



SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS INTELIGENTES

Águas • Efluentes • Biogás

## INFORME TÉCNICO

### Estações Tratamento Lixiviados

## Sistemas Tratamento Físico-Químicos Avançados (STFQA)

REMOÇÃO E TRANSFORMAÇÃO SUBSTÂNCIAS  
RECALCITRANTES

2.025

**EFICAZ TRATAMENTO LIXIVIADOS ATERROS SANITÁRIOS**  
**Remoção e Transformação de Substâncias Recalcitrantes**

**LIXIVIADOS ATERROS SANITÁRIOS**  
**PROCESSOS BIOLÓGICOS COMBINADOS**  
**ELEVADAS EFICIÊNCIAS REMOÇÃO**

## **SISTEMA DE TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO AVANÇADO (STFQA) PARA REMOÇÃO DE SUBSTÂNCIAS RECALCITRANTES DE LIXIVIADOS DE ATERRO SANITÁRIO**

*Elaborado por: Salerno, A. G. Eng<sup>o</sup>  
BIOTECS – Soluções Tecnológica Inteligentes  
Diretor Técnico*

### **Aterros Sanitários e Lixiviados**

Os aterros sanitários podem ser entendidos como verdadeiros reatores biológicos heterogêneos, tendo como principais componentes de entrada e alimentação os resíduos sólidos e a água, e como principais elementos de saída o lixiviado e o biogás (Marques, 2001).

Lixiviado de aterro sanitário é o termo considerado mais adequado para denominar o líquido resultante da solubilização de compostos sólidos dentro de um aterro sanitário (Souto, 2009).

Os lixiviados podem ser caracterizados como uma solução aquosa com quatro grupos de poluentes: material orgânico dissolvido (DQO, DBO<sub>5</sub>, COT, AGV e compostos orgânicos mais refratários como ácidos húmicos e fúlvicos), macro componentes inorgânicos (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), metais pesados (Cd<sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) e compostos orgânicos xenobióticos (COX) originários de resíduos domésticos e químicos presentes em baixas concentrações (hidrocarbonetos aromáticos, fenóis, compostos alifáticos clorados, B<sup>2+</sup>, As<sup>3/5+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Se<sup>2-</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Co<sup>2/3+</sup>, pesticidas, etc.) (CHRISTENSEN et al., 1994 apud KJELDSEN et al., 2002).

Os lixiviados de aterro sanitário são constituídos basicamente de uma mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas, compostos em solução e em estado coloidal e diversas espécies de microrganismos (ANDRADE, 2002). A composição química e microbiológica do lixiviado é bastante complexa e variável, uma vez que, além de depender das características dos resíduos depositados, é influenciada pelas condições ambientais, pela forma de operação do aterro e, principalmente, pela dinâmica dos processos de decomposição que ocorrem no interior das células (EL FADEL et al., 2002; KJELDSEN et al., 2002).

Por isso, o lixiviado é um subproduto dos aterros sanitários que merece maior atenção quanto ao seu tratamento para que seja reincorporado ao meio ambiente de maneira cuidadosamente controlada, evitando efeitos prejudiciais às águas subterrâneas e superficiais (Great Britain, 2003).

Os lixiviados de aterro sanitário têm diferentes processos de reação com base na sua idade, por isso, a sua composição varia significativamente.

Em geral, o lixiviado de aterro sanitário pode ser categorizado em:

- Jovem

- Intermediário
- Maduro

Enquanto os lixiviados jovens são mais fáceis de tratar, os intermediários e maduros já apresentam maiores dificuldades devido, principalmente, à presença de vários poluentes orgânicos, nitrogênio amoniacal ou amônia dissociada ( $\text{NH}_4^+$ ) e não dissociada ( $\text{NH}_3$ ), e metais pesados, bem como elevadas concentrações de compostos nocivos, tais como hidrocarbonetos aromáticos e halogenados e, ainda “contaminantes emergentes”, formados basicamente por produtos químicos de origem sintética ou natural, como, por exemplo, os PPCP – “*Pharmaceuticals and Personal Care Products*”, ou seja, produtos de cuidado pessoal e farmacêuticos.

