



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

III-002 - AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MASSA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA COM RECIRCULAÇÃO DE CHORUME

Ilka Soares Cintra⁽¹⁾

Engenheira Civil. Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor Adjunto do Departamento de Cartografia da UFMG.

Paulo Augusto Cunha Libânio

Engenheiro Civil. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Bruno Maia Pyramo Costa

Engenheiro Civil. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro civil e sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne – UK. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Instituto de Geociências da UFMG. Av. Antonio Carlos 6627 - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 34995425

 ilkasc@dedalus.lcc.ufmg.br

RESUMO

O presente estudo apresenta uma avaliação das características físicas da massa de resíduos sólidos urbanos (RSU) sob o efeito da técnica de recirculação de chorume. Desta forma, diversos parâmetros físico-químicos de interesse foram investigados a partir da análise da massa de resíduos resultantes da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos, submetidos a três condições distintas de operação: aterramento convencional (Linha 1), aterramento com recirculação de chorume cru (Linha 2) e sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos e de chorume (Linha 3). A partir dos resultados obtidos com a caracterização físico-química da massa úmida, de início e fim dos experimentos (após 600 dias de operação) pode-se inferir que a recirculação do chorume cru promovida na Linha 2 acelera a degradação dos componentes dos resíduos em valores bem próximos àqueles obtidos com a recirculação do chorume inoculado, proveniente da Linha 3.

PALAVRAS-CHAVE: Digestão Anaeróbia, recirculação de chorume, caracterização de resíduos.

INTRODUÇÃO

A destinação dos resíduos tem-se constituído em um dos principais problemas enfrentados pelas administrações municipais. A digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos, através da técnica de aterro sanitário, vem sendo utilizada como forma de tratamento final destes resíduos, mas envolve, dentre outros aspectos, o correto tratamento e disposição do líquido lixiviado pela massa de resíduos. Assim, estudos sobre a recirculação de chorume, aliados ao

acompanhamento do processo de estabilização da massa de resíduos, constitui-se numa contribuição ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (CINTRA, 2001).

REINHART (1996) mostra as vantagens da tecnologia de recirculação de chorume na estabilização dos resíduos, no gerenciamento e tratamento do chorume, no incremento da produção de gás, na redução do volume dos resíduos e nos impactos ambientais a longo prazo.

Neste contexto, o presente estudo apresenta uma avaliação das características físicas da massa de resíduos sólidos urbanos (RSU) sob o efeito da técnica de recirculação de chorume. A partir dos resultados obtidos com a caracterização física da massa úmida, de início e fim dos experimentos (após 600 dias de operação) pode-se inferir que a recirculação do chorume cru acelera a degradação dos componentes dos resíduos em valores bem próximos àqueles obtidos com a recirculação do chorume inoculado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento dos estudos que possibilitassem o melhor entendimento e aprofundamento dos fatores e questões que influenciam a aceleração dos mecanismos de degradação e estabilização dos resíduos sólidos urbanos, com ênfase na recirculação de chorume, foram projetados e confeccionados nove reatores experimentais, subdivididos em três linhas com três reatores por linha – experimento em triplicata, buscando-se reduzir a interferência devido à heterogeneidade dos resíduos sólidos urbanos – correspondentes a condições de operação distintas:

Linha 1 – aterramento convencional dos resíduos, sem recirculação de chorume;

Linha 2 – aterramento dos resíduos com recirculação de chorume bruto;

Linha 3 – sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de chorume.

Os reatores de RSU utilizados são colunas de fibra de vidro de 2,50 m de altura útil e diâmetro interno de 60 cm, perfazendo um volume de aproximadamente 700 litros. Ademais, os reatores foram equipados com piezômetros, sendo ainda previstos dispositivos para amostragem dos líquidos e gases gerados, bem como sistemas de recirculação e distribuição de chorume e de medição de biogás.

Por sua vez, objetivando-se a produção de inóculo a partir do próprio sistema, sem a introdução de nenhum fator externo (inoculação endógena), implantou-se, na linha 3, correspondente ao sistema integrado de tratamento, um reator UASB confeccionado em tubos de PVC e com volume útil de aproximadamente 30 litros, o qual foi inoculado com lodo biológico granulado proveniente de outro reator UASB tratando águas residuárias.

