

REMOÇÃO DE GÁS SULFÍDRICO POR FILTRO DE SOLO

Iraci da Silva Leme Monteiro¹
José Arnaldo Gomes²
José Claudio de Moraes³
José Roberto Costa²
Aldo Gallacci Filho³

RESUMO — O presente trabalho apresenta os resultados de remoção de sulfeto de hidrogênio (H_2S) de uma corrente gasosa proveniente de um biodigestor de vinhaça, que passa através de um filtro de solo em diferentes tempos de detenção. Várias modificações no sistema e na operação do filtro foram introduzidas ao longo do estudo, tendo-se chegado a uma condição satisfatória onde concentrações de até 16,70 mg/l de H_2S foram totalmente removidas em um tempo de detenção de 86,7 segundos. Nas condições do ensaio não foi possível detectar a degradação biológica do H_2S .

Palavras-chave: poluição do ar, remoção, controle da poluição do ar, usos do solo, desodorização, filtração do ar, poluição ambiental, filtração.

ABSTRACT — This paper presents results obtained by removing hydrogen sulphide (H_2S) from a stillage biodigestor gas stream passing through a soil filter at different detention times. Several modifications in the system and in the operation conditions were introduced along the development of the study, leading to a satisfactory condition which completely removed H_2S concentrations of up to 16,70 mg/l, in a 86,7 seconds detention time. Biological degradation could not be detected under these test conditions.

Key words: air pollution, removal, air pollution control, soil uses, deodoriferous, air filtration, environmental pollution, filtration.

INTRODUÇÃO

A utilização de filtros de solo e compostos utilizados para desodorização de corrente de ar vem sendo preconizada há muitos anos por diversos autores.

Com base no princípio natural de que os produtos gasosos da decomposição da matéria orgânica enterrada são frequentemente oxidados na superfície do solo, foram projetados sistemas de desodorização biológica, onde o gás contaminado é coletado e passado através de um leito de solo ou coluna recheada de solo. Com a passagem de gás através do leito ou das colunas, o solo o absorve e os microrganismos oxidam os gases de origem orgânica, tais como H_2S , SO_2 , NH_3 , NO e outros contaminantes.

Segundo Bohn (1), os filtros de solo são adaptados a larga faixa de contaminantes de ar e podem ser utilizados para remover baixas concentrações não retiradas pelas técnicas físico-químicas convencionais.

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

É comum admitir-se que o biogás obtido por fermentação anaeróbia contém, além da mistura CH_4/CO_2 , traços de H_2S . É evidente que essas misturas são suscetíveis a variações proporcionais grandes, dependendo do despejo a ser tratado. Todavia,

mesmo em pequenas proporções, o H_2S é um composto altamente indesejável numa corrente gasosa pelas seguintes razões:

Toxicidade: além do odor fortemente desagradável, a toxicidade do produto é inquestionável. Uma concentração superior a 700 ppm é rapidamente mortal. Além disso, um escape de elevadas concentrações de H_2S no biogás não pode ser detectado, pois ele provoca anestesia das mucosas, impedindo que o odor seja sentido. Existe, portanto, um real perigo para as fortes concentrações;

Corrosão: geralmente os materiais utilizados classicamente nas instalações para gases não são suscetíveis à utilização com um biogás bruto contendo H_2S . As canalizações de aço são lentamente atacadas, particularmente nos lugares onde a condensação de água se acumula. Os metais cuprosos reagem com o H_2S . Certos motores térmicos são sujeitos à corrosão se o carburante contiver H_2S .

A estocagem sob pressão de um gás contendo sulfeto de hidrogênio não pode ser feita em recipientes-padrão. Por motivo de segurança (corrosão do aço sob pressão), em alguns países as concentrações máximas de H_2S num gás a ser comprimido a 250 bars devem ser as seguintes:

— tomada de amostra instantânea: 15 mg/Nm³ e 12 mg/Nm³ para períodos superiores a oito horas;

— tomada de amostra média em oito dias: 7 mg/Nm³;

Poluição: a combustão de um biogás bruto produz fumaças contendo SO_2 prejudiciais ao ambiente animal e vegetal. A valorização do biogás passa, em certos casos, pela sua depuração em H_2S .