Os orgânicos macromoleculares tóxicos contribuem diretamente para a baixa biodegradabilidade desse resíduo altamente poluente.

O nitrogênio amoniacal está presente em soluções aquosas sob duas formas inorgânicas: como amônia dissociada ( $\text{NH}_4^+$ ), na forma iônica, e como amônia não dissociada ( $\text{NH}_3$ ), também conhecida como amônia gás, amônia volátil ou amônia.

Em pH neutro e a 25°C, o nitrogênio amoniacal está na forma do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). À pHs próximos de 9,5 apresenta 50% na forma de  $\text{NH}_3$  e 50% na forma de  $\text{NH}_4^+$ . À pHs superiores a 11, praticamente todo nitrogênio amoniacal está na forma de  $\text{NH}_3$  (MOURA, 2008).

Em aterros mais maduros, a relação  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  se mostra muito baixa (concentração AGV igualmente muito baixa), enquanto que as de  $\text{DQO}_{\text{refr}}/\text{DQO}_t$  e  $\text{NTK}/\text{DBO}_5$  mais elevadas, tornando o lixiviado bruto mais complexo e difícil de ser tratado.

Por essas razões principais, o efeito do tratamento biológico fica limitado até certo ponto e precisa ser complementado com outras tecnologias, para atender às exigências ambientais e/ou de reuso.

### **Recirculação Lixiviados Brutos**

#### Para as Células do Aterro Sanitário

A recirculação consiste em aspergir o lixiviado sobre as células de aterramento através de aspersores ou de caminhões pipa.

Esta técnica combina o tratamento anaeróbico no interior da célula com a evaporação natural, que ocorre a cada recirculação, reduzindo desta forma a alta carga orgânica e o volume do efluente a ser tratado.

Este processo só deve ser adotado em regiões onde o balanço hídrico é negativo, ou seja, em regiões onde a taxa de evaporação é maior do que a precipitação pluviométrica, tendo que ser observado atentamente o volume de reciclo e estabilidade mecânica das células.

Ainda devem ser levados em conta possíveis riscos ambientais, tais como a poluição do solo e das águas subterrâneas, e arraste de substâncias tóxicas pela infiltração do excesso recirculado, principalmente, se houver danos na camada de impermeabilizante de fundo (Cintra et al., 2002).