Enquanto na linha 2 promoveu-se a recirculação do volume total de chorume drenado a uma taxa constante de $9,5 \text{ L.d}^{-1}$ por m^3 de resíduo, no sistema integrado de tratamento (Linha 3), a taxa de recirculação foi determinada observando-se o atendimento aos critérios e parâmetros hidráulicos usualmente adotados na partida e operação de reatores UASB (Chernicharo, 1997), atingindo-se um valor de aproximadamente $17,1 \text{ L.d}^{-1}$ por m^3 de resíduo após 140 dias (Libânio, 2002).

Caracterização física dos resíduos de preenchimento dos reatores

Durante 9 dias, amostrou-se o lixo urbano coletado em todas regionais de limpeza pública de Belo Horizonte, à exceção da regional Centro, basicamente proveniente da atividade comercial.

Após a realização de sucessivas etapas de quarteamento, descarte dos quartos vis a vis, e homogeneização dos quartos restantes, sempre com a utilização de uma pá mecânica devido ao grande volume de lixo amostrado, obtinha-se, diariamente, uma amostra final de aproximadamente 100 kg, necessária à determinação da composição gravimétrica.

Caracterização física dos resíduos de abertura dos reatores

Após o monitoramento do sistema por aproximadamente 600 dias, procedeu-se a abertura dos reatores para se avaliar as características da massa de resíduos sólidos ao término do experimento. Assim, o substrato parcialmente bioestabilizado, remanescente no interior dos reatores foi caracterizado, segundo metodologia desenvolvida especificamente para esta situação, por falta de procedimentos estabelecidos em estudos semelhantes.

Os componentes provenientes da abertura dos reatores da pesquisa seguiram os mesmos critérios adotados para a caracterização inicial dos resíduos sólidos que preencheram os reatores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação da composição gravimétrica no preenchimento dos reatores

Os componentes da amostra de cada dia, no preenchimento dos reatores, foram separados e pesados nas categorias: *identificável*, *não identificável* e *excluído*. Por sua vez, aqueles classificados como *identificável* foram divididos em três grandes grupos, a saber: *rapidamente biodegradáveis* (Grupo I), *lentamente biodegradáveis* (Grupo II) e *inertes* ou *pouco biodegradáveis* (Grupo III).

Os passos para a caracterização de lixo urbano *in natura* são propostos em outro trabalho desenvolvido pela mesma equipe e resumem a metodologia de caracterização dos resíduos desenvolvida para preenchimento dos reatores da pesquisa (CINTRA, 2003).

Determinação da composição gravimétrica na abertura dos reatores

Os materiais provenientes da abertura dos reatores seguiram os mesmos [critérios de classificação](#) adotados para a caracterização inicial dos resíduos sólidos que preencheram os reatores. Assim, foram classificados em *identificável* e *não identificável*, esperando-se não encontrar nenhum material considerado como *excluído*. Por sua vez, aqueles classificados como *identificável* foram divididos em três grandes grupos, a saber: i) *rapidamente biodegradáveis* (Grupo I), ii) *lentamente biodegradáveis* (Grupo II) e iii) *inerte ou pouco biodegradáveis* (Grupo III).

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização dos resíduos provenientes da abertura dos reatores, considerados como resíduos em decomposição, destacando-se os totais dos grupos e o percentual da amostra diária que foi analisada quimicamente. Os resultados de peso úmido obtidos na etapa de preenchimento dos reatores também foram listados, para facilidade de comparação.

Na Tabela 1 tem-se que para todos os reatores, à exceção do Reator 3 (que não sofreu inoculação inicial com chorume), os grupos que apresentaram maiores percentuais, em massa úmida, em ordem decrescente, foram: III, II e I. Esta ordem mostra-se diferente daquela do preenchimento dos reatores, ou seja, I, III e II. Os materiais classificados como do Grupo III (*inertes*) representaram, em média, 42% (variando de 26% a 51%) do total dos resíduos em decomposição, percentual maior que os 29% iniciais. Este acréscimo pode ser explicado pela incorporação de material particulado aos resíduos inertes e pouco biodegradáveis, como as embalagens de plástico, vidro e metais, aumentando o percentual de participação destes em todos os reatores, à exceção do Reator 3. Para este reator, a menor percentagem para o Grupo III pode ser explicada pelo fato de ter havido pouca ou nenhuma agregação de materiais aos resíduos deste grupo, devido a uma menor degradação dos compostos orgânicos. Inclusive, esta situação do R3 favoreceu uma melhor identificação de materiais durante a caracterização, facilitando a separação em categorias e aumentando o valor destas. Especificamente, na caracterização da parte inferior do Reator 7, foi feita uma lavagem dos resíduos agregados às embalagens de PET. Para a massa de PET total (sem lavagem) obteve-se o valor de 3,08 kg, enquanto para o PET limpo encontrou-se 1,96 kg. Isto implica numa variação de massa de aproximadamente 37% e aponta para a importância de uma separação cuidadosa dos resíduos miúdos agregados às embalagens de vidro, plástico, papel e metal, durante a caracterização, como pode ser observado nas Figuras 1 a 4.

