



III-093 – SISTEMA DE BARREIRA BIO-QUÍMICA COMO ALTERNATIVA DE TRATAMENTO PARA CHORUME EM ATERROS SANITÁRIOS

Keila Gislene Querino de Brito Beltrão⁽¹⁾

Mestre em Engenharia Civil, com ênfase em Saneamento, pelo Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. Doutoranda pela Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, área de Geotecnia. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos GRS/UFPE.

José Fernando Thomé Jucá

Professor do Departamento de Engenharia Civil da UFPE. Doutor pela Universidad Politécnica de Madrid. Coordenador do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS/UFPE. Coordenador do Programa de Monitoramento dos Aterros da Muribeca-PE. Coordenador dos Projetos PROSAB-FINEP, PRONEX e CHESF-ANNEL. Consultor do Ministério das Cidades na área de resíduos sólidos.

Antonio Rodrigues de Brito

Engenheiro Civil pela Universidade de Pernambuco – UPE, bolsista de apoio técnico do CNPq, Membro do Grupo de Resíduos Sólidos GRS/UFPE.

Maria Cristina Moreira Alves

Professora da Escola de Engenharia da UFRJ, cedida ao Grupo de Resíduos Sólidos GRS/UFPE. Doutora em Geotecnia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio. Coordenadora Adjunta do Projeto PRONEX

Endereço⁽¹⁾ :Rua Antonio Vicente, 553 - Ed. Brasil - apto. 301 – Boa Viagem - Recife- PE - CEP: 51030-480 - Brasil - Tel: (81) 3088-6883 – Cel: (81)9953-9467 – Fax: 3271- 8222 - Email: keilabeltrao@yahoo.com.br

RESUMO

O tratamento de chorume *in situ* ainda não é uma prática comum no Brasil. Na maioria dos aterros o chorume é descartado nos corpos d'água sem nenhum tipo de tratamento ou canalizado para ser tratado em estações de tratamento de esgoto (ETEs). Mesmo em aterros onde são tratados seus efluentes, através de processos químicos e/ou biológicos, nem sempre se consegue atingir os padrões de lançamento exigidos pela legislação ambiental. Desta forma, faz-se necessário encontrar alternativas viáveis para evitar ou minimizar a poluição dos rios bem como a sobrecarga nas ETEs causadas pelo chorume. Com esta finalidade, foi desenvolvido um sistema de tratamento terciário de baixo custo e fácil operação para auxiliar no tratamento *in situ* de chorume de aterro resíduos sólidos. O presente trabalho relata a concepção desse sistema cuja característica principal é o uso das técnicas de barreira reativa de solo e fitorremediação de forma consorciada. O sistema é parte integrante da estação de tratamento de chorume do Aterro da Muribeca, onde foram construídas duas células nas quais foi colocado um leito de pedra, plantas aquáticas emergentes do tipo *typha domingensis* e uma barreira de solo permeável. Foi avaliada a eficiência do sistema na remoção de poluentes, considerando a as composições de solos usados na barreira.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de chorume, barreira reativa, fitorremediação, wetland artificial, *typha domingensis* (Taboa).

INTRODUÇÃO

A prática de remediação de solos e águas *in situ* pode ser considerada recente em relação a outras áreas mais tradicionais da engenharia, seu desenvolvimento teve início na década de 70. Desde então, tem havido um acelerado crescimento de informações e conhecimentos sobre a eficiência e limitações das diferentes técnicas desenvolvidas.

No Brasil não é comum o tratamento de chorume no próprio aterro, contudo uma moderna concepção de tratamento de efluentes indica técnicas adicionais que visam aprimorar o processo de remoção de contaminantes de líquidos *in situ*. Dentre estas técnicas, duas das mais promissoras são: uso de barreiras reativas; e de fitorremediação através de plantas aquáticas (wetlands construídos), com destaque para *Typha domingensis*, conhecida no Brasil por Taboa.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

O sistema bio-químico (SBQ) é definido como a utilização do conjunto solo/plantas/microrganismos com a finalidade de remover, degradar ou isolar substâncias tóxicas de efluentes, BELTRÃO & JUCÁ (2004). Nesse sistema, o processo de mitigação da contaminação ocorre de formas variadas e concomitantes, partindo dos princípios das técnicas de tratamento de efluentes já consolidadas: barreira reativa e fitorremediação. A primeira representada por uma parede de material reativo que retém poluentes quimicamente e/ou fisicamente e a segunda representada por um charco artificial, Figura 1.

O SBQ pretende ser uma alternativa economicamente viável e de fácil operação. Os principais processos de remoção de poluentes são: 1) contaminantes são degradados por meio da biomassa aderida ao material suporte (biofilme); 2) poluentes são absorvidos pelas raízes ou degradados por bactérias que nelas se alojam, em seguida, os contaminantes são armazenados ou transportados e acumulados nas partes aéreas das plantas; 3) a barreira reativa ao entrar em contato com o efluente reage quimicamente promovendo a retenção de contaminantes, além de servir como uma parede de retenção física. O termo “bio” é uma alusão à contribuição dos organismos vivos que compõem o sistema (biofilme e macrófitas), assim como, o termo “químico” refere-se aos processos de remoção de poluentes através de processos químicos, independentemente dos microrganismos.

