

## III-123 - OSMOSE INVERSA E REINJEÇÃO DE CONCENTRADO NA MASSA DE RESÍDUOS – SISTEMA DE TRATAMENTO DE PERCOLADO EM ATERRO SANITÁRIO

**Rosa Novais<sup>(1)</sup>**

Engenheira do Ambiente (UAlg), Pós Graduada em Gestão para Executivos (UA), Mestre em Engenharia Sanitária (FCT-UNL), Diretora (Direção Técnica) - Resinorte, S.A. – Lamego, Portugal.

**Artur João Cabeças<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil (IST), Pós Graduado em Mecânica de Solos e Geotecnia, Professor Auxiliar Convidado da FCT-UNL, Diretor (Engenharia) da Empresa Geral do Fomento, S.A. – Lisboa, Portugal, Vogal do Conselho de Administração da Resinorte, S.A. e da Algar S.A..

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Urbanização Quinta S. João, Lt1, BlocoA R/C Esq. FRT – 5100 Lamego – Portugal - Tel: +351 254680000 - Fax: +351 254 689812 - e-mail: [rnovais@resinorte.pt](mailto:rnovais@resinorte.pt)

### RESUMO

Um dos grandes desafios na gestão e exploração de um aterro sanitário é o tratamento das águas lixivantes, águas residuais que resultam da degradação dos resíduos confinados no aterro e da própria água pluvial que precipita dentro do mesmo.

O tratamento das águas lixivantes por Osmose Inversa (OI), sendo um dos mais eficazes em termos da capacidade de obtenção de um efluente tratado com as características necessárias à sua descarga no meio ambiente, gera dois tipos de efluentes finais: o permeado e o concentrado. O permeado corresponde ao produto final, preparado para ser descarregado na linha de água e o concentrado (que resulta da separação no sistema de osmose inversa das componentes existentes no lixiviado que, por sua vez, resultam de uma segregação, por percolação, de componentes existentes nos resíduos urbanos) é devolvido à massa dos resíduos do aterro, donde saiu por segregação, por reinjeção/recirculação, sem que seja retirado do aterro.

Em consequência, a produção de biogás é intensificada e o teor em matéria orgânica biodegradável reduz-se mais rapidamente, encurtando-se assim o período de estabilização pós-encerramento do próprio aterro. Assim a reinjeção/recirculação do concentrado, dentro de um equilíbrio a manter em termos da estabilidade da massa de resíduos confinados, é uma prática tecnicamente correta com evidentes vantagens em termos da exploração do aterro sanitário e otimização por redução do período de estabilização/inertização dos resíduos pós-encerramento, abandonando-se o conceito da “mumificação” do aterro.

Nesta comunicação apresentam-se as vantagens e desvantagens do sistema de osmose inversa como solução de tratamento do percolado e dos métodos de reinjeção do concentrado na massa de resíduos do aterro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reinjeção, águas lixivantes, osmose inversa, concentrado, resíduos urbanos.

### INTRODUÇÃO

Actualmente, e em resultado da evolução do conhecimento científico, tem vindo a transformar-se a filosofia de operação de instalações de deposição de resíduos sólidos, dando lugar a novas práticas de gestão, outrora consideradas prejudiciais às estruturas do aterro e ao ambiente natural envolvente.

Tradicionalmente, os aterros eram considerados depósitos de resíduos, cujo confinamento e isolamento eram salvaguardados tanto quanto possível por forma a evitar impactos sobre os solos adjacentes e as águas subterrâneas, visando-se por essa razão minimizar a entrada de água no aterro.

Desta forma, a produção de lixiviados e de biogás era reduzida a um valor mínimo, prolongando-se contudo por várias décadas, provavelmente para além dos 30 anos de período de manutenção pós-encerramento. Numa fase tão avançada da vida de um aterro, as garantias relativas à integridade das estruturas de protecção ambiental destas instalações serão já bastante reduzidas, sendo os potenciais Impactes daí resultantes tanto maiores quanto maior a quantidade de matéria orgânica da massa de resíduos ainda por decompor.

Assim, o aterro operado por forma a aumentar o teor de humidade da sua massa de resíduos, assume-se progressivamente como uma prática sustentável na gestão de aterros sanitários, por reduzir as ameaças de longo prazo associadas aos aterros convencionais. A ideia subjacente aos bioreactores é fomentar o processo de biodegradação da massa de resíduos e antecipar a sua estabilização, já que, de entre os factores ambientais que mais condicionam este processo (pH, temperatura, nutrientes, toxicidade, dimensões das partículas, potencial redox), o teor de humidade é potencialmente o mais crítico.