A remoção de baixas concentrações de gases poluidores de correntes gasosas é difícil e cara. Essas técnicas incluem lavagem

¹Biólogo da CETESB

²Engenheiros da CETESB

³Analistas da CETESB

(com ou sem permanganato, hipoclorito ou iodo), queimadores ou adsorção por carvão ativado. Essas técnicas geralmente requerem altos custos, poluem a água de lavagem e algumas somente concentram, ao invés de remover poluentes.

Os filtros de solo ou composto orgânico controlam o odor com sucesso em vários países da Europa, apresentando poucos dos problemas descritos acima.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para satisfazer aos imperativos de simplicidade das pequenas estações foi testado um reator em escala de laboratório, recheado com solo de jardim, através do qual foi passada uma corrente de gás. O gás utilizado para os ensaios era proveniente de um biodigestor anaeróbio de vinhaça e apresentava concentrações variáveis em H_2S . A unidade experimental era composta, basicamente, de uma coluna de acrílico com entrada de gases na parte inferior, recheada com solo de jardim, pedregulho e areia (Figura 1).

A coluna de acrílico utilizada tinha uma altura total de 71 cm, diâmetro de 8,5 cm e volume total de 4 l. A entrada do fluxo de gás era feita na sua parte inferior e a amostragem de saída na lateral superior.

O fluxo de gás de saída do biodigestor era transferido para um recipiente e bombeado para dentro da coluna misturado com ar por uma bomba de aeração normalmente utilizada em aquário.

A coluna foi recheada da seguinte forma (de baixo para cima):

- uma camada de pedregulho;
- uma camada de areia;
- uma camada de solo de jardim.

A camada de pedregulho e areia funciona como camada de difusão e a camada de solo como reator propriamente dito. Para determinação do volume do reator foi necessário definir os espaços vazios na camada de solo. Isso foi efetuado pelo preenchimento da coluna com água pela sua entrada inferior, até atingir o nível superior da camada de solo, subtraindo-se o volume gasto para encher a camada de difusão. O espaço vazio dessa camada foi estabelecido, em separado, pelo deslocamento de água provocado pela imersão das mesmas quantidades de pedregulho e areia contidas na coluna, em uma proveta graduada. Descontando-se o volume utilizado no preenchimento da camada de difusão do total de água drenada da coluna, obteve-se o espaço vazio da camada de solo, que se admitiu corresponder ao volume do reator propriamente dito.

O tempo de detenção do gás na coluna foi calculado pela razão entre o volume do reator/vazão de gás utilizada no experimento. Os solos utilizados foram coletados a uma profundidade de 15 cm em terrenos férteis e peneirados em aparelho de "granul-test" de malha de 2 mm, para homogeneização dos grãos, separação de pedras, folhas etc. O acompanhamento da eficiência da coluna na remoção de H_2S foi efetuado através de análise química e de cromatografia em fase gasosa.

A análise química de H_2S foi adaptada a partir da análise de sulfetos em água utilizada na CETESB. Foi realizada pela coleta do gás borbulhado em frasco lavador contendo uma solução de 5 ml de acetato de zinco, 2 N e 100 ml de água destilada, durante um tempo variável (1 a 3 min). Imediatamente após o borbulhamento, uma solução de iodo 0,025 N foi acrescentada ao frasco lavador até persistir a coloração amarelo-castanho, anotando-se o volume de iodo gasto. Para fixação do iodo adicionou-se 5 ml de HCl 50% em volume e titulou-se com $Na_2S_2O_3$ a 0,025 N até se obter uma coloração amarelo-clara. Posteriormente, adicionou-se o amido como indicador, até que a coloração azul intensa fosse obtida. Continuou-se a titulação com tiosulfato até o ponto de viragem incolor. O cálculo foi efetuado segundo a equação:

$$\text{mg/l de } S^{*} 4 \times [(\text{ml iodo} \times \text{fator de correção do iodo}) - (\text{ml } Na_2S_2O_3 \times \text{fator de correção do } Na_2S_2O_3)].$$

A análise cromatográfica foi realizada da seguinte forma: a amostra foi coletada com microseringa e injetada num cromatógrafo a gás modelo CG-500 com detector de condutividade térmica a 140°C. As colunas utilizadas foram: Cromossorb 102 e Peneira Molecular S.A., aquecidas a 95°C.

O sistema de vaporização da amostra foi aquecido a 120°C e o volume de amostra injetado foi de 200 μ l. O cálculo utilizado foi o de percentagem por volume.