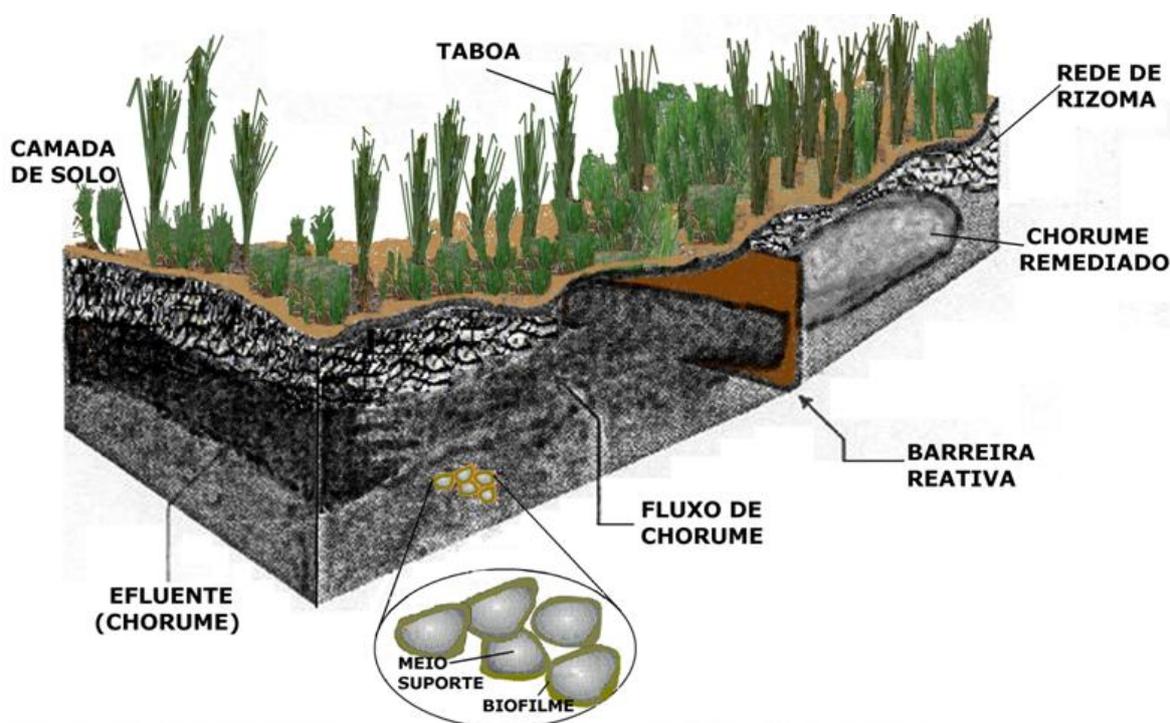


Figura 1. Desenho esquemático do SBQ.

A avaliação do SBQ, de que trata esse trabalho, foi realizada no Aterro da Muribeca, onde foram construídas duas células experimentais. Embora a construção das células I e II tenha sido na mesma época, o enchimento ocorreu em épocas distintas, 2º semestre de 2002 e 2º semestre de 2004 respectivamente. Além disso, foram feitas modificações no layout inicial do sistema. Neste trabalho, serão abordados apenas os resultados obtidos com o monitoramento da célula I.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME (ETC) DO ATERRO DA MURIBECA

A ETC é constituída de 5 lagoas em série: i) lagoa de decantação; ii) lagoa anaeróbia; iii) três lagoas facultativas (Figura 2). A vazão média de chorume usada como parâmetro de projeto foi de 5 l s^{-1} . Porém, uma fração dessa vazão é bombeada para uma lagoa de recirculação construída em umas das células de lixo do aterro e o restante encaminhado para o tratamento nas lagoas anaeróbia e facultativas. No entanto, apenas 10% do que foi tratado nas lagoas é canalizado para o sistema bio-químico, sendo o restante lançado no Rio Jaboatão (rio classe III).