Os materiais classificados como Grupo II (*lentamente biodegradáveis*) representaram um percentual de 28% em média na abertura dos reatores, maior que os 21% iniciais. Para este grupo, além da incorporação de resíduos particulados, como aconteceu para os materiais do Grupo III, houve, ainda, uma absorção de umidade pelos papéis recicláveis e papelões que, devido à sua constituição, se tornavam uma massa visualmente homogênea, dificultando a sua separação dos outros materiais dos reatores (Figuras 5 e 6).

Tabela 1 - Valores percentuais das categorias das amostras dos resíduos sólidos de Belo Horizonte, na abertura dos reatores da pesquisa

linhas		Linha 1			Linha 2			Linha 3			Resultados iniciais
Reatores		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	
Data		02/04	28/03	24/03	14/03	12/03	24/02	21/03	19/03	17/03	
Amostra (kg)		336,33	291,28	301,52	246,74	265,34	257,50	268,58	280,22	267,36	
Grupo	Categoria	Peso úmido (%)									
III	Vidro	2,29	2,88	3,08	2,69	2,92	7,78	4,21	5,02	5,33	2,69
	Metal ferroso	2,39	3,23	2,29	3,30	3,08	3,36	3,83	3,84	3,49	1,95
	Metal não ferroso	0,71	0,72	0,66	0,77	0,59	1,36	0,91	0,36	0,79	0,53
	Plástico fino	17,45	20,26	9,15	20,23	21,50	24,23	18,83	19,44	18,32	10,99
	Plástico duro	4,72	5,34	3,40	6,70	6,16	7,08	4,56	6,92	5,53	3,31
	PET	1,64	1,92	1,23	1,99	2,83	1,29	1,80	2,28	2,09	1,37
	Entulho	1,92	2,52	1,03	1,09	0,81	0,59	2,07	2,16	0,73	2,15
	Outros	6,23	5,51	5,19	7,68	8,51	5,53	6,45	5,84	5,80	6,02
	Total	37,35	42,38	26,03	44,45	46,40	51,22	42,66	45,86	42,08	29,02
II	Papel reciclável	11,94	10,24	15,59	12,19	13,37	17,96	15,58	10,46	12,99	8,06
	Papel não reciclável	5,81	4,41	8,12	3,30	4,27	1,07	3,54	5,38	3,64	5,76
	Papelão	3,01	2,77	7,43	2,16	1,15	0,00	0,84	1,02	2,08	2,74
	Tetra Pak	2,81	2,36	2,41	2,29	2,56	2,32	3,06	1,70	2,87	1,43
	Tecidos	4,24	4,74	2,50	6,81	3,09	1,77	1,93	1,48	4,80	2,15
	Madeira	0,83	2,54	0,92	1,77	1,66	1,18	2,16	2,02	1,21	1,03
	Total	28,64	27,06	36,97	28,52	26,10	24,30	27,11	22,06	27,59	21,17
I	Matéria orgânica	10,39	11,42	17,80	4,64	4,13	5,24	5,73	3,34	3,76	37,72
	Podas	6,32	7,11	4,82	5,95	10,22	5,79	12,17	10,62	9,09	5,32
	Ossos	1,16	0,77	0,54	0,87	0,58	0,63	0,48	0,90	0,40	0,71
	Total	17,87	19,3	23,16	11,46	14,93	11,66	18,38	14,86	13,25	43,74
Material Particulado		16,12	4,47	13,82	15,56	12,58	12,83	12,38	13,62	17,09	6,08
Gr. I + Gr. II + Mat. Part.		62,63	50,83	73,95	55,54	53,61	48,79	57,87	50,54	44,68	70,99