Os experimentos foram realizados pela passagem a diferentes vazões de um fluxo ascendente de gás através da coluna de solo, utilizando-se uma bomba de aeração normalmente utilizada em aquários. O recheio foi trocado três vezes e algumas modificações operacionais foram introduzidas ao longo do estudo.

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Ensaio 1: O primeiro ensaio foi efetuado com o objetivo de testar a coluna com o recheio e verificar os possíveis problemas operacionais. Teve caráter mais qualitativo do que quantitativo.

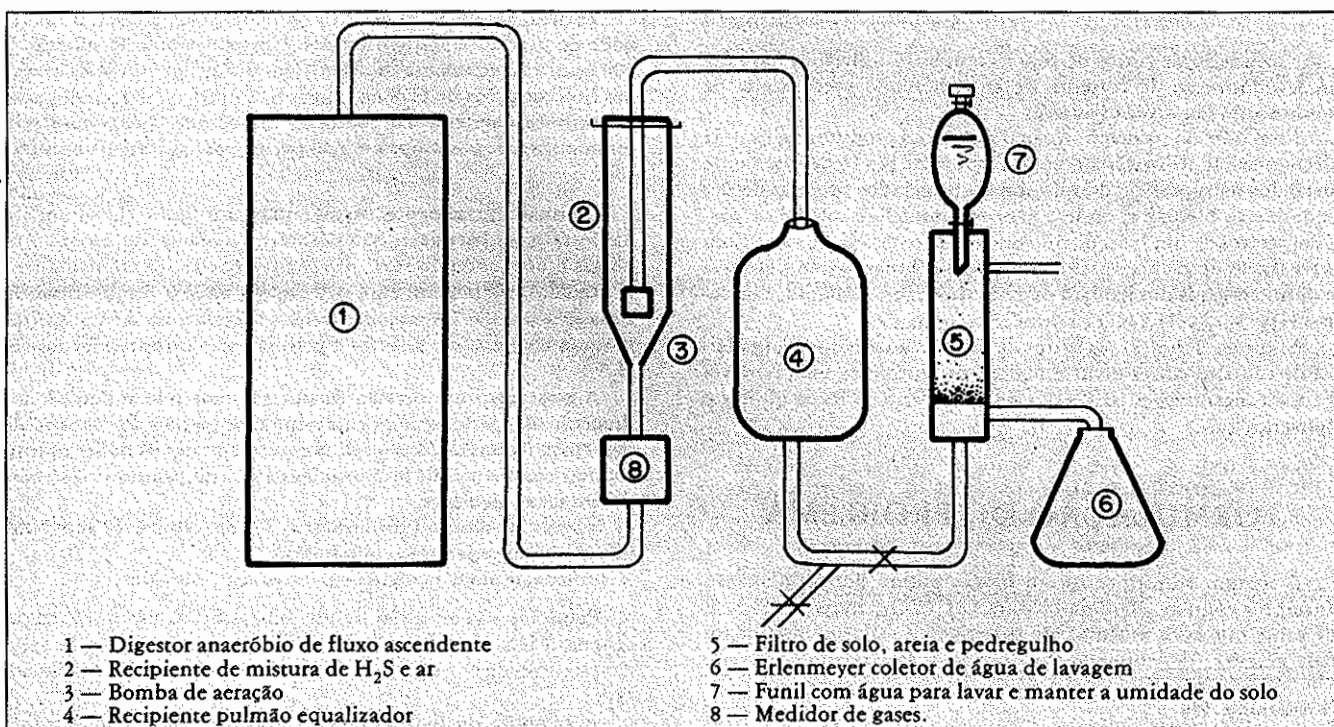


FIGURA 1 — Esquema básico do sistema utilizado na remoção de H_2S .

A coluna foi preparada conforme descrito anteriormente, com:

- camada de pedregulho;
- camada de areia;
- camada de solo, proveniente da ETE de Vila Leopoldina, com 31 cm de altura.

A vazão de gás foi de 1.000 ml/min, controlada por um rotâmetro e a coluna foi umedecida com bastante água. Foram feitas tomadas de amostra na entrada e na saída da coluna e analisada a concentração de H₂S através de análise química e algumas análises cromatográficas. O gás foi passado através da coluna continuamente durante dois meses.

Ensaio 2: A coluna foi preparada com:

- camada de pedregulho;
- camada de areia;
- camada de solo, proveniente da praça Roquete Pinto (Caxingui).