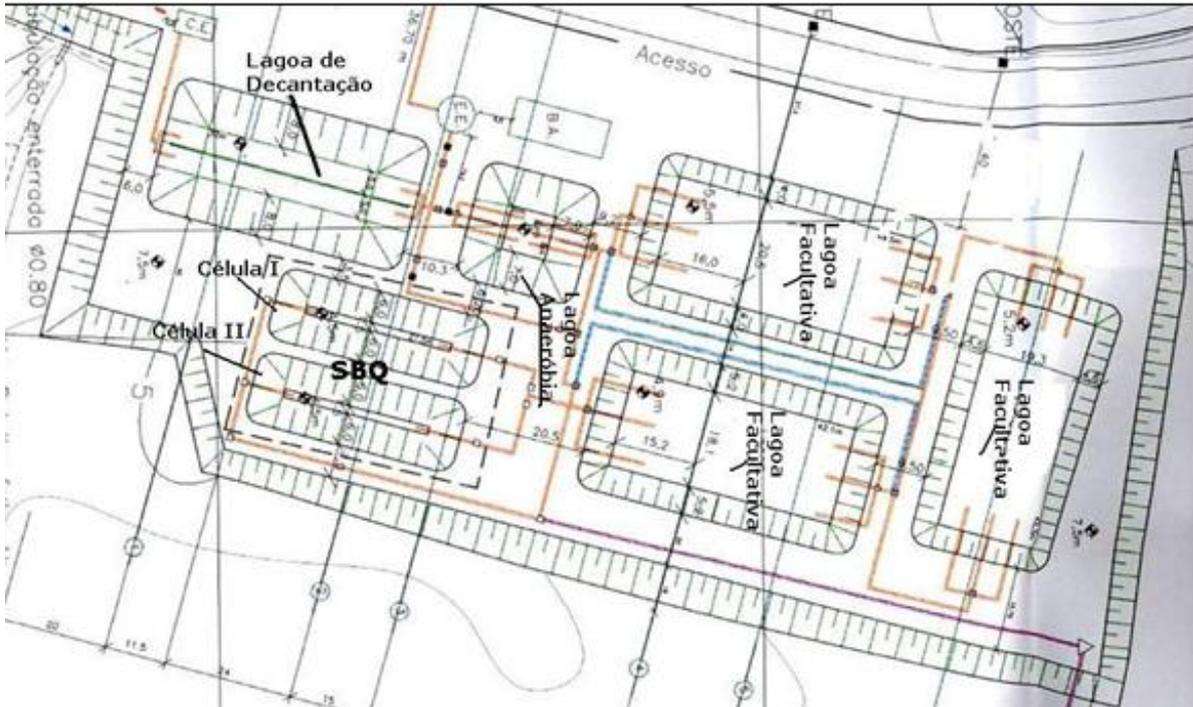


Figura 2. Layout da ETC do Aterro da Muribeca, RMR – PE

MATERIAIS E MÉTODOS

CONSTRUÇÃO DA CÉLULA

Foram construídas duas células trapezoidais (Figura 2), possuindo as seguintes dimensões (em metros): a) comprimento: 27,5 na base e 35,5 no topo; b) largura: 1,5 na base e 9,5 no topo; c) altura: 2,0; d) inclinação: 1%.

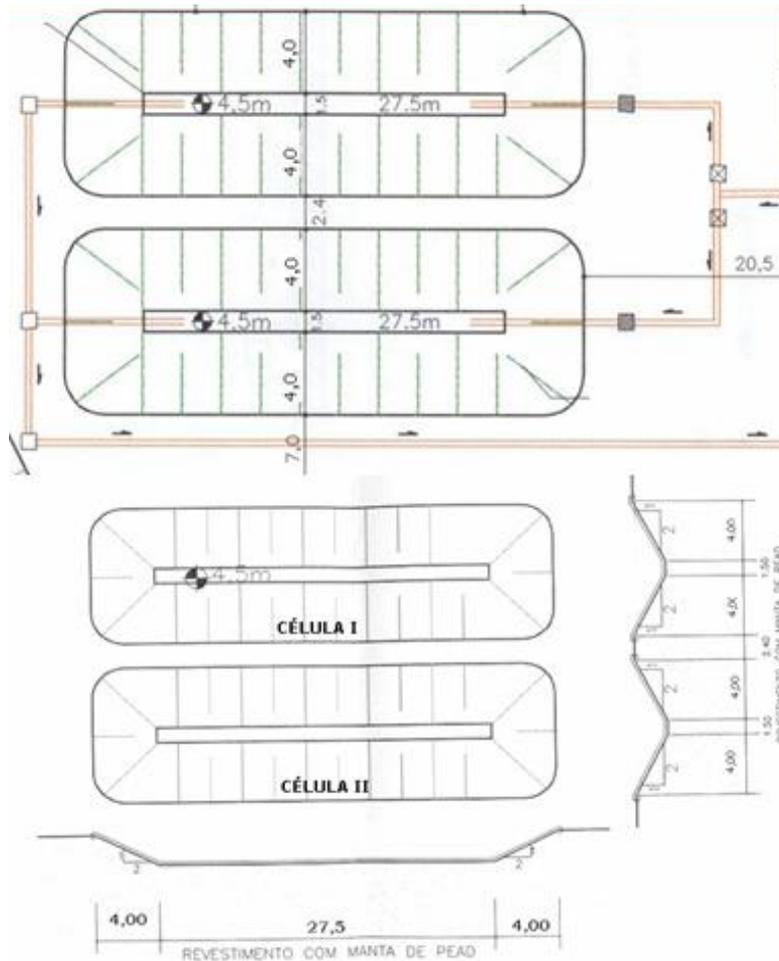


Figura 3. Plantas do SBQ do Aterro da Muribeca

CÉLULA I

Além da manta de PEAD foram colocadas duas camadas de geotêxtil na parte central onde foi construído um leito de brita de granulometria entre 19 e 25 mm no centro e pedras rachinha nas laterais. O reforço com geotêxtil teve como objetivo proteger a manta de eventuais perfurações com partes ponte-agudas dos gabiões usados para confinar as pedras, Figura 4.