Figura 1 – Metal ferroso – reator R4



Figura 2 – Metal ferroso – reator R3



Figura 3 – PET – reator R4

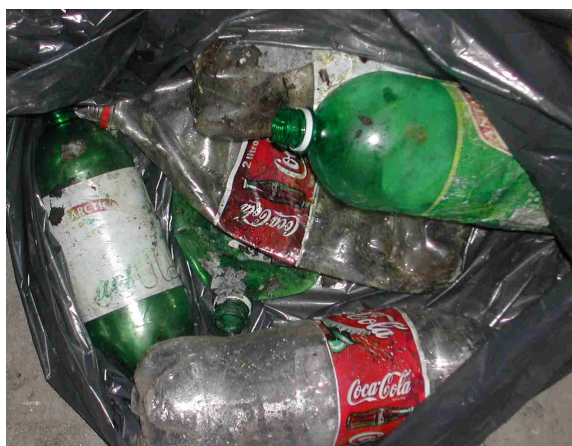


Figura 4 – PET – reator R3



Figura 5 – Papelão – reator R2



Figura 6 – Papelão – reator R3

Para o Reator 3, o percentual de acréscimo do Grupo II foi maior que para os demais reatores da pesquisa devido, principalmente, às condições físicas dos materiais deste reator. Os resíduos deste grupo, mesmo úmidos, mantinham maior integridade física, permitindo uma melhor separação de materiais e elevando o percentual destes. Vale lembrar que houve a colocação de chorume, no início da pesquisa, apenas nos reatores R1 e R2 da linha 1.

Aqueles materiais classificados como do Grupo I (*rapidamente biodegradáveis*), que apresentaram, em média, 44% durante o preenchimento dos reatores, sofreram uma redução substancial ao longo da pesquisa, representando apenas 16%, em média, na abertura dos reatores. Destaca-se que, para a linha 1, os reatores R1 e R2 apresentaram valores menores que o reator R3, mas maiores que todos os demais reatores da pesquisa. Como estes dois reatores receberam

200 litros de chorume no início da pesquisa e o Reator 3 ficou seco, acredita-se que a simples colocação de chorume nestes reatores contribuiu para interferir no processo de degradação dos resíduos. O cheiro insuportável ocorrido quando da abertura do Reator 3 aponta para este fato. Também, pôde-se observar um elevado estágio de degradação de alguns materiais das linhas 2 e 3, em relação à linha 1, como o ocorrido com cascas de coco e latas de alumínio (Figuras 7 a 10).



Figura 7 – Coco – reator R4



Figura 8 – Coco – reator R3



Figura 9 – Lata de alumínio – reator R4



Figura 10 – Lata de alumínio – reator R3

Vale observar que a redução de componentes do Grupo I poderia, também, estar contribuindo para o aumento do teor de material particulado em cada reator. Cabe ressaltar que a redução do teor de matéria orgânica pode, também, estar associada ao acréscimo no teor de podas, principalmente, pela dificuldade de diferenciação entre estes resíduos. Todavia, mesmo com a possibilidade de identificação de matéria orgânica em outras categorias (ex: podas, material particulado), ainda assim é notória a redução destes materiais, do início para o final do experimento. Tal percepção pode ser observada a partir das Figuras 11 e 12, onde as massas destas três categorias foram computadas majoritariamente, resultando em reduções de 15% para R1; 19% para R2; 13% para R3; 25% para R4; 30% para R5; 25% para R6; 19 % para R7; 18% para R8 e 19% para R9. Portanto, a linha 2 apresentou aproximadamente 26%, enquanto, a linha 3, aproximadamente 19% de redução.