A camada de pedregulho, juntamente com a de areia, perfazia uma altura de 9 cm. A camada de solo tinha 31 cm de altura.

O volume do reator (espaços vazios na camada de solo) foi determinado experimentalmente conforme descrito anteriormente. O volume total de água gasto para preencher a coluna foi de 400 ml. Subtraindo-se 340 ml referentes à água da camada de difusão e do reservatório, o volume final do reator foi de 60 ml. Com esse recheio foram utilizadas duas vazões: 1.000 ml de gás/min e posteriormente 120 ml de gás/min. O tempo de detenção foi calculado pela razão entre volume do reator/vazão de gás e foi respectivamente de 3,6 e 30 seg.

A umidade da coluna foi mantida em torno de 30%, conforme recomendação de fonte bibliográfica (1). Foram feitas análises químicas e algumas cromatográficas de H₂S. Os resultados obtidos serão enunciados a título de informação, mas não serão considerados na discussão dos resultados por terem apresentado uma grande dispersão. O gás foi passado através da coluna continuamente durante aproximadamente um mês e meio com um tempo de detenção de 3,6 seg e durante um mês com um tempo de detenção de 30 seg.

Ensaio 3: A coluna foi recheada com:

- 250 ml de pedra, h = 3,5 cm;
- 250 ml de areia, h = 4,5 cm;
- 43 cm de solo da praça Roquete Pinto, Caxingui.

O volume total da coluna foi de 530 ml, subtraindo-se o volume da camada de difusão e do reservatório, chegou-se ao volume do reator de 1534 ml. A vazão de gás utilizada foi de 105,88 ml/min. O tempo de detenção do gás na camada de solo foi de 86,7 seg. A umidade da coluna foi mantida em torno de 30% e não houve necessidade de se juntar água, pois o reator era fechado na sua parte superior e mantinha a umidade constante. No sistema de operação foi colocado — entre o reator e a bomba de aeração — um tanque-pulmão, que funcionava como tanque de equalização, para evitar as variações bruscas de concentração de H₂S.

Nestas condições de vazão e tempo de detenção, o ensaio 3 foi dividido em duas partes: com o solo *in natura*, isto é, contendo toda a flora microbiana nativa; com solo esterilizado a seco em estufa a 170°C durante três horas.

O gás foi passado através da coluna continuamente durante dois meses na primeira fase (solo *in natura*) e durante 17 dias na

segunda fase, nas mesmas condições de vazão e tempo de detenção. Após esse tempo a vazão de gás foi ligeiramente aumentada para 150 ml de gás/min, e um tempo de detenção de 61,2 seg. O reator foi operado nesse regime durante três meses. O ensaio foi acompanhado através de cromatografia gasosa e a caracterização microbiológica do solo foi feita antes e depois da passagem do gás. Para se certificar da eficiência da esterilização do recheio foi feito um teste de esterilidade.

Resultados

Os resultados obtidos nos ensaios 1, 2 e 3 estão tabulados, sem ordem cronológica, separados por ordem de grandeza de 5 em 5 mg de H₂S por litro de gás nas Tabelas 1 a 9. Entradas de H₂S superiores a 20 mg/l não foram consideradas, por fugirem ao escopo do estudo. As análises microbiológicas estão apresentadas nas Tabelas 10 e 11.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ensaio 1: No primeiro ensaio pôde-se verificar as dificuldades com a operação, a amostragem, a variação da produção de H₂S etc. Foi tentada a adaptação para gases da análise química de H₂S utilizada pela CETESB para água. Foram feitas modificações na técnica de amostragem, quando do borbulhamento do gás na solução de acetato de zinco, por causa da intensa formação de espuma no frasco lavador. Para isso, a vazão foi diminuída na hora da coleta e os pontos de coleta alterados. Os resultados da análise química de H₂S variaram muito e se afastaram bastante dos poucos resultados obtidos por análise cromatográfica.

Ensaio 2: Neste ensaio determinou-se experimentalmente o volume do reator; foi fixada a umidade da camada de solo em torno de 30% e verificado que, pelo fato de a coluna ser fechada na parte superior, a umidade se mantinha, não sendo necessária a adição de água. Conforme pode ser observado nas Tabelas 3 a 6, muitos resultados negativos foram obtidos, isto é, concentração de H₂S na saída da coluna maior que na entrada. Para minorar essa ocorrência, para cada análise química de H₂S da saída da coluna foram tomadas duas amostras de entrada. Portanto, cada resultado de entrada das Tabelas 3 a 6 é uma média de dois resultados. Verificou-se que a torneira que desviava o fluxo de gás da coluna para a saída da amostragem demorava alguns segundos para começar a borbulhar. Assim, ela foi trocada por outra mais sensível, que permitia o pronto borbulhamento. Apesar dos esforços, verificou-se que a análise química de gás não apresentou bons resultados para H₂S.