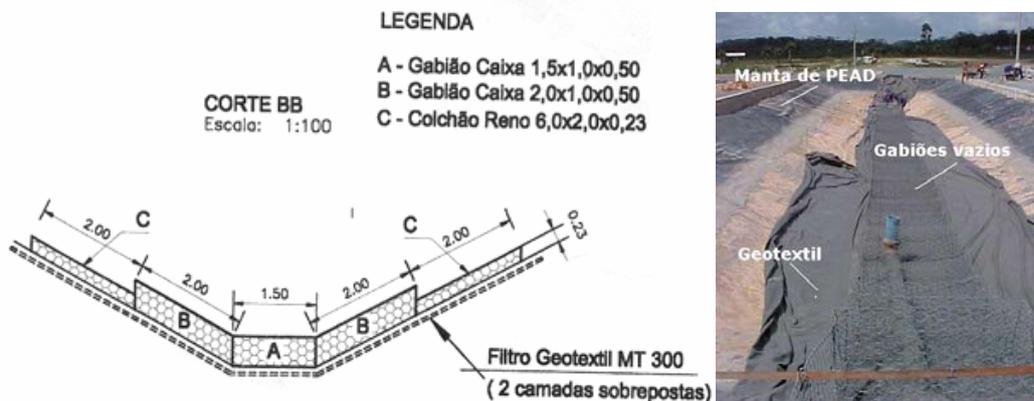


Figura 4. Distribuição dos gabiões na célula I



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

A uma distância de 1m da tubulação de saída do efluente foi colocada uma barreira de solo argiloso com 1m de altura e 0,10 de espessura. A estrutura da barreira era composta de armação de arame e tela de nylon. Os arames que formam a malha dos gabiões e a armação da barreira são revestidos com liga zinco alumínio e recobertos por uma camada contínua de PVC (cloreto de polivinila). Segundo a Industria Maccaferri do Brasil Ltda.- que, gentilmente, nos forneceu o material e a mão-de-obra para instalação dos gabiões - esse tipo de arame tem proteção contra a corrosão o que os torna eficientes para uso em marinas, ambientes poluídos e/ou quimicamente agressivos ao seu revestimento metálico.

Sobre o leito de pedras foi colocada uma camada fina de solo argiloso. Após a preparação do leito foram transplantadas para célula 325 mudas de Taboa. Foram estabelecidos três pontos de coleta de amostras de chorume para o monitoramento: na entrada do SBQ; num piezômetro localizado entre o leito de pedras e a barreira; na saída do sistema.

A altura útil do enchimento é de 0,60m (0,5m dos gabiões e 0,10m da cobertura). As células foram projetadas para operar – preferencialmente - com o fluxo subsuperficial, ou seja, através do meio poroso abaixo da fina camada de solo na qual estão plantadas as mudas de Taboa. Porém, em épocas de vazão elevada como, por exemplo, no inverno a célula I pode operar com um fluxo superficial de até 0,2m de altura, para que este quando somado ao fluxo subsuperficial (com $\approx 0,6m$) a altura máxima não ultrapasse 0,8m. A escolha da profundidade foi feita com base nos diferentes valores propostos na literatura (0,6 a 0,8m por DIAS et al, 2001; 0,8 e 0,9m por BULC et al, 1997).

O tempo de detenção hidráulica (TDH) para wetlands de fluxo subsuperficial varia entre 2 e 7 dias. Tendo em vista, o valor relativamente baixo, da DBO5 efluente, por se tratar de um sistema de tratamento terciário, considerando a capacidade volumétrica da célula e a vazão de entrada, optou-se pelo tempo mínimo.

A célula I operou, seqüencialmente, com quatro barreiras reativas discriminadas como BSP (barreira de solo permeável) seguido do algarismo romano que identifica a seqüência cronológica da sua execução. A diferença entre elas é mostrada na Tabela 1 A permeabilidade e o TDH não sofreram modificações significativas, exceto para BSP II que era de composta de 99% de areia e 1% de carvão de coco.

Tabela 1. Materiais que compuseram as barreiras de solo e os seus respectivos períodos de operação.

	Composição (em peso)	Período
BSP-I	100% solo argiloso	dez/02 a mar/03
BSP-II	99% areia e 1% de carvão de coco*	agos/03 a nov/03
BSP-III	94% solo argiloso e 6% de carvão de coco	nov/03 a abr/04
BSP-IV	90% solo argiloso e 10% de carvão de coco	maio/04 a jan/05

* Análise química do carvão de coco: 74,93% de C, 0,66% de H, 0,48% de N. Os 24% restantes são compostos, principalmente, de silício, ferro e potássio.

No momento da substituição do solo da BSP-I para o solo da BSP-II, após 113 dias em operação, a estrutura de arame e tela de nylon foi danificada, por isso, foi projetada a estrutura de alumínio mostrada na Figura 5. Essa estrutura tem como principais vantagens estabilidade física e a facilidade de esvaziamento para troca de solo. A Figura 6 mostra uma seqüência de imagens com detalhes da célula I no período de novembro de 2002 a janeiro de 2005

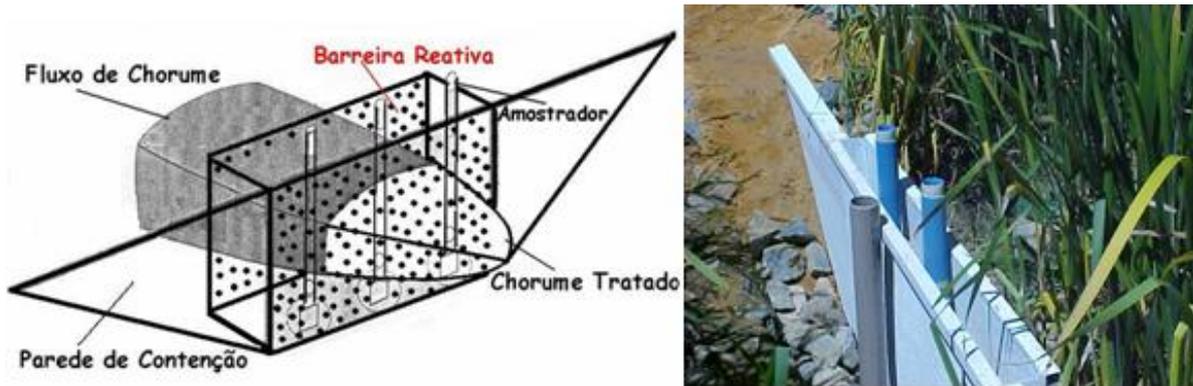


Figura 5. Estrutura de alumínio, piezômetro (tubo marrom) e amostradores de solo.