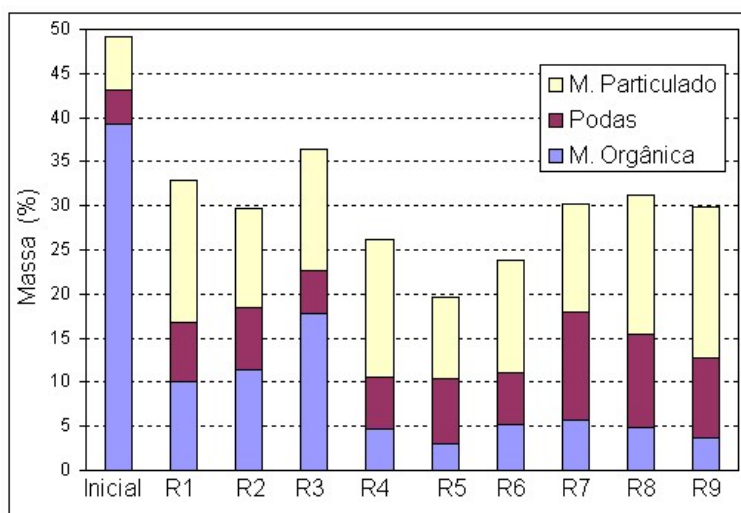


Figura 11 – Variação de massa dos resíduos sólidos do Grupo I

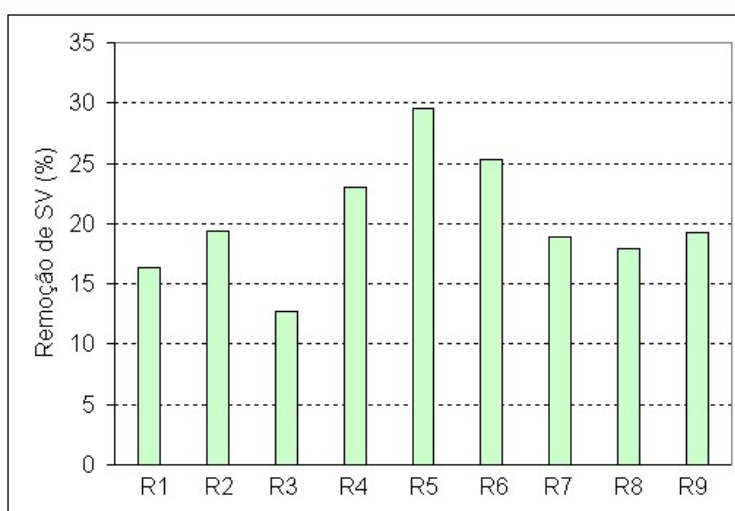


Figura 12 – Remoção de sólidos voláteis para os resíduos sólidos do Grupo I

A massa de resíduos composta pelos Grupos I, II e material particulado (da qual fazem parte as amostras submetidas às análises de umidade, sólidos voláteis, CHN, lipídios, carboidratos e proteínas e metais) tiveram a percentagem inicial de 6% aumentadas para 13%, ao longo da pesquisa para todos os reatores. Para os reatores da linha 1, tem-se que o reator R3 ficou bem próximo aos demais reatores da pesquisa, enquanto o reator R2 obteve um percentual de massa úmida bem abaixo do reator R1 (Tabela 2).

Tabela 2 -Variação da massa úmida das diversas categorias dos resíduos dos reatores

Grupo	Categoria	Linha 1 (R1 e R2)			Linha 1 (R3)			Linha 2 (R4 e R5)			Linha 3 (R7, R8 e R9)		
		Inicial (kg)	Final (kg)	Variação (%)	Inicial (kg)	Final (kg)	Variação (%)	Inicial (kg)	Final (kg)	Variação (%)	Inicial (kg)	Final (kg)	Variação (%)
III	vidro	20,07	16,10	-19,79	8,75	9,30	6,34	17,06	14,40	-15,58	27,70	37,84	36,03
	metal	18,01	21,92	21,69	8,06	8,90	10,38	15,73	18,76	19,30	25,54	35,74	39,31
	Plástico fino	79,82	117,72	47,48	35,73	27,58	-22,81	69,69	106,96	53,49	113,17	154,62	36,03
	Plástico duro e PET	33,99	42,52	25,09	15,22	13,98	-8,12	29,67	45,28	52,59	48,19	54,69	13,51
	Entulho	15,62	13,80	-11,63	6,99	3,12	-55,37	13,63	5,34	-60,83	22,14	15,46	-30,22
	Outros	43,72	35,48	-18,86	19,57	15,64	-20,09	38,17	41,54	8,82	61,99	48,20	-22,26
II	Papel	130,67	136,86	4,74	58,49	101,10	72,85	114,07	105,79	-7,26	185,25	172,36	-6,98
	Tecidos	15,62	28,70	83,79	6,99	7,54	7,87	13,63	25,00	83,38	22,14	23,92	8,04
	Madeira	7,48	10,18	36,08	3,35	2,78	-16,98	6,53	8,76	34,13	10,61	14,60	37,04
I	M. Org. putrescível	312,61	110,14	-64,77	139,93	68,22	-51,25	272,91	64,22	-76,47	443,20	125,78	-71,23
	Ossos	5,16	6,14	19,06	2,31	1,62	-29,82	4,50	3,68	-18,26	7,31	4,56	-37,51
Material particulado		44,16	86,84	96,65	19,77	41,66	110,75	38,55	71,78	86,19	62,61	122,92	96,14
Total geral		726,33	626,40	-13,76	325,12	301,44	-7,28	634,08	511,51	-19,33	1029,74	810,69	-21,36

