bruto	-	-	-	-	-
		Diluição (afluente)	6	138	62	400	129
		Efluente	6	72	30	140	41
	N-amoniacoal	Esgoto bruto	5	35	19	50	12
		Lixiviado bruto	5	1136	935	1317	148
		Diluição (afluente)	7	37	15	58	15
		Efluente	7	24	18	39	7

Tabela 9 – Estatísticas descritivas da fase operacional 01 (Linha 02)

Fase	Parâmetro	Amostra	Nº Dados	Média (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão
1	DQO	Esgoto bruto	15	490	115	1728	447
		Lixiviado bruto	15	1943	1536	2592	337
		Diluição (afluente)	13	258	134	422	83
		Efluente	13	110	42	197	46
	DBO	Esgoto bruto	15	238	37	654	176
		Lixiviado bruto	15	382	118	2491	590
		Diluição (afluente)	13	165	43	294	71
		Efluente	11	49	16	78	20
	N-amoniacoal	Esgoto bruto	7	47	17	126	36
		Lixiviado bruto	7	2056	533	2630	724
		Diluição (afluente)	7	115	39	232	72
		Efluente	7	15	9	25	6

Tabela 10 – Estatísticas descritivas da fase operacional 02 (Linha 02)

Fase	Parâmetro	Amostra	Nº Dados	Média (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão
2	DQO	Esgoto bruto	13	266	107	566	124
		Lixiviado bruto	13	1578	672	2080	407
		Diluição (afluente)	12	337	105	900	231
		Efluente	12	84	28	192	47
	DBO	Esgoto bruto	11	141	84	237	40
		Lixiviado bruto	11	211	112	348	85
		Diluição (afluente)	10	170	71	406	106
		Efluente	9	32	11	80	22
	N-amoniaco	Esgoto bruto	5	51	17	98	32
		Lixiviado bruto	5	913	275	2440	869
		Diluição (afluente)	5	66	21	104	37
		Efluente	5	28	9	47	15

Tabela 11 – Estatísticas descritivas da fase operacional 03 (Linha 02)

Fase	Parâmetro	Amostra	Nº Dados	Média (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão
3	DQO	Esgoto bruto	14	215	53	427	110
		Lixiviado bruto	16	1480	1080	2110	316
		Diluição (afluente)	15	275	93	872	193
		Efluente	15	92	9	324	75
	DBO	Esgoto bruto	11	118	58	169	33
		Lixiviado bruto	2	189	174	204	21
		Diluição (afluente)	13	165	66	454	99
		Efluente	12	27	5	49	14
	N-amoniaco	Esgoto bruto	10	31	8	47	10
		Lixiviado bruto	6	739	68	977	350
		Diluição (afluente)	8	35	10	55	13
		Efluente	6	17	3	37	12

Tabela 12 – Estatísticas descritivas da fase operacional 04 (Linha 02)

Fase	Parâmetro	Amostra	Nº Dados	Média (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão
4	DQO	Esgoto bruto	9	226	117	421	95
		Lixiviado bruto	9	1921	1235	3340	654
		Diluição (afluente)	11	222	117	389	82
		Efluente	11	72	33	173	40
	DBO	Esgoto bruto	10	131	74	185	32
		Lixiviado bruto	-	-	-	-	-
		Diluição (afluente)	10	135	70	234	45
		Efluente	9	33	10	74	20
	N-amoniaco	Esgoto bruto	10	35	29	48	7
		Lixiviado bruto	10	1141	624	1949	375
		Diluição (afluente)	11	42	9	105	24
		Efluente	11	13	1	38	17

Tabela 13 – Estatísticas descritivas da fase operacional 05 (Linha 02)

Fase	Parâmetro	Amostra	Nº Dados	Média (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão
5	DQO	Esgoto bruto	4	216	129	465	166
		Lixiviado bruto	4	1833	1495	2350	415
		Diluição (afluente)	6	295	126	831	268
		Efluente	6	90	37	189	54
	DBO	Esgoto bruto	4	102	74	166	44
		Lixiviado bruto	-	-	-	-	-
		Diluição (afluente)	6	127	74	233	59
		Efluente	5	33	21	45	11
	N-amoniaco	Esgoto bruto	4	33	18	51	14
		Lixiviado bruto	4	1035	903	1267	169
		Diluição (afluente)	6	40	20	56	15
		Efluente	6	10	3	24	7

Para facilitar o entendimento, na Tabela 14 estão apresentados os dados resumidos de desempenho das linhas 01 e 02 para todas as fases operacionais da pesquisa.