Figura 6. Seqüência de imagens da célula I: a) e b) enchimento e cobertura do leito de perdas; c) mudas de Taboa transplantadas; d), e), f) e g) crescimento de novas mudas de Taboa após três meses da célula em operação (limpeza e retirada da vegetação "invasora"); h) e i) substituição da armação de arame e nylon pela estrutura de alumínio após um período de 4 meses; j) e k) crescimento máximo atingido pela Taboa (100 dias depois do transplante); l) e m) inflorescência após nove meses do transplante; n), o) e p) mudas atrofiadas que sucederam a primeira geração após o transplante.

MONITORAMENTO DO SISTEMA

O sistema vem sendo monitorado desde dezembro de 2002. Nesse período foram coletadas amostras do chorume nos pontos citados anteriormente. Neste trabalho serão discutidos os parâmetros do chorume listados na Tabela 2.



Tabela 2. Parâmetros analisados no chorume.

Parâmetro Analisado	Referência
DBO (mg/l)	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19º Ed. American Public Health Association. 1995
DQO (mg/l)	
Nitrito (mg/l)	
Nitrato (mg/l)	
Amônia (mg/l)	
Mn (mg/l)	
Cr (mg/l)	
Fe (mg/l)	

Foi avaliada a eficiência da remoção de poluentes das barreiras supracitadas cujo solo argiloso foi coletado em jazidas localizadas na área do aterro. As análises apresentadas na Tabela 3 foram realizadas no solo da barreira em duas situações: virgem e após o contato com o chorume.

Tabela .3. Parâmetros analisados no solo.

Parâmetro Analisado	Referência
Caracterização do solo	NBR – 6467/86: Preparação de amostras
	NBR – 7181/88: Análise granulométrica
	NBR – 6459/84: Limite de Liquidez (LL)
	NBR – 7180/88: Limite de Plasticidade (LP)
íons trocáveis (meq/l)	Método EMBRAPA Solos
pH	

RESULTADOS

DBO e DQO

As análises de DBO na entrada do SBQ, realizadas durante a pesquisa, variaram entre 66 e 2094 mg/l, assim como a DQO variou entre 1931 e 4363 mg/l. Em todas as coletas os valores de DBO e DQO registrados na entrada do SBQ foram sempre superiores aos registrados na saída, Figura 7. A DBO na saída foi, na maioria das vezes, em torno de 40% menor do que na entrada, sendo que a maior diferença foi de 94,6% e a menor de 3,7%. Embora a DQO registrada na saída também apresente valores abaixo dos registrados na entrada, nesse caso, as diferenças foram menores, no máximo 47,8%.

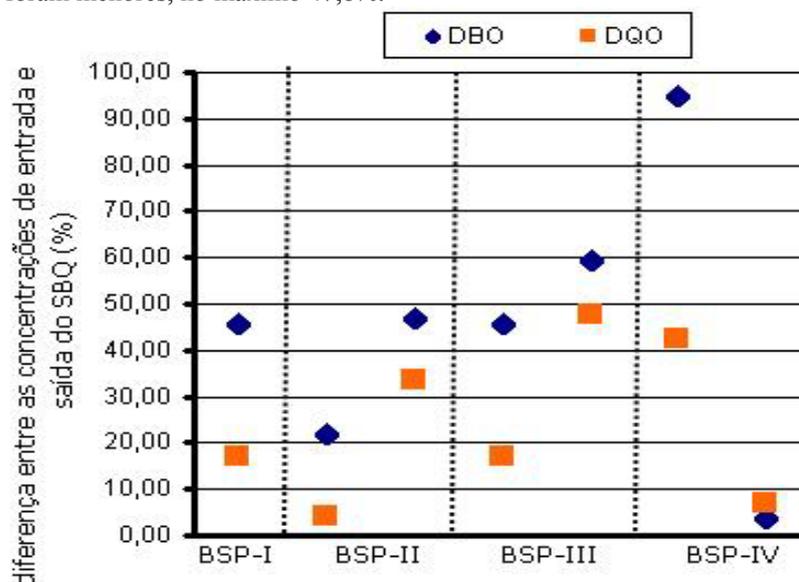
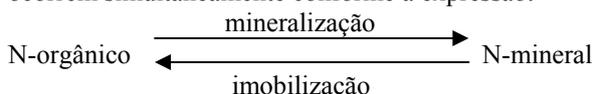


Figura 7. Diferença (em %) da concentração de DBO e DQO na saída em relação a entrada do sistema bio-químico.