Contudo, e apesar de em sete aterros sanitários da EGF da região Centro e Sul de Portugal ter sido usada esta técnica desde o início da entrada em funcionamento dos aterros sanitários e consequentemente das Estações de Tratamento de Águas Lixiviantes (ETAL) dos mesmos, durante anos o concentrado foi objeto de controvérsia junto de entidades oficiais, nomeadamente a Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território (IGAOT) pois entendiam que devido à integração final do concentrado no aterro por meio de um sistema de reinjeção/recirculação se traduzia na injeção de resíduo líquido e perigoso em aterro.

Assim, a gestão do concentrado numa operação interna do aterro foi sendo objeto de vários estudos e pareceres técnicos discutindo-se em sucessivos tribunais nacionais a legalidade da sua reinjeção/recirculação.

Com efeito, entre 2001 e 2008 a IGAOT veio a aplicar sucessivas contra ordenações (12 na totalidade) aos aterros sanitários que dispunham de OI, argumentando que o concentrado seria resíduo perigoso e/ou resíduo líquido pelo que não poderia retornar ao aterro.

Os sistemas de gestão de resíduos foram recorrendo em tribunal daquelas contra ordenações, tendo a decisão dos diferentes tribunais sido favorável à não aplicação de coimas aos sistemas. Com base nestas decisões o quadro legal nacional actualmente em vigor veio a permitir a prática de recirculação encontrando-se contudo prevista e autorizada apenas em determinadas condições, a saber;

"Em aterros para resíduos não perigosos e exclusivamente com o intuito de promover o processo de degradação biológica dos resíduos, é permitida a humedificação dos mesmos, através da reinjecção de concentrado da unidade de tratamento avançado por membranas, de afluente e de lamas da unidade de tratamento dos lixiviados, desde que os potenciais impactes adversos sobre o ambiente sejam minimizados."

Clarificou-se assim a situação da reinjeção/recirculação do concentrado em aterro validando a prática já utilizada durante anos nos vários sistemas de gestão de resíduos que utilizam o método de tratamento das águas lixiviantes por OI.

## **METODOLOGIA. ASPECTOS OPERACIONAIS**

Como a técnica de reinjeção/recirculação corresponde à adaptação do aterro ao conceito de reator biológico, ou Bioreactor por oposição ao ponto de vista do aterro do "túmulo" ou da "mumificação", um aterro operado de forma a aumentar o teor de humidade da massa de resíduos veio fomentar a degradação e estabilização da matéria depositada e contribuir para o incremento da decomposição dos resíduos, conduzindo esta prática a um aumento das taxas de produção de biogás e a um acréscimo dos assentamentos.

Nesta perspetiva do aterro funcionar como um reator biológico, a percolação de água, água lixivante ou concentrado de osmose inversa na massa de resíduos do aterro contribui para a aceleração dos processos de degradação biológica e a sua respetiva inertização. Assim no processo de conceção e operação de um bioreactor, deve-se procurar tecnicamente a mitigação dos potenciais Impactes negativos para o ambiente e para a saúde humana e maximizar os benefícios resultantes da recirculação para o aterro de concentrado de unidades de osmose Inversa e de afluente e lamas das Estações de Tratamento de Águas Lixiviantes (ETAL).

Desde a fase de concepção e projecto de execução de um aterro que, para se alcançarem posteriormente as melhores condições de exploração em aterro, deve-se planear e estudar atempadamente toda a configuração e desenvolvimento das soluções e métodos de reinjecção do concentrado no âmbito do crescimento da massa de resíduos a depositar e respectivas frentes de trabalho, para que a estabilidade da massa de resíduos e respectivos taludes seja garantida geológica e geotecnicamente.

O sistema de reinjeção/recirculação de concentrado tem de ser capaz de manter a massa de resíduos próximos das condições de saturação com uma distribuição interna da humidade o mais uniforme possível.

Para as várias técnicas de recirculação disponíveis (superficiais, subsuperficiais ou em profundidade; verticais ou horizontais; pontuais, lineares ou por superfície) as respectivas exigências operativas têm de ser consubstanciadas por um conjunto de recomendações operacionais consideradas capazes de minimizar os potenciais problemas associados à operação de aterros como bioreactor.