Tabela 14 – Resumo do desempenho da Linha de tratamento 01 e 02

Fase		DQO		DBO		N-amoniaco	
		Linha1	Linha2	Linha1	Linha2	Linha1	Linha2
01	Efluente (mg/L)	173	110	75	49	50	15
	Eficiência (%)	44	56	54	65	53	84
02	Efluente (mg/L)	141	84	58	32	58	28
	Eficiência (%)	41	66	51	78	37	51
03	Efluente (mg/L)	119	92	42	27	22	17
	Eficiência (%)	47	62	71	78	49	60
04	Efluente (mg/L)	132	72	51	33	29	13
	Eficiência (%)	42	62	59	71	32	75
05	Efluente (mg/L)	258	90	72	33	24	10
	Eficiência (%)	57	68	53	71	36	77
Esgoto*	Efluente (mg/L)	130	72	45	27	-	-
	Eficiência (%)	71	82	70	81	-	-

Obs.: * - desempenho das linhas 01 e 02 tratando somente esgoto doméstico durante 02 anos de operação

FONSECA, 2005 e MATOS, 2005 (não houve análise de N-amoniaco neste período)

Nos gráficos das Figuras 2 e 3, pode-se observar, respectivamente para eficiência de remoção e concentração efluente, a comparação entre resultados

somente das fases que apresentaram melhores desempenhos das linhas de tratamento 01 e 02, para os parâmetros DQO, DBO e nitrogênio amoniacal.

Figura 2 - Comparação entre eficiências de remoção da Linha 01 e da Linha 02

Figura 3 - Comparação entre concentrações efluentes da Linha 01 e da Linha 02

DISCUSSÃO

Operação Linha 01 - Discussão

Fase Operacional 01

Na primeira fase operacional da Linha 01 da pesquisa, optou-se por manter as características hidráulicas sugeridas por FONSECA (2005), de acordo com os melhores resultados encontrados em seus estudos.

Neste caso, para a lagoa facultativa, utilizou-se tempo de detenção hidráulica de 6,6 dias e a carga orgânica superficial adotada (COS) foi de 334 kgDBO/ha.dia (Tabela 01). Vale lembrar que na cidade do Rio de Janeiro, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, a temperatura média do mês mais frio (julho) é de 17 °C, podendo no verão, chegar a 40 °C, o que justifica a carga adotada. Estes parâmetros definiram uma vazão afluyente de aproximadamente 0,10 L/s (Tabela 3).

Para a diluição do lixiviado, optou-se por iniciar com 2% de vazão de lixiviado em relação à vazão de esgoto doméstico afluyente ao sistema, acreditando-se ser este um valor razoável para o tratamento combinado e, portanto que causaria baixo impacto ao sistema existente de tratamento de esgoto.

Fase Operacional 02

Nesta fase, optou-se por reduzir a diluição de lixiviado para 0,5%, conforme apresentado na Tabela 03, em função da apresentação de resultados preliminares de desempenho insatisfatórios na fase 01. Em relação às características de tempo de detenção hidráulica e carga orgânica superficial, as mesmas condições da fase 01 foram mantidas (Tabela 1).