Nitrato e Amônia

A faixa de variação do nitrato verificada nas análises do chorume na entrada do SBQ foi de 0,76 a 3,96 mg/l, assim como para amônia foi de 0,2 a 78,0 mg/l. O percentual de redução entre a concentração de nitrato e amônia na saída em relação à entrada é mostrado na Figura 8. Observa-se que a maioria dos percentuais registrados estão entre 5 e 15%. Porém, há registros de concentrações de nitrato e amônia mais elevadas na saída do que na entrada. O nitrogênio apresenta peculiaridades originadas das múltiplas e complexas reações bioquímicas que influenciam a sua dinâmica, disponibilidade e eficiência no aproveitamento pelas Taboas. As plantas absorvem o nitrogênio mineral, principalmente nas formas de nitrato (NO_3^-) e amoniacal (NH_4^+), produtos da mineralização do nitrogênio orgânico. O processo inverso, no qual o N-mineral, oriundo da decomposição da M.O, é transformado em compostos orgânicos participando da composição de plantas ou microorganismos, após a sua incorporação, é denominado de imobilização. Os dois processos descritos ocorrem simultaneamente conforme a expressão:



Sendo essa expressão uma reação de equilíbrio, conclui-se que as características do meio, assim com alterações dessas características deslocam o equilíbrio para uma das direções. Ou seja, sempre haverá situações em que a mineralização pode ser maior, menor ou igual a imobilização e vice-versa.

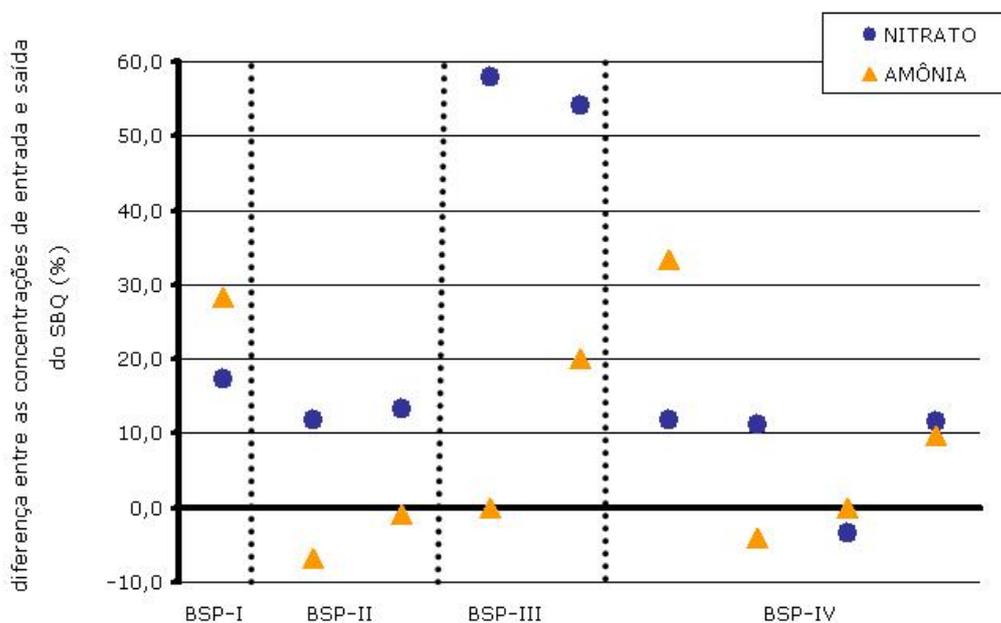


Figura 8. Diferença (em %) da concentração de nitrato e amônia na saída em relação a entrada do sistema bio-químico.

Metais

A contaminação do solo por metais está ligada a processos de acúmulo e transporte dessas espécies que dependem, em grande parte, das suas interações com a fase sólida do sistema. Esta interação é bastante complexa, envolvendo reações de sorção e desorção, precipitação e dissolução e complexação e oxirredução, tanto com a fase inorgânica quanto com a orgânica dos mesmos. Atributos do solo, tais como pH, teor de matéria orgânica, presença de óxidos, conteúdo da argila, potencial redox são responsáveis pelo comportamento e disponibilidade de metais no solo. O pH e o potencial redox são os mais relevantes, pois além de afetarem diretamente as reações supracitadas, são também os principais fatores que controlam a especiação dos metais na solução.

No SBQ, o comportamento dos metais variou dependendo da BSP em operação. Análises das amostras de chorume antes e depois da barreira mostram um processo dinâmico de sorção e desorção. Observa-se na Figura 9 que, em geral, a adição de carvão ao solo aumentou sorção de Fe e Cr, ao contrário do que ocorreu com Mn. Isso pode estar relacionado a tendências de oxidação (E°) para estes metais, segundo a reação:



O E° para a reação $Mn(s) + 2H^{+}(aq) \rightleftharpoons Mn^{+2}(aq) + H_2(g)$ é +1,18 volts, de modo que a reação deve caminhar espontaneamente para a direita. Para o Cr e o Fe temos as seguintes reações:

$Cr(s) + 2H^{+}(aq) \rightleftharpoons Cr^{+2}(aq) + H_2(g)$ e $Fe(s) + 2H^{+}(aq) \rightleftharpoons Fe^{+2}(aq) + H_2(g)$, com E° igual a +0,9 e +0,44 volts respectivamente, COTTON & LYNCH (1968). Assim sendo as reduções de Cr e Fe são menos prováveis de ocorrer.