Ensaio 3: Este foi conduzido praticamente da mesma forma que os anteriores, somente tendo sido introduzido um recipiente equalizador entre a bomba de membrana (aerador de aquário) e a entrada da coluna. Como pode ser verificado nas Tabelas 7 a 9, realmente os picos de produção de H₂S foram amortecidos. Coincidentemente, o biodigestor diminuiu bastante a produção de H₂S, isto em função da diminuição da quantidade de sulfato no resíduo tratado por esse processo. Durante esse ensaio contou-se com acompanhamento cromatográfico para análise de H₂S durante todo o período. Conforme pode ser verificado, com o solo *in natura* para um tempo de detenção de 86,7 seg., concentrações de até 16,70 mg de H₂S por litro de gás foram removidas completamente.

A caracterização microbiológica do solo, conforme pode ser verificado na Tabela 10, apresentava uma boa diversidade de gêneros. As bactérias pesquisadas envolvidas no ciclo do enxofre

TABELA 1 — Resultados de análise química de H₂S (em mg/l) — Ensaio 1.

Classes de entrada	Entrada			Saída			Eficiência %	Nº de análises
	Média	Desvio padrão	Faixa de variação	Média	Desvio padrão	Faixa de variação		
0,1 a 5,0	2,31	1,03	1,58 a 3,03	0,80	0,23	0,64 a 0,96	65,4	2
5,1 a 10,0	8,63	1,35	5,58 a 10,02	3,83	2,17	0,44 a 8,78	55,6	17
10,1 a 15,0	12,86	1,43	10,22 a 14,66	6,11	2,99	2,82 a 11,81	52,5	19
15,1 a 20,0	16,83	1,11	15,08 a 19,07	8,02	3,49	0,66 a 15,86	52,3	16

TABELA 2 — Resultados de análise cromatográfica de H₂S (em mg/l) — Ensaio 1.

Classes de entrada	ENTRADA			SAÍDA			Eficiência %	n.º de análises
	média	desvio padrão	faixa de variação	média	desvio padrão	faixa de variação		
0,1 a 5,0	3,42	0,76	3,04 a 4,55	1,52	1,24	0,00 a 3,04	55,6	4
5,1 a 10,0	7,21	1,07	6,07 a 9,11	2,85	2,21	0,00 a 6,07	60,5	8
10,1 a 15,0	11,93	1,62	10,63 a 13,66	10,19	2,87	7,59 a 15,18	14,6	7
15,1 a 20,0	17,07	1,76	15,18 a 18,21	14,23	2,68	10,63 a 19,73	16,6	8

TABELA 3 — Resultados de análise química de H₂S (em mg/l) — Ensaio 2 — Tempo de detenção = 3,6 seg.

Classes de entrada	ENTRADA			SAÍDA			Eficiência %	n.º de análises
	média	desvio padrão	faixa de variação	média	desvio padrão	faixa de variação		
0,1 a 5,0	—	—	—	—	—	—	—	—
5,1 a 10,0	8,79	1,33	7,50 a 10,01	2,52	2,42	0,55 a 5,97	71,3	4
10,1 a 15,0	12,11	1,73	10,14 a 14,53	4,91	4,68	2,12 a 14,28	59,5	6
15,1 a 20,0	18,06	1,78	15,52 a 19,66	10,80	4,28	4,28 a 14,94	40,2	7

TABELA 4 — Resultados de análise cromatográfica de H₂S (em mg/l) — Ensaio 2 — Tempo de detenção = 3,6 seg.

Classes de entrada	ENTRADA			SAÍDA			Eficiência %	n.º de análises
	média	desvio padrão	faixa de variação	média	desvio padrão	faixa de variação		
0,1 a 5,0	—	—	—	—	—	—	—	—
5,1 a 10,0	—	—	—	—	—	—	—	—
10,1 a 15,0	11,13	0,87	10,63 a 12,14	8,10	5,75	1,52 a 12,14	27,2	3
15,1 a 20,0	18,21	1,52	16,70 a 19,73	12,10	6,23	4,55 a 16,70	33,6	5

TABELA 5 — Resultados de análise química de H₂S (em mg/l) — Ensaio 2 — Tempo de detenção = 30 seg.