Os principais problemas, a conhecer “à priori” pelos responsáveis neste processo, são os seguintes:

- Ocorrência de efeito atalho;
- Colmatção do sistema de injeção e do sistema de drenagem de Lixiviados;
- Interação líquido-gás;
- Ocorrência de assentamentos diferenciais;
- Instabilidade das estruturas do aterro;
- Formação de odores e libertação de gases;
- Agravamento da qualidade do lixiviado;
- Subida do nível de lixiviados na base do aterro;
- Afloramentos de líquidos e formação de escorrências.

Assim, a viabilidade operacional e ambiental da prática de recirculação para o aterro de concentrado/afluente dependerá do cumprimento das várias recomendações técnicas, sendo as principais as seguintes;

- i. O sistema de recirculação instalado deve adotar espaçamentos entre componentes adjacentes que minimizem a persistência de zonas secas na massa de resíduos, sem contudo comprometer a estabilidade das estruturas do aterro por sobressaturação e originar problemas de afloramentos de líquidos ou escorrências laterais;
- ii. No espaçamento horizontal entre valas, recomendam-se distâncias de 10 e 20 metros, respetivamente, para uma camada única de valas ou um sistema de múltiplas camadas;
- iii. A instalação de poços verticais de injeção deve garantir uma distância mínima de 10 a 15 metros entre estas infraestruturas e a tela de fundo do aterro, de forma a evitar a danificação do sistema de proteção e de drenagem dos lixiviados;
- iv. Valores entre 5 e 10 metros podem ser considerados como referência para o ralo de Influência de poços verticais de injeção.
- v. A camada drenante do sistema de drenagem de lixiviados deve apresentar valores de permeabilidade hidráulica superiores a  $10^{-2}$  m/s e uma altura adequada, de forma a minimizar a altura de lixiviados acumulados na base do aterro.
- vi. O valor médio da permeabilidade hidráulica da massa de resíduos igual a  $3 \times 10^{-6}$  m/s é indicado como referência para determinações na fase de conceção do bioreactor (taxas de escoamento, frequência de dosagens, espaçamentos entre componentes, etc).

No que se refere aos volumes de concentrado/afluente e lamas de ETAL a recircular, apesar de a bibliografia revelar a existência de uma vasta gama de valores, volumes de injeção entre 5 e 3000 L/ton podem ser tidos como referência, consoante os objetivos da prática de recirculação, por exemplo:

- 5 a 20 L/ton de resíduos, para a gestão sazonal do caudal de lixiviados;
- 100 a 200 L/ton de resíduos, para estimular a produção de biogás;
- De 200 a 3000 L/ton de resíduos, para a lavagem da contaminação inorgânica da massa de resíduos.

No sentido de não comprometer a estabilidade das estruturas do aterro, mas mantendo como objectivo a estabilização antecipada da massa de resíduos, o teor de humidade no interior do bioreactor não deverá ser superior a 40% (p/p).

Os principais benefícios potencialmente resultantes da correta operação de um bioreactor são os seguidamente apresentados:

- Antecipação da estabilização da massa de resíduos através da degradação da sua componente orgânica e da remoção/lavagem dos contaminantes Inorgânicos (flushing);
- Aumento do potencial de aproveitamento energético do biogás produzido;
- Otimização da capacidade de deposição do aterro;
- Redução de ameaças latentes a longo-prazo (contaminação do solo envolvente, atmosfera, águas subterrâneas e superficiais);
- Redução dos custos e responsabilidades associadas à manutenção pós-encerramento.

Como aspectos técnicos a considerar, nomeadamente na prevenção da potencial formação de percursos de escoamento preferencial (efeito atalho), há que ter em atenção que;

- As alturas da camada de resíduos e do aterro para onde se recircula assumem-se como um factor de elevada importância já que reduzidas dimensões podem rapidamente conduzir a que o concentrado/afluente e lamas de ETAL se introduza no sistema de drenagem de lixiviados, inviabilizando uma uniforme distribuição da humidade pela massa de resíduos;
- A aplicação de elevadas/excessivas taxas de injeção podem conduzir à abertura de caminhos de escoamento preferencial, os quais poderão permanecer após a adoção de regimes de recirculação menos agressivos;
- É conveniente alterar regularmente o local de injeção, de forma a evitar a ocorrência deste fenómeno.
- Relativamente aos fenómenos de colmatção do sistema de injeção de concentrado/ afluente e do sistema de drenagem de lixiviados, há a referir que a injeção de concentrado/afluente quando o bioreactor se encontra na fase acetogénica de degradação da massa de resíduos é a mais crítica (líquidos com uma maior carga poluente, em particular, com um teor de sólidos superior);
- Também os materiais das camadas de cobertura devem apresentar uma elevada permeabilidade, de forma a facilitar a migração vertical da humidade na massa de resíduos e consequentemente promover um humedecimento uniforme dos resíduos depositados. Nesse sentido poderá ser vantajoso o uso de materiais alternativos.