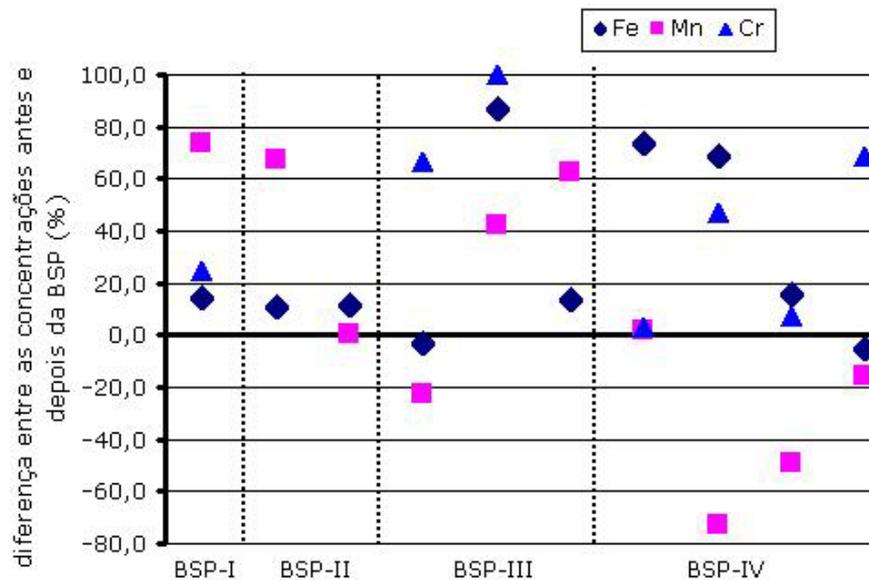


Figura 9. Diferença (em %) da concentração de Fe, Mn e Cr depois da barreira permeável de solo em relação à entrada concentração antes da barreira.

Mudanças nas características do solo

Os materiais usados nas barreiras sofreram mudanças físicas e químicas após o contato com chorume, tanto no material com carvão quanto no solo 100% argiloso. A principal alteração nas características dos solos usados foi em relação à percentagem de argila (Figuras de 10 e 11) e, conseqüentemente, com a atividade do solo, Tabela 4.

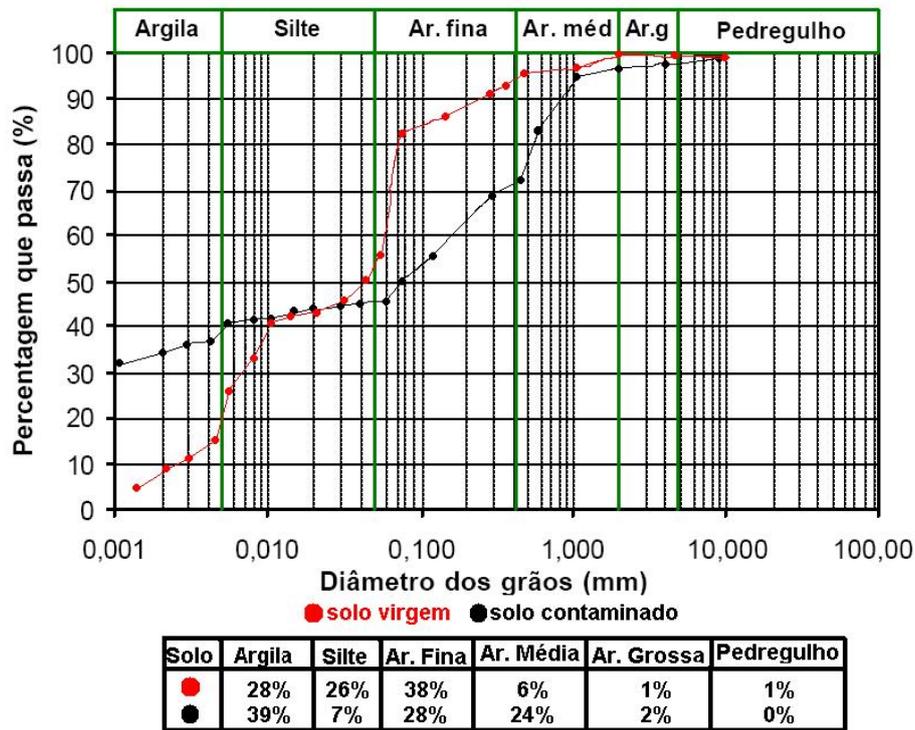


Figura 10. Curvas granulométricas da BSP-I (100% solo argiloso): virgem e contaminado.