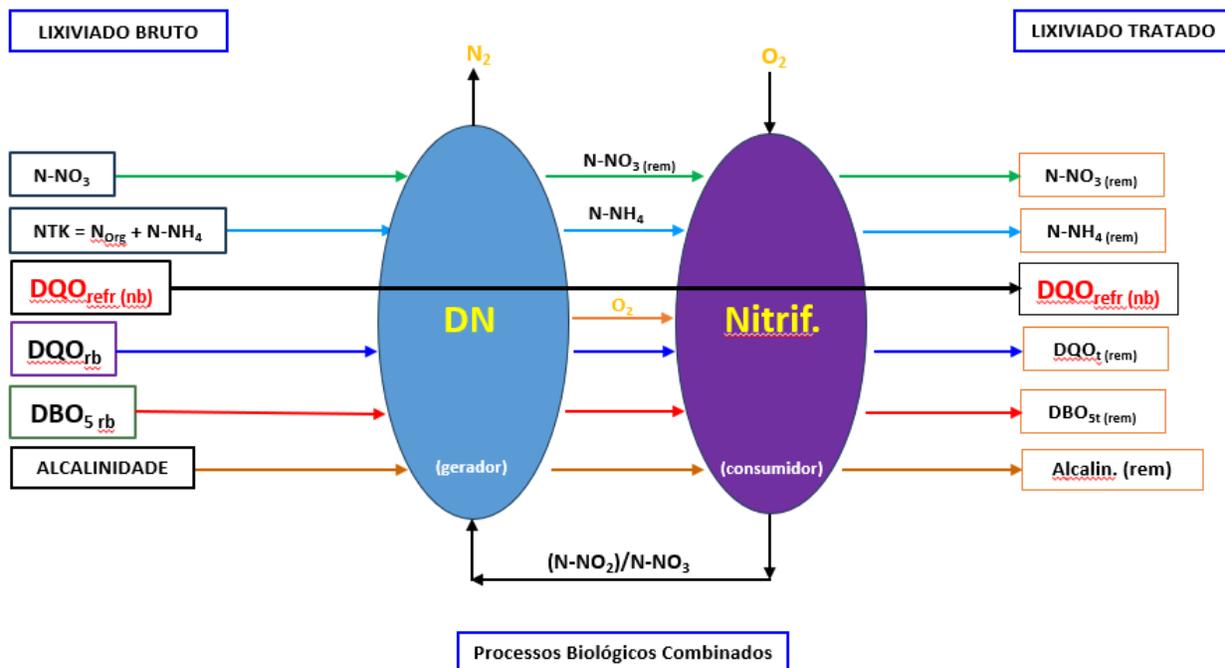
Para a Estação Tratamento Lixiviados

No caso do reciclo de lixiviado tratado, ainda rico em materiais recalcitrantes e/ou outras substâncias tóxicas, haverá um aumento gradativo das cargas afluentes à estação de tratamento, tornando os riscos e dificuldades para o controle e obtenção dos resultados operacionais mais acentuados, podendo, no caso do MBR, por exemplo, reduzir a vida útil das membranas, pelo aumento da incrustação de suas superfícies, o mesmo valendo para o sistema terciário que utiliza a nanofiltração (NF) ou osmose reversa (OR) como tratamentos complementares.

**Processos Biológicos Combinados**

Embora, diferentes tecnologias tenham sido e vêm sendo aplicadas no tratamento de lixiviados de aterros sanitários, ainda prevalecem os processos biológicos combinados de desnitrificação e nitrificação, julgados por muitos como o mais eficaz e econômico, este último formado por processos de lodos ativados (convencional, filtros biológicos, SBR, MBR, etc.) para a remoção da matéria orgânica carbonácea e amônia.

**Ilustração dos Processos Biológicos Combinados: Desnitrificação + Nitrificação**



Nomenclatura:

$N-NO_3$  = Nitratos;  $N-NO_3(rem)$  = Nitratos remanescentes; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl;  $N-NH_4$  = Nitrogênio Amoniaco;  $N-NH_4(rem)$  = Amônia remanescente;  $DQO_t$  = DQO total;  $DQO_t(rem)$  = DQO total remanescente;  $DQO_{refr}$  = DQO não biodegradável;  $DQO_{rb}$  = DQO rapidamente biodegradável;  $DBO_{5t}$  = DBO<sub>5</sub> total;  $DBO_{5t(rem)}$  = DBO<sub>5</sub> total remanescente;  $DBO_{5rb}$  = DBO<sub>5</sub> rapidamente biodegradável (carbonácea); DN = Desnitrificação; Nitrif. = Nitrificação

Durante a fase de nitrificação, a amônia dissociada ( $N-NH_4^+$ ) é transformada primeiramente em nitrito ( $N-NO_2^-$ ) e depois em nitrato ( $N-NO_3^-$ ), consumindo alcalinidade e oxigênio. Durante a fase de desnitrificação, o nitrato é transformado em nitrito, com conseqüente consumo de carbono orgânico ( $DBO_3$ ), que pós dissociado libera o nitrogênio molecular ou gasoso ( $N_2$ ) para a atmosfera, gerando alcalinidade e oxigênio ( $O_2$ ) que são utilizados na fase de nitrificação, contribuindo para a redução energética do processo.

Em muitos países, as exigências ambientais são voltadas para o controle somente da amônia dissociada, motivo pelo qual, o processo biológico fica resumido apenas à fase de nitrificação.

## **Processos Físicos e Físico-Químicos**

### Prévia Remoção Amônia

Objetivando reduzir as capacidades instaladas dos processos biológicos combinados (DN + Nitrificação), poderão ser instalados, como pré-tratamento, sistemas para a prévia remoção ou redução da concentração de amônia, como, por exemplo, "air-stripping" (elevação do pH para volatilização da amônia e posterior remoção), dosagem de ácido sulfúrico para produção de sulfato de amônia (caso da utilização de OR) e outros.