Paralelamente são de evitar práticas de deposição que conduzam a elevadas densidades de compactação da massa de resíduos (ex.: compactação por fardos), já que estas podem dificultar a dispersão uniforme de concentrado no bioreactor. O pré-processamento dos resíduos por trituração pode trazer significativos benefícios na perspectiva do maior humedecimento da massa de resíduos.

Relativamente á integridade estrutural do aterro (aspectos geotécnicos) e em particular a estabilidade dos taludes, há que ter presente os seguintes procedimentos operacionais:

- Evitar a aplicação de práticas de injeção agressivas (taxas e pressões elevadas). Teores de humidade da massa de resíduos inferiores a 40% (p/p) são aconselháveis na manutenção da estabilidade dos taludes;
- Manter uma distância de segurança entre o perímetro do aterro e os locais de Injeção de concentrado/afluente e lamas de ETAL, recomendando-se para o efeito o valor de 20 m.
- A adição de consideráveis volumes de líquidos aos resíduos, além de conduzir ao aumento do peso total desta massa, aumenta ainda a sua densidade em resultado dos acrescidos assentamentos associados ao acelerado processo de decomposição. Desta forma, a afectação das características estruturais da massa de resíduos pode introduzir instabilidade ao corpo do aterro, sendo a potencial destabilização das superfícies inclinadas o ponto que deve merecer maior atenção.

Com o intuito de minimizar a formação de odores, a injeção de concentrado/afluente e lamas de ETAL deverá ser realizada na massa de resíduos, de forma a evitar o contato direto com a atmosfera e a exposição dos trabalhadores a odores e gases emitidos. Todas as técnicas de recirculação superficial são por isso desaconselhadas.

No que se refere à qualidade do lixiviado gerado após a recirculação de concentrado e de lamas, este pode traduzir um risco de agravamento da sua qualidade, dada a maior carga poluente associada a estes líquidos.

Dado o expectável acréscimo nas taxas de produção de biogás associadas à operação do bioreactor, é fundamental que o sistema de captação e tratamento do biogás esteja operacional, sendo particularmente recomendável o aproveitamento energético para a produção de energia.

Quanto aos procedimentos operacionais para contribuir para a minimização da ocorrência de afloramentos e escorrências laterais de líquidos, os cuidados a tomar passam por:

- Evitar a prática de recirculação para a frente de trabalho ou para zonas perto da superfície dos resíduos;
- Evitar a aplicação de taxas/pressões de injeção excessivamente elevadas;
- Manter uma zona de exclusão de pelo menos 20 metros entre os locais de injeção e os limites do aterro.

Existem numerosas e legítimas razões para levar a cabo a recirculação de concentrado/afluente e lamas de ETAL para aterro. Desde que bem operada, esta prática proporcionará uma gestão mais sustentável do aterro através da minimização dos impactes a ele associados. Na base da desejada optimização futura e continuada do desempenho de bioreactores deverá estar toda a informação recolhida durante a operação destas instalações.

## VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MÉTODOS DE REINJEÇÃO DE CONCENTRADO

Sendo uma técnica que pode ser aplicada antes e após o encerramento da célula de resíduos, com os princípios técnicos aqui expostos, a recirculação de concentrado/ afluente e lamas de ETAL em aterros permitirá que a massa de resíduos (com uma acentuada componente orgânica) venha a beneficiar de uma maior aceleração da sua biodegradabilidade.

Existem vários sistemas que poderão ser utilizados para a a recirculação de concentrado/ afluente e lamas de ETAL em aterros, nomeadamente;

- Irrigação superficial
- Valas e Tubagens Horizontais de Distribuição,
- Tapetes de Material Drenante,
- Bandas Drenantes ,
- Poços Verticais de Injecção.