Fase Operacional 03

Na operação da fase 03, manteve-se a diluição de 0,5%, porém alteraram-se as condições operacionais de tempo de detenção hidráulica e carga orgânica superficial da lagoa facultativa, para valores mais conservadores em relação ao tratamento de esgoto doméstico. JORDÃO e PESSOA (2009) sugerem para essas lagoas, tempo de detenção variando entre 15 e 45 dias e taxa de aplicação superficial entre 100 e 350 kgDBO/ha.dia para regiões

tropicais com sol e temperatura uniformemente distribuídos, sem coberturas de nuvens sazonais. Assim, conforme apresentado na Tabela 1, determinou-se para a lagoa facultativa, tempo de detenção hidráulica de 16,5 dias e carga orgânica superficial adotada de 134 kgDBO/ha.dia.

Fase Operacional 04

Para a linha 01, as condições de operação da fase 03 foram mantidas.

Fase Operacional 05

Ao verificar que os desempenhos insatisfatórios do tratamento combinado poderiam estar atrelados à elevada carga adicional de amônia proveniente do lixiviado mesmo em baixas taxas de diluições, optou-se por operar a fase 05 de maneira diferenciada, fazendo-se o ajuste desta vazão em função da concentração de amônia detectada no lixiviado, cuja frequência de abastecimento era semanal. Dessa forma, optou-se por adotar uma vazão de lixiviado que produzisse uma baixa carga de amônia em relação à de esgoto e ainda permitisse o tratamento de todo o lixiviado produzido por uma mesma população. Assim, fixou-se essa relação máxima entre cargas, em 5%.

A análise laboratorial de amônia era realizada no mesmo dia do abastecimento de lixiviado no CESA/UFRJ. Assim era possível determinar a carga de amônia do lixiviado em relação ao esgoto bruto, determinando a sua vazão de diluição que ficou estabelecida em torno de 0,2% durante o período de operação da fase 05 (Tabela 3).

As características de tempo de detenção hidráulica e carga orgânica superficial foram mantidas em relação à fase operacional 04.

Operação Linha 02 - Discussão

Fase Operacional 01

De maneira análoga à primeira fase operacional da Linha 01, no caso da Linha 02, optou-se por manter as características hidráulicas sugeridas por MATOS (2005), de acordo com os melhores resultados encontrados em seus estudos.

Neste caso, para a lagoa aerada, utilizou-se tempo de detenção hidráulica de 4,8 dias, resultando em uma vazão de 0,15 L/s, conforme apresentado na Tabela 02. Assim como na fase inicial da Linha 01, na Linha 02 também se iniciou a pesquisa com uma diluição de 2% de vazão de lixiviado em relação à vazão de esgoto doméstico afluente ao sistema (Tabela 3)

Fase Operacional 02

Em função de desempenho insatisfatório na primeira fase da pesquisa, reduziu-se a diluição para 0,5%, mas mantiveram-se as condições de carga orgânica superficial e tempo de detenção hidráulica (Tabelas 2 e 3).

Fase Operacional 03

Na operação da fase 03, manteve-se a diluição de 0,5%, porém alteraram-se as condições operacionais de tempo de detenção hidráulica e carga orgânica superficial da lagoa aerada, para valores mais conservadores em relação ao tratamento de esgoto doméstico. Definiu-se assim, de acordo com a Tabela 2, o tempo de detenção hidráulica de 3,6 dias; segundo JORDÃO e PESSOA (2009) valores usuais de conforto estão situados entre 2 e 10 dias.

Fase Operacional 04

Nesta fase, manteve-se a diluição de lixiviado de 0,5%, porém aumentou-se o tempo de detenção hidráulica para 7,1 dias, como pode ser observado na Tabela 2, aproximando-o de valores mais conservadores recomendados pela literatura.

Fase Operacional 05

A mesma discussão da fase operacional 05 da Linha 01 aplica-se para esta, em relação à adoção do ajuste de vazão em função da concentração de amônia detectada no lixiviado, fixando-se a relação máxima entre cargas de amônia de lixiviado e de esgoto, em 5%.

Assim, a vazão de diluição ficou estabelecida em torno de 0,2% durante o período de operação da fase 05 (Tabela 3).

Avaliação de Desempenho da Linha 01 - Discussão

A linha de tratamento 01 apresentou resultados

insatisfatórios quando comparados à sua operação tratando somente esgoto doméstico e quando comparados à operação da linha de tratamento 02.