### MBR – "MEMBRANE BIOREACTOR"

O processo de lodo ativado utilizando membranas, denominado de MBR, trouxe consigo grandes avanços no tratamento de lixiviados de aterros sanitários, principalmente, devido à obtenção de uma melhor qualidade do tratado, permitindo a sua segura e confiável complementação com membranas de NF ou OR, para atendimento das exigências ambientais e/ou reuso; maiores eficiências de remoção (longo TRH - tempo retenção hidráulica), levando a uma produção mínima de excesso de lodo (maior concentração) e uma pequena pegada ecológica (sustentabilidade), por força da eliminação dos clarificadores utilizados no processo convencional e, finalmente, redução do volume dos seus reatores biológicos.

Por outro lado, e infelizmente, os processos biológicos não se mostraram eficazes na remoção dos recalcitrantes que a eles são refratários, por serem formados basicamente por substâncias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos e huminas) e compostos orgânicos e inorgânicos não biodegradáveis, com macromoléculas de massa molar relativamente alta.

Essas macromoléculas polifuncionais alteram com frequência as suas conformações em função das interações que ocorrem entre os grupos funcionais presentes na sua estrutura. Elas possuem estruturas complexas e heterogêneas, compostas de carbono, oxigênio, hidrogênio e algumas vezes pequenas quantidades de nitrogênio, fósforo e enxofre (ANTUNES et al., 2005).

A presença de grandes quantidades de ácidos húmicos e fúlvicos no lixiviado faz com que ele apresente características bem definidas, como elevada tensoatividade, atividade fotoquímica e alta capacidade de tamponamento, as quais afetam o comportamento das substâncias químicas no ambiente e modificam processos redox, solubilizando determinados metais e variando a toxicidade (SILVA et al., 2002).

Por isso, o retorno dessas substâncias para o aterro e/ou tanque de equalização do sistema de tratamento de lixiviados brutos torna-se bastante temerário pelos problemas e riscos irreversíveis que podem causar a ambos.

### **Tratamentos Físicos e Físico-Químicos**

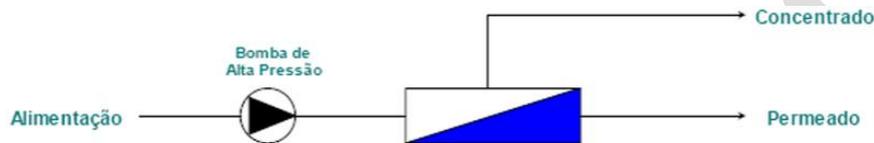
A incapacidade e limitação apresentada pelos processos biológicos no tratamento das substâncias refratárias fez com que outras tecnologias complementares fossem estudadas, desenvolvidas e aplicadas, com maior ou menor sucesso.

Ozônio ( $O_3$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), íons ferrosos (Fenton), radiação UV e dióxido de titânio são utilizados como agentes promotores desses radicais. Porém, alguns desses processos, que ainda apresentam limitações em escala real, podem ser ineficazes em efluentes com turbidez e, em alguns casos, pode haver a geração de lodo contendo ferro, como nos processos Fenton e Foto-Fenton (Brienza & Katsoyiannis, 2017).

Estes processos podem ser complementados por oxidação química (POA's), adsorção em carvão ativado, coagulação/floculação e precipitação química (Renou et al., 2008), ou, ainda, eletrodialise reversa, eletrocoagulação, etc., além das estações de tratamento de esgotos (ETE's) que operam tratando o lixiviado em conjunto com os esgotos sanitários (Zhang, 2013).

Os processos oxidativos avançados (POA's) são definidos como processos que envolvem a geração de espécies transitórias de elevado poder oxidante, dentre as quais se destaca o radical hidroxila ( $\bullet OH$ ), altamente reativo de baixa seletividade, que possibilita a transformação de um grande número de contaminantes. Destacam-se por serem extremamente rápidos, eficientes e, principalmente, por

Segundo Moravia (2010), nas últimas décadas os PSM tiveram destaque, principalmente nos países europeus, onde Gierlich e Kolbach (1998), mencionavam esta tecnologia no tratamento de lixiviados de aterros sanitário. A membrana é definida como uma barreira semipermeável que separa duas fases homogêneas e restringe parcial ou totalmente o transporte de uma ou mais espécies químicas presentes nas fases (METCALF & EDDY, 2003). O PSM é caracterizado pelo fato da corrente de alimentação ser dividida em duas correntes distintas, sendo a parcela retida pela superfície denominada de rejeito ou concentrado, e a parcela que atravessa a membrana de permeado.