Classes de entrada	ENTRADA			SAÍDA			Eficiência %	n.º de análises
	média	desvio padrão	faixa de variação	média	desvio padrão	faixa de variação		
0,1 a 5,0	—	—	—	—	—	—	—	—
5,1 a 10,0	8,11	1,49	5,45 a 9,89	7,59	3,14	2,40 a 15,04	6,4	13
10,1 a 15,0	12,17	1,54	10,02 a 14,82	10,95	6,34	3,09 a 24,25	10,0	15
15,1 a 20,0	16,84	0,27	16,65 a 17,03	6,26	7,24	1,14 a 11,38	62,8	2

TABELA 6 — Resultados de análise cromatográfica de H₂S (em mg/l) — Ensaio 2 — Tempo de detenção = 30 seg.

Classes de entrada	ENTRADA			SAÍDA			Eficiência %	n.º de análises
	média	desvio padrão	faixa de variação	média	desvio padrão	faixa de variação		
0,1 a 5,0	—	—	—	—	—	—	—	—
5,1 a 10,0	7,85	4,04	7,59 a 9,11	4,56	4,29	1,52 a 7,59	41,9	2
10,1 a 15,0	12,90	1,07	12,14 a 13,66	3,04	2,14	1,52 a 4,55	76,4	2
15,1 a 20,0	—	—	—	—	—	—	—	—

TABELA 7 — Resultados de análise cromatográfica de H₂S (em mg/l) — Ensaio 3, solo *in natura* — tempo de detenção = 86,7 seg.

Classes de entrada	ENTRADA			SAÍDA			Eficiência %	n.º de análises
	média	desvio padrão	faixa de variação	média	desvio padrão	faixa de variação		
0,1 a 5,0	4,17	0,94	1,52 a 4,55	zero	—	—	99,9	12
5,1 a 10,0	7,16	1,05	6,07 a 10,63	zero	—	—	99,9	60
10,1 a 15,0	11,59	1,59	9,11 a 13,66	zero	—	—	99,9	22
15,1 a 20,0	15,83	0,81	15,18 a 16,70	zero	—	—	99,9	7

TABELA 8 — Resultados de análise cromatográfica de H₂S (em mg/l) — Ensaio 3, solo esterilizado — tempo de detenção = 86,7 seg.

Classes de entrada	ENTRADA			SAÍDA			Eficiência %	n.º de análises
	média	desvio padrão	faixa de variação	média	desvio padrão	faixa de variação		
0,1 a 5,0	3,47	1,14	1,52 a 4,55	zero	—	—	99,9	7
5,1 a 10,0	7,42	1,21	6,07 a 9,11	zero	—	—	99,9	35
10,1 a 15,0	10,63	0,00	10,63	zero	—	—	99,9	4
15,1 a 20,0	—	—	—	—	—	—	—	—

TABELA 9 — Resultados de análise cromatográfica de H₂S (em mg/l) — Ensaio 3, solo esterilizado — tempo de detenção = 61,2 seg.

Classes de entrada	ENTRADA			SAÍDA			Eficiência %	n.º de análises
	média	desvio padrão	faixa de variação	média	desvio padrão	faixa de variação		
0,1 a 5,0	2,88	1,03	1,52 a 4,55	zero	—	—	99,9	56
5,1 a 10,0	7,84	1,38	4,55 a 9,11	2,42	2,39	0,00 a 7,59	69,1	42
10,1 a 15,0	10,63	0,00	10,63	5,95	2,05	3,04 a 7,59	44,0	5
15,1 a 20,0	—	—	—	—	—	—	—	—

TABELA 10 — Resultados de análise bacteriológica do recheio da coluna no ensaio 3, com solo *in natura*, antes e depois da passagem de gás, para um tempo de detenção de 1,45 min.