Com efeito o método de irrigação superficial permite a distribuição superficial de diferentes caudais de concentrado e a recirculação pode ser feita com recurso a diferentes sistemas de pulverização. O sistema mais comum de pulverização é através de aspersores mas também se utiliza o recurso a cisternas e tubagens perfuradas com orifícios de dimensão reduzida permitindo a aspersão. Este método tem como vantagens a redução imediata do volume de concentrado devido à evaporação do mesmo aquando da aspersão que em condições climáticas favoráveis pode ser de uma redução de 30% do volume. A utilização deste método tem custos de investimento reduzidos e pode ser utilizado sobre superfícies de grande dimensão. Tem como desvantagens o fato de só ser funcional no período de verão e ao mesmo tempo ser necessário uma grande área do aterro que não pode estar impermeabilizada com telas de cobertura temporária ou definitiva. Também apresenta como desvantagens a formação de odores e as exigências operativas em termos do controlo e acompanhamento do processo.

O método por valas horizontais de distribuição superficial (colocadas Imediatamente abaixo da cobertura, com ou sem tubagens perfuradas) e outras valas ou tubagens fixas a uma maior profundidade é um método com uma eficácia elevada, que permite uma distribuição superficial do concentrado uniforme e tem também vantagem em termos do controlo de odores, é funcional durante todo o ano e pode funcionar nas áreas do aterro já encerradas e com impermeabilização de topo desde que a infraestrutura para recirculação seja previamente instalada. Por outro lado este método implica maiores custos de investimento e por outro lado quando existem fenómenos de obstrução das tubagens em termos operacionais torna-se complicado a desobstrução pricipalmente quando as valas se encontram em zonas do aterro sanitário já seladas.





O método por Tapetes de Material Drenante se baseado em camadas de área reduzida (1m x 1m) apresentam fracos desempenhos, enquanto que áreas maiores (10m x 10m, por exemplo) se revelaram mais eficazes.

Os métodos por Bandas Drenantes Poços Verticais de Injecção, apesar de serem técnicas de injeção bastante utilizadas, existem poucos dados disponíveis relativamente ao seu desempenho.

## **NORMAS E REGRAS**

Em 2009 a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) publica um manual de boas práticas “Recirculação para Aterro do Concentrado de Unidades de Osmose Inversa e de Afluente e Lamas de ETAL”.

Este manual assume as vantagens de reinjeção/recirculação do concentrado de OI para aterro, alerta para os principais problemas de uma reinjeção menos correta, definindo os métodos/sistemas de recirculação e aspetos operacionais a considerar. A reinjeção/recirculação do concentrado, dentro de um equilíbrio a manter em termos da estabilidade da massa de resíduos confinados, passa a ser uma prática tecnicamente correta com evidentes vantagens em termos da exploração do aterro sanitário e otimização por redução do período de estabilização/inertização dos resíduos pós-encerramento, abandonando-se o conceito da “mumificação” do aterro.

## **CONCLUSÃO**

Pode-se inferir assim, que a engenharia se apresentou como uma valência muito importante, porque a legislação veio a validar o que a engenharia já tinha provado com a prática e as soluções utilizadas, demonstrando-se que o concentrado de OI não é mais do que a própria água lixiviante que sai do aterro (com maior concentração) resultante da segregação (das componentes constituintes da água lixiviante que, por sua vez, resultam por percolação, das componentes associadas à degradação e decomposição dos Resíduos Urbanos) efetuada no sistema de osmose inversa.

Assim importa divulgar e esclarecer com esta apresentação as vantagens e as desvantagens dos métodos de reinjeção do concentrado de OI, seja por irrigação superficial de baixa pressão e valas horizontais de distribuição superficial, tapetes de material drenante, poços e agulhas verticais de injeção e/ou bandas drenantes, procurando assim alertar as entidades, técnicos, empresários e instituições para a utilização correcta de cada um destes métodos e avaliar o respectivo desempenho operacional, identificando-se as práticas que melhor comportamento demonstraram de acordo com a experiência adquirida ao longo destes últimos dez anos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Recirculação para aterro do concentrado de unidades de Osmose Inversa e de Afluente e de lamas de ETAL – Manual de boas práticas. Agência Portuguesa do Ambiente, Portugal, (2009)
2. Concentrado gerado no tratamento de lixiviados por osmose inversa. Portugal, Empresa Geral do Fomento, (2003)
3. Leachate recirculation using horizontal trenches in bioreactor landfills. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering. Vol.131,No7:837-847. HAYDAR,M.M e KHIRE,M.V. (2005)