### Nanofiltração - NF

O emprego da NF tem ganhado popularidade nos últimos anos, principalmente pela sua capacidade de remoção de DQO, o que muitas vezes permite que o lixiviado tratado atinja os limites de descarga impostos pela legislação ambientais.

A NF é um processo de separação por membranas, intermediário a Ultrafiltração (UF) e a Osmose Reversa (OR), cuja principal força motriz responsável pela separação é a diferença de pressão (HABERT, et al., 2006). Sendo que seu princípio básico é semelhante aos demais processos com membranas, onde a solução a ser tratada circula sob pressão em contato com uma membrana microporosa (METCALF & EDDY, 2003).

A aplicação da NF em estações de tratamento de lixiviados após processos de oxidação avançada (POA's) tem demonstrado bons resultados e eficiências elevadas na separação de DQO, ST, NTK, P-PO<sub>4</sub>, alcalinidade, cloretos, etc.

Em condições normais, a NF permite a difusão de íons monovalentes da solução e rejeita os bivalentes e multivalentes.

A NF vem sendo aplicada na filtração de lixiviados tratados pelos processos biológicos combinados (DN + MBR ou LAC), permitindo a recuperação de 60 a 65% de permeado, dependendo de sua configuração, principalmente por ser capaz de remover moléculas orgânicas de alta massa molar e sais (Giordano et al., 2009).

Através da combinação de pré-tratamento biológico com nanofiltração (NF), foram alcançadas remoções de 90% para DQO total e 27-50% para nitrogênio amoniacal. No entanto, a remoção da condutividade foi baixa, uma vez que a maior parte dos íons solúveis no lixiviado permeou a membrana (Marttinen et al., 2002).

Observa-se, no entanto, que a adsorção de ácidos húmicos e fúlvicos nas superfícies das membranas contribui para a formação de incrustações (“fouling”), reduzindo o fluxo de permeado, levando a jornadas mais curtas de limpeza das membranas e uma conseqüente redução da sua vida útil, além do aumento do custo operacional.

Se não bastasse, ocorre ainda uma preocupação muito maior com o destino e descarte dos seus concentrados/rejeitos (valido também para a OR), cujas características são exatamente iguais às do lixiviado afluente, agora, no entanto, a uma maior concentração, tornando inevitável e evidente a necessidade de um tratamento complementar.

### **Osmose Reversa - OR**

Os lixiviados de aterros sanitários vêm também sendo tratados por processos de barreiras físicas semipermeável, que utilizam membranas de OR, que podem atingir boas eficiências, em termos de remoção de Turbidez, COT, DQO e N-NH<sub>3</sub>, pois, a OR rejeita todos os sais em solução aquosa.

No caso da aplicação de um sistema de OR, como tratamento único, a amônia é previamente transformada em (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sulfato de amônia), através da dosagem de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico), que é posteriormente removido eficazmente pelas suas membranas.

Suas principais vantagens são o fato de não ocorrer mudança de fase durante a separação, não necessitarem de adição de reagentes químicos e possibilitarem o processamento de substâncias termolábeis (substâncias sensíveis às variações de temperatura).

Sendo uma barreira física (filtração fina) e, por isso, incapaz de modificar as características morfológicas das substâncias afluente, por exemplo, caso dos recalcitrantes, a OR (como também a NF) possui uma elevada capacidade de recuperação de permeado, transferindo, no entanto, todas as substâncias (cargas iônicas) para o seu concentrado/rejeito, agora mais concentradas.

Se retornar para o aterro pode provocar, entre outros, problemas de estabilidade estrutural e mecânica e, se retornar para o tanque de armazenamento de lixiviado bruto, aumentar a concentração das referidas substâncias e, prejudicar a curto e médio prazos os resultados operacionais do sistema de tratamento e tornar os custos operacionais elevados.

### **Lixiviados Tratados**

Usualmente, uma parte dos lixiviados tratados pelos processos biológicos combinados é utilizada na umectação do próprio aterro, e a restante tratada por um processo físico-químico para posterior encaminhamento para a estação de tratamento.