Determinação	Antes da passagem-gás		Depois da passagem-gás	
	NMP/g peso seco	N.º colônias/g peso seco	NMP/g peso seco	N.º colônias/g peso seco
Fixadores aeróbios	6,2 x 10 ⁵		6,2 x 10 ⁴	
Fixadores anaeróbios	6,2 x 10 ³		1,3 x 10 ³	
Proteolíticos	3,3 x 10 ⁴		6,2 x 10 ⁴	
Amonificantes	3,3 x 10 ⁵		6,2 x 10 ⁴	
Nitrificantes (conversão de amônia a nitrito)	331		33	
Nitrificantes (conversão de nitrito a nitrato)	331		331	
Denitrificantes	3,3 x 10 ⁴		2,1	
Amilolíticos	3,3 x 10 ⁵		1,3 x 10 ³	
Hemicelulolíticos	<4,3		<4,3	
Celulolíticos aeróbios	4,3		62	
Celulolíticos anaeróbios	56		1,3 x 10 ³	
Bact. Red. do Sulfato	331		7,2 x 10 ³	
<i>Thiobacillus</i> sp	3,2 x 10 ³		1,1 x 10 ⁵	
Contagem de fungos		320		215
Contagem de actinomicetos		<2,9		2,0 x 10 ⁴
Contagem de bactérias heterotróficas em placa		5,6 x 10 ⁴		2,1 x 10 ⁵

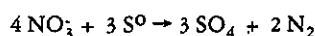
Peso seco = 69,4%

TABELA 11 — Resultado do teste de esterilidade do recheio da coluna utilizado no ensaio 3.

Procedência	Contagem de bactérias heterotróficas em placas-UFC*
Recheio da coluna estéril	Ausentes

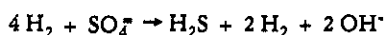
*UFC — Unidade Formadora de Colônia

efetivamente aumentaram, sendo que as bactérias redutoras do sulfato tiveram um aumento da ordem de 22 vezes e os *Thiobacillus* sp da ordem de 34 vezes. Algumas espécies de *Thiobacillus* sp podem oxidar H₂S, e outros compostos reduzidos de enxofre têm baixas tolerâncias a ácidos, depositam enxofre elementar, além de gerar H₂SO₄ em oxidações posteriores. Outras espécies produzem sulfato a partir da oxidação de enxofre elementar e outros compostos inorgânicos de enxofre. Outros ainda obtêm sua energia exclusivamente a partir da oxidação de enxofre inorgânico e seu carbono a partir da redução de CO₂. A maioria dos *Thiobacillus* é composta de aeróbios obrigatórios que requerem oxigênio para a oxidação de compostos inorgânicos de enxofre. Todavia, uma espécie desse gênero pode utilizar íon nitrato como acceptor de elétron na oxidação de compostos de enxofre inorgânicos, como por exemplo, na seguinte reação:



Uma variedade de outros microrganismos heterotróficos oxidam enxofre inorgânico a sulfato ou tiosulfato, mas aparentemente não obtêm energia dessa transformação.

As bactérias redutoras do sulfato são hábeis em utilizar sulfato como acceptor terminal de elétron na respiração anaeróbica. O aumento desse grupo de bactéria indica que houve a elevação da quantidade de sulfato no leito de solo e que lá existem regiões anóxicas, uma vez que a redução do sulfato é inibida pela presença de oxigênio. A redução do sulfato resulta na produção de H₂S, de acordo com a seguinte fórmula:



No teste com o solo estéril foi possível se verificar a adsorção do H₂S na coluna de solo. Na observação visual da coluna percebeu-se o escurecimento (preto acinzentado) nos primeiros 10 cm da camada de solo. No restante, a coloração manteve-se inalterada.

CONCLUSÕES

O filtro de solo remove substancialmente o H₂S de um fluxo de gás em concentrações de até 16,70 mg H₂S/l, nas condições de ensaio.

Verificou-se que a adsorção é um importante componente na remoção de H₂S de um fluxo de gás.

A remoção biológica não pôde ser verificada nas condições do ensaio até a concentração testada, com solo "in natura" e estéril, de 10,63 mg H₂S/l. Concentrações superiores a 10,63 mg H₂S/l até 16,70 mg H₂S/l, que foram totalmente removidas com solo "in natura" a uma vazão correspondente a um tempo de detenção de 1,05 min, não puderam ser retidas com solo estéril.

Um aumento da ordem de 34 e 22 vezes do grupo bactérias do ciclo do enxofre pesquisadas, respectivamente *Thiobacillus* sp e Redutoras do Sulfato, foi efetivamente verificado após a passagem do gás através da coluna.