(*) Variação = (Final – Inicial)/Inicial x 100

A partir da Tabela 2 pode-se inferir que: i) há redução da massa úmida dos resíduos, em cerca de 20% para as linhas 2 e 3; ii) houve semelhança entre as características dos resíduos das linhas 2 e 3, em termos de variação de massa com exceção da categoria vidro e outros e iii) houve provável aumento do percentual de materiais inertes, como metal e plásticos em geral, para todos os reatores, à exceção do reator 3, atestando a provável incorporação de material particulado a estes resíduos.

Conclusões e Recomendações

A partir dos resultados obtidos com a caracterização da massa úmida de RSU, do início e do final dos experimentos (após 600 dias de operação dos reatores), pode-se destacar 3 pontos de interesse para a pesquisa de resíduos sólidos urbanos. Primeiramente, os resultados indicaram uma degradação muito próxima entre os reatores operados de maneira semelhante em cada linha, diferenciadas entre o tratamento convencional, aquele sistema com recirculação de chorume cru e aquele com recirculação de chorume inoculado, representado pelas linhas 1, 2 e 3, respectivamente.

Assim, pode-se dizer que após as comparações entre os diferentes resultados característicos de cada linha, que a recirculação do chorume cru, promovida na linha 2, no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos acelera a degradação dos componentes dos resíduos em valores bem próximos à recirculação do chorume inoculado. Também, a simples colocação do chorume na massa de resíduos confinados constitui-se, por si só, uma operação de melhoria do processo de decomposição dos resíduos sólidos urbanos, haja vista, o comportamento dos reatores R1 e R2 da linha 1 em comparação com o reator 3 da mesma linha.

Outro ponto de interesse, a partir dos resultados obtidos nas caracterizações dos resíduos, no início e no fim do experimento, se constitui nos passos metodológicos propostos para cada um destes momentos da pesquisa. Deve-se atentar para o fato da falta de referências para a metodologia de abertura de células de lixo e caracterização de resíduos aterrados.

Ademais, materiais que demonstraram, visualmente, uma melhor degradação, como cascas de coco e latas de alumínio, dentre outros, deveriam compor amostras de resíduos sólidos utilizadas para avaliação do processo de decomposição de materiais.

Convém ressaltar, que o chorume introduzido nos reatores foi proveniente de células antigas de aterro sanitário e, portanto, de caráter ácido, podendo ter facilitado o processo de decomposição dos resíduos confinados. Assim, o fato

da introdução de chorume de células antigas de aterro sanitário em células novas, também proporciona uma melhoria do sistema convencional de tratamento de resíduos. Esta situação parece ser interessante na prática de operação em células de lixo, pois num primeiro momento pode-se utilizar chorume de antigos aterros para auxiliar novas células em decomposição e a partir daí recircular o chorume produzido até o momento que a produção não comprometa a estabilidade do aterro. Nesta hora implanta-se o sistema de tratamento de chorume, para uso de seu efluente no processo de decomposição de resíduos e se faz o descarte correto do excedente operacional.

Referências Bibliográficas

1. CHERNICHARO, C.A.L.; Reatores Anaeróbios. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Volume 5, 246p. Belo Horizonte, 1997.
2. CINTRA, I.S.; LIBÂNIO, P.A.C.; COSTA, B.M.P.; CHERNICHARO, C.A.L. Estudo da Influência da Recirculação de Chorume na Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: Monitoramento da Fase Inicial. PROSAB, Edital 3, Tema 4, Relatório Final, 2001.
3. CINTRA, I.S.; LIBÂNIO, P.A.C.; COSTA, B.M.P.; CHERNICHARO, C.A.L. Proposta de metodologia para caracterização de resíduos sólidos urbanos. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, Santa Catarina, 2003.
4. LIBÂNIO, P.A.C. Avaliação da Eficiência e Aplicabilidade de um Sistema Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos e de Chorume. Escola de Engenharia da UFMG, 2002, 155p. (Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos).
5. REINHART, D.R.; ALL YOUSFI, A.B. The impact of recirculation on Municipal Solid Waste Landfill operating characteristics. Waste Management & Research, v.14(4), p. 337-346, 1996.