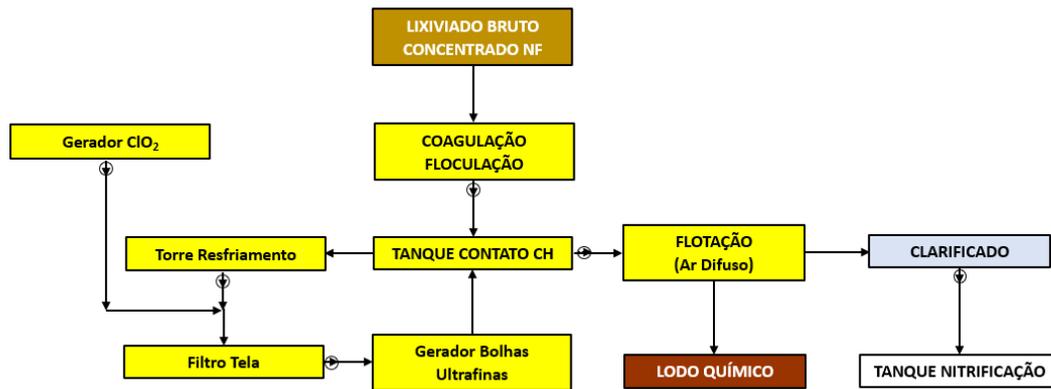
Entretanto, com o passar do tempo foi observado que este reciclo, parcial ou total, vinha impactando negativa e crescentemente nos resultados operacionais da estação de tratamento.

Este método, utilizado até hoje por muitos aterros sanitários, tem como graves consequências o aumento descontrolado e crescente das concentrações das substâncias recalcitrantes, sais inorgânicos, DQO, etc. nos lixiviados brutos, que vão sendo sentidos visivelmente nas condições, resultados e custos operacionais (Opex) das estações de tratamento.

Desta forma, a utilização de processos de oxidação avançada (POA's) e outros métodos de tratamento físico-químico, complementares aos processos biológicos ganharam força, destaque e atenção significativa mais recentemente.

### Sistema Tratamento Físico-Químico Avançado (STFQA): Coagulação/Floculação + CH + ClO<sub>2</sub> + DAF (BIOTECS)

O STFQA pode ser utilizado como pré-tratamento ou pós-tratamento das fases biológica e física (membranas) de uma estação de tratamento de lixiviados.



### Coagulação-Floculação

A coagulação-floculação forma o pré-tratamento do STFQA, sugerido pela BIOTECS, por melhorar a biodegradabilidade e reduzir efetivamente a DQO, sólidos suspensos, cor, turbidez e, particularmente, matéria orgânica refratária (DQO<sub>nb</sub>), presentes no lixiviado bruto do aterro ou nas fases subsequentes aos tratamentos biológicos.

A coagulação-floculação envolve a adição de coagulantes, como cloreto férrico ou sulfato de alumínio, seguida pela adição de floculantes, como polímeros, para promover a agregação de sólidos suspensos e partículas coloidais em flocos maiores que podem ser facilmente separados do lixiviado (Abujazar et al., 2022).

Os métodos de precipitação dependem da adição de produtos químicos que reagem com contaminantes dissolvidos para formar precipitados insolúveis, que podem então ser removidos por sedimentação ou filtração (Pohl, 2020).

Os processos químicos podem atingir altas eficiências de remoção para metais dissolvidos, compostos orgânicos e poluentes recalcitrantes que podem não ser tratados efetivamente apenas por métodos físicos ou biológicos (Nidheesh et al., 2022).

Além disso, os processos de tratamento químico podem frequentemente ser adaptados a composições específicas de lixiviado e objetivos de tratamento, ajustando o tipo e a dosagem dos aditivos químicos usados (Khoo et al., 2020).

Uma das desvantagens comuns dos métodos de tratamento químico, particularmente coagulação-floculação e precipitação, é a geração de lodo. Este lodo, um subproduto do processo de tratamento, consiste em contaminantes agregados e excesso de reagentes químicos, representando um desafio significativo de descarte (Sharma et al., 2022)

O tratamento biológico aeróbio resulta na degradação de orgânicos dissolvidos e coloidais que se transformam em biomassa ativa. A biomassa ativa na água rejeitada, produzida pelo método biológico, pode obter mais orgânicos dissolvidos e sólidos coloidais do efluente que é eliminado pela coagulação (Niazi, 2018).