Para a linha 01, a fase operacional 01, com diluição de 2% apresentou o pior desempenho, com eficiência média de remoção de DQO e DBO de 44% e 54%, respectivamente. Ainda o efluente dessa fase operacional apresentou concentração média efluente de nitrogênio amoniacal de 50 mg/L, valor bastante elevado, podendo comprometer a qualidade do corpo d'água receptor.

Ainda para a linha 01, a fase operacional 03, com diluição de 0,5%, tempo de detenção hidráulica de 16,5 dias e carga orgânica superficial adotada de 134 kgDBO/ha.dia (valores mais conservadores) apresentou o melhor resultado em relação ao parâmetro DBO (71% de eficiência de remoção), comparado à operação do sistema com esgoto sanitário (70% de eficiência de remoção). Seu efluente inclusive, apresentou concentração média do mesmo parâmetro = 42mg/L, próximo ao índice limite (40 mg/L) da faixa mais restritiva da legislação estadual do Rio de Janeiro para lançamento de efluentes em corpos d'água (DZ-215. R4 FEEMA, 2007). Ainda nesta fase, a concentração média efluente de nitrogênio amoniacal foi de 22mg/L, próximo ao valor limite anteriormente determinado pela legislação federal, Resolução CONAMA nº 357, para lançamento em corpos d'água. Nesta fase, a adição de 0,5% de lixiviado representou um aumento de aproximadamente 12% de carga de amônia no afluente. Cabe ressaltar, que atualmente a mesma legislação, não mais impõe este limite, por entender a dificuldade de se alcançar este valor em tratamentos convencionais de esgoto doméstico no Brasil.

Avaliação de Desempenho da Linha 02 - Discussão

Já para a linha operacional 02, com exceção da fase 01, que teve diluição elevada de 2% de volume de lixiviado em relação ao volume de esgoto, todas as outras fases apresentaram desempenho satisfatório quanto ao parâmetro DBO, quando comparadas à operação da linha tratando somente esgoto doméstico. As fases 02, 03, 04 e 05 ainda apresentaram concentração média efluente de DBO menor do que 40mg/L, valor limite para lançamento em corpos d'água da faixa mais restritiva da legislação estadual do Rio de Janeiro (DZ-215.R4, FEEMA)

O desempenho das unidades para o parâmetro DQO

também se mostrou satisfatório na linha 02, apesar das eficiências médias de remoção estarem entre 62% e 68% nas fases 02 a 05, apresentando concentração média efluente entre 72mg/L e 92mg/L.

A remoção de amônia nesta, também foi satisfatória, apresentando efluentes com concentração média de nitrogênio amoniacal variando de 10mg/L a 28mg/L, até mesmo na fase 01, onde a diluição de 2% representou um aumento de 87% de carga de amônia no afluente.

CONCLUSÕES

- A *lagoa facultativa* pode não ser uma boa opção para o tratamento combinado, por ser um processo extremamente natural e, portanto mais susceptível tanto a variações de carga de DQO, DBO e amônia, como à toxicidade imposta pela elevada concentração de amônia presente nos lixiviados. Na pesquisa, resultados satisfatórios para a lagoa facultativa (linha 01) somente foram alcançados na fase 03, com diluição de 0,5% (v/v), quando as unidades apresentaram eficiência média de remoção de DBO de 71% e concentração média efluente de 42 mg/L.
- Já a *lagoa aerada* se apresentou menos vulnerável em relação à variação de carga afluente, imposta pela diluição de lixiviado, além de apresentar boa capacidade de remoção de amônia, por volatilização. Assim, o sistema que compõe a lagoa aerada (linha 02) se configura como uma tecnologia viável para o tratamento combinado com até 0,5% de diluição (v/v). Nestes casos, as unidades apresentaram concentração efluente de DBO menor que 40 mg/L e de DQO menor que 100 mg/L, além de uma boa remoção de amônia, com concentração média efluente de 28 mg/L no pior caso (fase 02) e de 10 mg/L na fase de melhor desempenho operacional (fase 05).
- Os resultados demonstram maior fragilidade da lagoa facultativa em receber adição de carga de DQO, DBO e principalmente amônia, em função da adição do lixiviado. Acredita-se que o maior crédito para o baixo desempenho da lagoa facultativa deve ser dado à adição de carga de amônia. Dessa maneira, sugere-se a realização da volatilização de amônia do lixiviado bruto, anteriormente à sua diluição para tratamento. Ressalta-se que em nenhuma etapa da pesquisa, o parâmetro de lançamento de