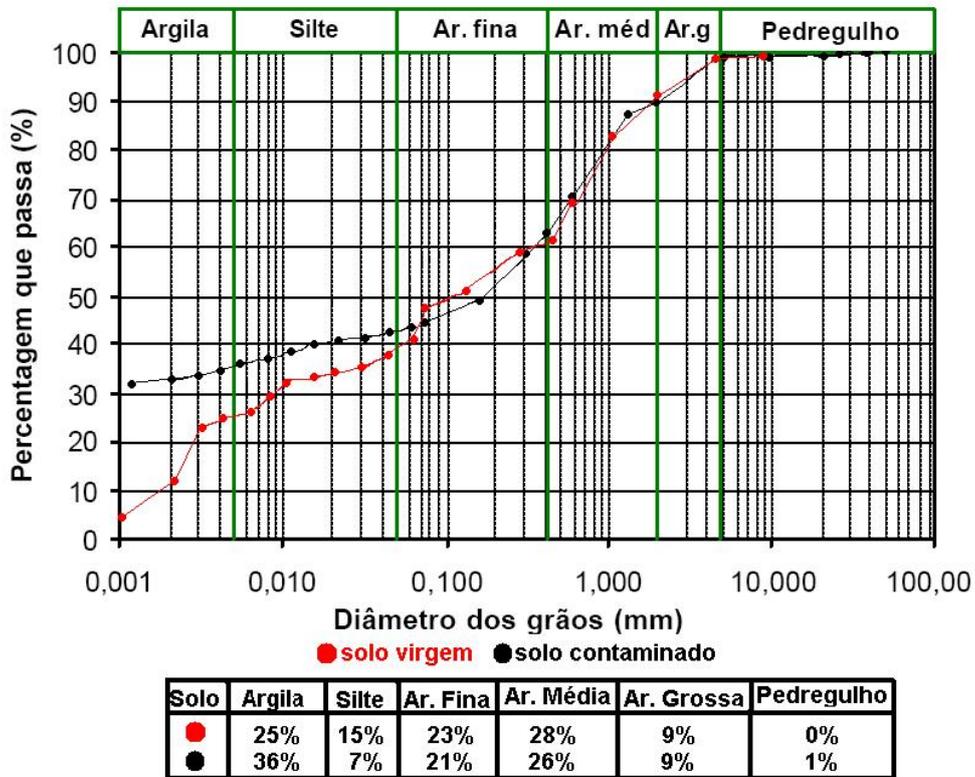


Figura 11. Curvas granulométricas da BSP-IV (90% solo argiloso + 10% carvão): virgem e contaminado.



Tabela 4. Limites de plasticidade do solo virgem e após ter sido contaminado

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	(%) inf. a 2 μ	AC	$\gamma_{S_{max}}$ (g/cm ³)	h _{ot} (%)
BPS-I (virgem)	53	29	24	10	2,4	1,700	18,00
BPS-I (cont.)	43	25	18	36	0,5	1,685	18,6
BPS-IV (virgem)	62	29	33	12	2,8	1,51	23
BPS-IV (cont.)	51	28	23	34	0,7	1,55	20

LL (%) = limite de liquidez; LP = limite de plasticidade; IP (%) = índice de plasticidade; (%) inf. a 2 μ = % com diâmetro inferior a 2 μ ; $\gamma_{S_{max}}$ (g/cm³) Massa específica aparente seca máxima; h_{ot} (%) Umidade ótima, AC: atividade da superfície dos solos finos. .

Este comportamento pode ser atribuído à alcalinização do solo. O pH médio do chorume é ± 8 (alcalino), enquanto que o valor do pH inicial dos solos virgens foi em torno de 5,0 (ácido). Após a contaminação o pH dos solos tornou-se praticamente neutro. Com o aumento do pH do solo, devido ao fenômeno de troca de base, na presença de altas concentrações de sódio, ocorreu a dispersão do solo através do aumento do raio de hidratação das partículas após a adsorção do Na⁺ presente no chorume. Conseqüentemente, ocorre a diminuição das forças atrativas (Van der Waals, ligações hidrogênio, outras forças eletrostáticas a tensão superficial) devido a maior distância entre as partículas, contribuindo para não formação de aglomerados. Além disso, o Na⁺ é fortemente eletropositivo e quanto mais forte for a ionização da argila, maior será a carga negativa das suas partículas em suspensão, pelo que mais forte será a repulsão entre elas.

CONCLUSÕES

SO sistema bio-químico é uma alternativa viável para o tratamento terciário do chorume, é flexível e pode ser ajustado caso a caso de acordo com as características do chorume. Além disso, o sistema tem a vantagem de não requerer mão-de-obra especializada, ser de baixo custo e fácil operação, podendo ser usado como tratamento primário ou secundário em aterros manuais, a depender das características do chorume.

A principal contribuição do sistema diz respeito à remoção de DBO e DQO.

A baixa eficiência na remoção de metais se deve, principalmente, a baixa reatividade dos solos caulínicos usados no enchimento da barreira. Além disso, os metais não são naturalmente degradados, nem mesmo permanentemente fixados pelos solos, podendo assim retornar ao chorume através de alterações do meio.

Estudos mais aprofundados com relação à composição ideal do leito e do material de enchimento da barreira servirão para melhorar a eficiência do tratamento que se apresenta como promissor. O uso de composições de solo caulínico e carvão ativo revelaram uma eficiência de remoção de metais superior aquela obtida com solo puro.

Reações reversíveis como precipitação e sorção podem, em primeira instância, contribuir para retardar o avanço ou diminuir a contaminação a jusante da barreira. Entretanto, o material precipitado ou adsorvido pode ser liberado se houver modificação da condição do meio. Assim sendo, é necessário que haja o monitoramento constante do efluente e, quando necessário, substituição do material da barreira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BELTRÃO, K. G. B.; JUCÁ, J. T. XI SILUBESA - Alternativa para tratamento de chorume em aterros sanitários - sistema de barreira bio-química. Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, a abril de 2004, Natal – RN



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

2. Bulc, T.; VRHOVŠEK, D.; KUKANJA, V. The use of constructed wetland for landfill leachete treatment. *Water Science technology*, vol. 35, n.5, p. 301-306: Elsevier Science Ltda, Grã Bretanha, 1997.
3. COTTON, F. A.; LYNCH, L. D. **Chemistry, an investigative approach**, Houghton Mifflin Comp., Boston, EUA, 1968.
4. DIAS, V. N. et al. Fito-etars: pressuposto teórico de funcionamento e tipos. **Água e Resíduos**, Lisboa, n. 12, junho 1999.