Utilizando eficazes coagulantes (PAC,  $\text{FeCl}_3$ ) e floculantes (PFS -Sulfato Poliférrico ou polímeros) o sistema de coagulação-floculação pode atingir eficiências de remoção entre 50 e 60% (conservadoramente), principalmente de contaminantes refratários aos processos biológicos.

Entretanto, para atender às necessidades da estação de tratamento de lixiviados e resultados finais, torna-se necessário realizar um aumento significativo na eficiência de remoção das substâncias, entre outras, refratárias (> 90%).

Em função dessa necessidade, está sendo sugerido a complementação do pré-tratamento com um sistema combinado (físico e químico).

### **Cavitação Hidrodinâmica + $\text{ClO}_2$**

#### Cavitação Hidrodinâmica (CH)

A cavitação hidrodinâmica para a geração de bolhas ultrafinas (nanobolhas) pode também ser utilizada com sucesso no tratamento de substâncias refratárias aos processos biológicos, encontradas em concentrações mais elevadas nos lixiviados de aterros sanitários mais velhos, principalmente, representadas pelas substâncias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos e outros).

Essa tecnologia pode acelerar o processo de oxidação sem o uso de quaisquer aditivos adicionais, porque a energia resultante é forte o suficiente para destruir as ligações químicas das moléculas de água e o radical hidroxila ( $\text{HO}^*$  - potencial de oxidação +/- 2,8 eV) e permitir a ocorrência de forte oxidação, agindo sobre os poluentes e alcançando a degradação.

Simultaneamente, as condições extremamente altas de temperatura e pressão geradas, durante a CH, fornecem condições extremas de reação química para a degradação das substâncias recalcitrantes/poluentes.

A CV permite a degradação de substâncias orgânicas, refratárias aos processos biológicos, apenas confiando na energia cinética e pressão do líquido sem aditivos ou energia externa.

Embora possa ser considerada como uma importante fase complementar do pré-tratamento do STFQA (coagulação/floculação), porque irá permitir a maximização da eficiência dessa fase de tratamento, a CH se mostra ainda insuficiente para o atendimento das eficiências requeridas para o processo, como um todo (> 90%).

### CH (Cavitação Hidrodinâmica) + POA's

Alguns estudos mais recentes descobriram que a associação da CV com outros POA's ( $O_3$  e oxidação Fenton,  $H_2O_2$ ,  $ClO_2$ , etc.) pode melhorar significativamente a eficiência da estação de tratamento, principalmente nos lixiviados de aterros envelhecidos, onde a relação  $DBO_5/DQO$  é muito baixa e inadequada para a aplicação singular de processos biológicos.

Esses mesmos estudos e posteriores experiências práticas, demonstraram que a associação da CH com o dióxido de cloro ( $ClO_2$ ) melhorou significativamente a eficiência de tratamento dessas substâncias refratárias, devido ao seu efeito sinérgico e, muito provavelmente, à forte ação oxidante de  $\bullet OH$  e  $\bullet O$ , produzidos durante este processo.

Os compostos orgânicos refratários do lixiviado de aterro, tais como os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, podem sofrer reações de deslocamento, adição e desidrogenação, de modo que gradualmente abrem o anel para formar compostos orgânicos de cadeia.

Posteriormente, grandes cadeias orgânicas moleculares são “quebradas” em moléculas menores e, eventualmente, completamente oxidadas e decompostas.

Além disso, a dissolução do  $ClO_2$  no líquido pode aumentar o conteúdo de gás do fluido e “turbinar” a cavitação.

### Dióxido de Cloro ( $ClO_2$ )

O dióxido de cloro é um oxidante seletivo e não forma subprodutos halogenados (considerados cancerígenos) a partir de reações com a matéria orgânica (Gates, 1998).

Apresenta elevada solubilidade na água (10 vezes mais que o cloro), onde dissocia-se rapidamente em clorito (com relativo potencial tóxico) e, em menor intensidade, em clorato e cloretos.