A operação do sistema na escla realizada demonstrou ser bastante simples e o equipamento requerido para sua montagem foi de custo bastante reduzido.

A análise química do H₂S para acompanhamento dos ensaios, apesar de inúmeras tentativas, não apresentou resultados satisfatórios, quando comparado à análise cromatográfica.

RECOMENDAÇÕES

Seria altamente interessante a continuidade do presente estudo, tendo em vista os resultados obtidos, especialmente se fosse executado com uma fonte controlável de H₂S, para que se pudes-

se quantificar o componente físico da remoção de H₂S. Assim, seria possível estudar técnicas de inoculação, seleção de cepas, reatores modulares, recheios com maior superfície de contato e outros recursos passíveis de serem introduzidos no estudo com o objetivo de otimizar o desempenho do sistema, que efetivamente cumpriu seus objetivos na escala testada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Técnico Químico Roberto Cavalheiro Martins e ao Consultor Engenheiro Boris Schneiderman pela valiosa colaboração prestada.

REFERÊNCIAS

- 1 — BOHN, H. *Soil and Compost Filters for Malodorous Gases*. J. Air Pollut. Control Assoc. 25 (953), 1975.
- 2 — CARLSON, D.A. & LEISER, C.P. *Soil Beds for the Control of Sewage Odors*. J. Water Poll. Control. Fed., 38 (829), 1966.
- 3 — CHAO, T.T. et al. *Soil Constituents and Properties in the Adsorption of Sulfate Ions* Soil Science, February, 276.
- 4 — COOPER, D.E. et al. *Sulfide Reduction in Fellingmongery Effluent by Red Sulfur Bacteria*. J. Water Pool. Control., Vol. 47 (8) 2088, 1975.
- 5 — CREATE. *Elimination de L'Hydrogene Sulfure des Gas Digestion* Centre des Recherches et d'Essais Appliqués Aux Techniques de L'Eau. Etude Réalisée par Shell Recherche, 1985.
- 6 — KIRCHNER, K. et al. *Biodegradation of Organic Waste Gas Pollutants with Bacterial Suspensions*. Biotechnology Letters, Vol. 3 (10) 567, 1981.
- 7 — KOBAYASHI, A.R. et al. *Use of Photosynthetic Bacteria for Hydrogen Sulfide Removal from Anaerobic Waste Treatment Effluent*. Water Research, 17, 579, 1983.
- 8 — MATHEWS, P. J. & BOON, A.G. *Odour Nuisance in Sewage and Treatment Systems: Problems and Control*. Water Pollution Control, 79, 248, 1978.
- 9 — PARKER, C.D. & PRISK, J. *The Oxidation of Inorganic Compounds of Sulphur by Various Sulphur Bacteria*. J. Gen. Microbiol. 8, 344, 1953.
- 10 — POMEROY, R.D. *Deodorizing of Gas Streams by the Use of Microbiologicals Growths*. U.S. Patent 2, 793, 096, May 21, 1957.
- 11 — POMEROY, R.D. *Controlling Sewage Plant Odors*. Consult. Eng. 20 (101), 1963.
- 12 — POMEROY, R.D. & CRUSE, H. *Hydrogen Sulfide Odor Threshold*. J. Amerc. Water Word Assoc., 61 (677), 1969.
- 13 — POMEROY, R.D. *Biological Treatment of Odorous Air*. J. Water Poll. Control. Fed., 54 (12) 1541, 1982.
- 14 — RANDS, M.B. et al. *Compost Filters for H₂S Removal from Anaerobic Digestion and Rendering Exhausts*. J. Water Poll. Control. Fed., Vol. 53 (2) 185, 1981.
- 15 — RITTMAN, B.E. & McCarty, P.L. *Variable Order Model of Bacterial Film Kinetics*. J. Environ. Eng. Div., Proc. Am. Soc. Civ. Eng., 104, 889, 1978.
- 16 — SLETTEN, O. & SINGER, R.H. *Sulphur Bacteria in Red Lagoons*. J. Water Pol. Control Fed., Vol. 43 (10) 2118, 1971.
- 17 — SMITH, K.A. et al. *Sortion of Gaseous Atmospheric Pollutants by Soils*. Soil Sci., 116 (313), 1973.
- 18 — WARREN, G.A. *Designing for Odor Control*. Biocycle, May/June, 32, 1983.
- 19 — WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Hydrogen Sulfide*. Environmental Health Criteria, 19, 1981.