N-amoniacal determinado pela legislação do Rio de Janeiro foi alcançado.

- Sugere-se que para a realização do tratamento combinado, adote-se um índice de diluição em função do aumento da carga orgânica e/ou de amônia por ocasião da adição do lixiviado e não do volume, como tem sido feito normalmente. Os lixiviados de diferentes aterros são muitos distintos e, portanto diluições em função somente da vazão podem acarretar impactos na ETE, bastante discrepantes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*, 2010. 199p.

AWWA/APHA/WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed., New York; USA, 1998.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2008*. Ministério das Cidades. *Parte 01 – Texto-Visão Geral da Prestação de Serviços*, 264p. Brasília, 2010.

FLECK, E. *Sistema Integrado por Filtro Anaeróbio, Filtro Biológico de Baixa Taxa e Banhado Construído Aplicado ao Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS, 2003.

FONSECA, P.W. *Avaliação do Desempenho e Caracterização de Parâmetros em Lagoas Facultativa e de Maturação*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, 2005.

GIUSTI, L. *A Review of Waste Management Practices and Their Impacts of Human Health*. Waste Management, 29: 2227-2239, 2009.

GOMES, L.P. (coordenadora). *Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as*

Condições Brasileiras. PROSAB – tema III edital V. Rio de Janeiro, 2009 - 360p.

HARADA, T., TANIZAWA, F., TAUE, S., NISHIMURA, Y., OSHIKATA, T., FURUICHI, T. e HANASHIMA, M. *Changes in Subsurface Linear Systems and Leachate Treatment Technologies for Final Disposal Sites in Japan*. In: XI International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy – 2007.

JORDÃO, E.P e PESSOA, C.A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 5ª Edição. ABES, Rio de Janeiro, 940 p. 2009.

MATOS, O. S. *Avaliação do Desempenho e Caracterização de Parâmetros em Lagoa Aerada Seguida de Lagoa de Sedimentação*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, 2005.

PENIDO J.H.M. *Transformando um Passivo Ambiental em Recurso Energético: El Metano como Fuente de Energia y de Recursos*. In: III Congreso Interamericano de Residuos – AIDIS. Buenos Aires, 2009.

PERSSON, K.M., VAN PRAAGH, M. e OLSBERG, E. *Removal of Heavy Metals from Landfill Leachate by an Artificial Wetland During a Nordic Autum*. In: XI International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy – 2007.

POVINELLI, J. e SOUTO, G.D.B. *Ammonia Stripping from Landfill Leachate Using Packed Towers*.

In: XII International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy – 2009.

ReCESA – Rede Nacional de Extensão e Capacitação Tecnológica em Saneamento Ambiental. *Resíduos Sólidos: Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: Guia do Profissional em Treinamento – nível 2*. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 120p. Belo Horizonte, 2008.

RIO DE JANEIRO. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. DZ-215-R4/setembro de 2007. *Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Sanitária*. Rio de Janeiro, 25 de setembro de 2007.

SANTOS, A.S.P. *Aspectos Técnicos e Econômicos do Tratamento Combinado de Lixiviado de Aterro Sanitário com Esgoto Doméstico em Lagoas de Estabilização*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, 2010

SCHARFF, H., KOK, B. e KROM, A.H. *The Role of Sustainable Landfill in Future Waste Management Systems*. In: XI International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy – 2007.

THORNELOE, S.A. *U.S. EPA's Research to Update Guidance for Quantifying Landfill Gas Emissions*. In: XI International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy – 2007.