Esses subprodutos são facilmente eliminados da água quando submetidos à presença de  $O_2$ .

### **Algumas Propriedades do $ClO_2$**

- Não clora compostos orgânicos;
- Não reage com água para formar cloro livre;
- Não reage com amônia para formar cloramina e a maioria de compostos contendo nitrogênio;
- É solúvel e mais estável em água (comparado a outros oxidantes), e tem eficácia em uma ampla faixa de pH;
- Normalmente, reage com (oxida) compostos que têm ligações de carbono ativadas, como fenóis, ou com outros compostos ativos, como sulfetos, cianetos e compostos reduzidos de ferro e manganês;

- Uma vez aplicado, rapidamente decai por conta própria para concentrações invisíveis e inofensivas de vários sais de sódio, incluindo clorito, clorato e íon cloreto;
- É mais econômico.

### **Gerador $\text{ClO}_2$**

Um dos processos mais comuns de geração de  $\text{ClO}_2$  para a aplicação em estações de tratamento de efluentes industriais utiliza soluções de clorito de sódio ( $\text{NaClO}_2$ ) e ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ) ou gás cloro ( $\text{Cl}_2$ ), embora este último apresente a desvantagem de gerar cloro livre, que, em excesso, pode resultar em grandes concentrações de clorito, enquanto a sua ausência, acarreta formação de clorato (Gordon et al., 2005).

### **Conclusões Finais**

A avançada tecnologia desenvolvida pela BIOTECS (STFQA), com o apoio, entre outros, de parceiros tecnológicos, para o tratamento das substâncias recalcitrantes presentes nos lixiviados de aterros sanitários apresenta inúmeras vantagens, podendo ser mencionadas as principais:

- Pode ser instalado à entrada ou como tratamento complementar na saída da estação de tratamento;
- A transformação das substâncias refratárias ( $\text{DQO}_{\text{nb}}$ ) em outras mais simples e biodegradáveis irá contribuir para uma maior capacidade de remoção de nitrogênio na fase de desnitrificação (maior disponibilidade de matéria orgânica), reduzindo a dependência ou eliminando a necessidade de adição de uma fonte externa de carbono orgânico e, ainda, gerar alcalinidade e disponibilidade de  $\text{O}_2$ , importantes para o aumento das eficiências da fase de nitrificação, e redução do consumo energético;
- Quando instalado no pré-tratamento, contribui significativamente para a melhoria das condições e resultados operacionais, e de manutenção, e redução dos custos operacionais, permitindo que o lixiviado tratado possa retornar (ser recirculado), sem impactos apreciáveis na estação de tratamento;
- Quando instalado no final da estação de tratamento, possibilita o reciclo dos lixiviados tratados (ou, concentrados das membranas) para o tanque de equalização ou nitrificação, com baixas concentrações de  $\text{DQO}_{\text{nb}}$ , trazendo as mesmas vantagens citadas anteriormente;
- Permite a eficaz remoção de substâncias surfactantes, caso estejam presentes nos lixiviados brutos, com melhorias significativas na capacidade instalada, condições e custos operacionais;
- Permite que sejam alcançadas eficiências de até 95% (dependendo das características do lixiviado, rota tecnológica utilizada e condições operacionais) na remoção de substâncias recalcitrantes;

- Traz consigo boas perspectivas para o destino dos lixiviados tratados por este revolucionário processo, que, agora, poderão retornar para a estação de tratamento e ser misturados com os lixiviados brutos, sem preocupações com o gradativo aumento das concentrações de DQO, principalmente não biodegradável, amônia, sais, etc. e, seus esperados e conhecidos impactos negativos na operação e resultados dos processos biológicos;
- Evita problemas e conflitos mais frequentes e recorrentes com as entidades de controle ambiental e, igualmente os impactos ambientais, tornando o empreendimento mais sustentável ecologicamente.

(Agradecimentos à Moleaer – “Advancing Nanobubble Technology” e parceiros tecnológicos, e, ainda, pesquisadores e cientistas que desenvolveram exaustivos estudos e publicaram trabalhos – “papers” consistentes e confiáveis, relacionados com este importante assunto técnico e tecnológico)

BIOTECS