

## Fichas de operações de tratamento

### - ADSORÇÃO

Esta operação tem como objectivo a remoção de poluentes, através de adsorção física.

#### **Substâncias-alvo/contaminantes**

Metais pesados, compostos aromáticos, compostos orgânicos aromáticos, hidrocarbonetos de elevado peso molecular, compostos orgânicos voláteis, pigmentos corantes dissolvidos.

#### **Procedimento**

O resíduo líquido é passado através de um meio adsorvente, que pode ser carvão activado ou resina polivinílica (depende da afinidade com os contaminantes). A adsorção é função do tipo e dimensão das partículas a reter, do pH, da temperatura, do tempo de contacto e da natureza e concentração dos contaminantes.

### - CENTRIFUGAÇÃO

Este processo tem como objectivo a separação sólido/líquido.

#### **Substâncias-alvo/contaminantes**

Sólidos suspensos, microrganismos

#### **Procedimento**

As centrífugas têm como princípio de funcionamento a geração de forças gravitacionais de grande intensidade na periferia de um núcleo rotativo, destinadas a proporcionar a separação de sólidos da massa líquida que os transporta. A fase de maior densidade é arrastada para a periferia do núcleo, dando lugar a um fluido espesso que é extraído.

Para remoção de partículas entre 1 e 5000 micra.

#### **Exemplos**

- espessamento de lamas de tratamento biológico;
- desidratação de lamas de tratamentos biológicos ou químicos;
- separação de emulsões água/óleo;
- secagem de sólidos fibrosos, como a pasta de papel.

### - COMPOSTAGEM

Tem como objectivo o tratamento de resíduos sólidos orgânicos e a sua transformação em matéria orgânica útil.

#### **Substâncias-alvo/contaminantes**

Materiais orgânicos não perigosos.

#### **Procedimento**

É um processo biológico aeróbio onde é promovida a decomposição da matéria orgânica mais facilmente biodegradada presente nos resíduos. O resultado denomina-se por composto, que é um material estável semelhante ao húmus.

#### **Exemplos**

- tratamento dos resíduos sólidos urbanos.

## Fichas de operações de tratamento

### - CRISTALIZAÇÃO

Este processo tem como objectivo a cristalização das substâncias contaminantes de um líquido, com vista a purificar o líquido.

#### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias inorgânicas (sais inorgânicos), orgânicos (vários, excepto compostos orgânicos voláteis), sólidos dissolvidos.

#### Procedimento

Os cristalizadores são reactores térmicos que provocam a separação do líquido a tratar, gerando um destilado de alta qualidade e uma corrente de sólidos com elevado teor em humidade. Na maior parte dos casos, o processo consiste num abaixamento de temperatura que provoca a descida de solubilidade dos sais contidos no líquido a tratar. O bolo de cristais, seja para reutilização, seja para destino final em aterro é normalmente sujeito a secagem.

#### Exemplos

- tratamento, para recuperação da água, da purga de torres de refrigeração;
- depuração de efluentes contendo contaminantes perigosos;
- depuração de efluentes resultantes da lavagem de gases de combustão e de destintagem.

### - EVAPORAÇÃO

Tem como objectivo a evaporação da água (ou outro líquido), permanecendo o contaminante sob a forma de resíduo sólido.

#### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias inorgânicas (sais e metais pesados), orgânicas (excepto compostos orgânicos voláteis), sólidos dissolvidos (óxidos).

#### Procedimento

Este processo pode ser efectuado em: tinas atmosféricas e evaporadores termo-mecânicos (em laboratório, em pequena quantidade, as substâncias podem ser evaporadas na hotte). Os evaporadores termo-mecânicos são reservatórios fechados que operam com energia térmica e, muitas vezes, sob vácuo; a água evaporada, após condensação é reutilizável.

#### Exemplos

- águas residuais resultantes da produção de substâncias alcalinas, fertilizantes, petróleo, produtos farmacêuticos e de alimentos;
- águas de lavagem ou soluções aquosas dos tratamentos de superfície;
- águas residuais com óleos minerais.

### - EXTRACÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO

Tem como objectivo a separação de dois líquidos miscíveis.

#### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias inorgânicas (metais, sais de metais pesados), orgânicas (não voláteis), substâncias dissolvidas.

## Fichas de operações de tratamento

### Procedimento

É uma técnica de separação indirecta na qual dois líquidos não miscíveis entram em contacto, com o objectivo das impurezas de um serem transferidas para o outro. A água é introduzida no extractor e contacta com o solvente em contracorrente. O solvente arrasta os contaminantes com os quais tem afinidades, enquanto a água é passada por uma coluna de destilação, onde o solvente é separado e recuperado.

Quando a água se encontra nos estado de vapor, a técnica é designada por arrastamento de vapor.

### Exemplos

- remoção de fenóis das águas residuais;
- recuperação ou refinação de produtos na indústria química;
- separar solventes halogenados (clorofórmio, tetracloreto de carbono, diclorometano) de outros solventes (acetona, metanol, éter etílico, xileno, hexano)

### - FILTRAÇÃO

Permite reduzir os teores das águas residuais em sólidos suspensos e em óleos e gorduras.

### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias inorgânicas (precipitados insolúveis), orgânicas insolúveis; sólidos suspensos, microrganismos (algas, bactérias).

### Procedimento

A filtração é eficaz na remoção de partículas de dimensão superior a 1 micrometro, podendo requerer a utilização de substâncias adjuvantes. Os tipos de filtros mais utilizados são os de membrana, de cartucho, e os filtros-prensa. Os filtros são lavados regularmente. A filtração é usada, tanto no tratamento prévio, como para tratamento final no caso de reutilização das águas residuais.

### Exemplos

- tratamento final de águas a reutilizar oriundas de tratamentos de precipitação química, separação por gravidade, flotação ou efluente depurado proveniente de tratamentos biológicos;
- pré-tratamento, para as tecnologias de adsorção por leito de carvão, permuta iónica ou filtração por membranas.

### - FLOTAÇÃO OU FLUTUAÇÃO

Tem como objectivo a remoção de poluentes (partículas sólidas, ou líquidas, mas de densidade diferente) de uma substância líquida.

### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias inorgânicas, orgânicas (óleos, gorduras, carência bioquímica e química de oxigénio), sólidos suspensos.

### Procedimento

O mecanismo da flotação consiste na condução, através de uma corrente de água, de pequenas bolhas de ar insuflado mecanicamente. As bolhas de ar, no seu percurso ascendente através da corrente de água, aderem a partículas suspensas ou glóbulos de óleo, diminuindo o peso específico do conjunto bolha/partícula para um valor inferior ao da água. Em resultado da separação de fases, as partículas

## Fichas de operações de tratamento

formam à superfície uma camada de espuma que deverá ser retirada. Para que este processo seja eficaz, podem ser necessárias adições químicas.

### Exemplos

- reciclagem de águas da indústria de pasta de papel;
- águas residuais que necessitam de remoção prévia de óleos e gorduras.

### - INCINERAÇÃO

Tem como objectivo a oxidação de constituintes orgânicos, dando lugar a dióxido de carbono, vapor de água, óxidos e compostos clorados.

### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias orgânicas tóxicas (exemplo: ácidos carboxílicos), sólidos dissolvidos (substâncias resistentes a outros tratamentos), sólidos suspensos, microrganismos (de risco biológico).

### Procedimento

A incineração é praticada sobre resíduos líquidos, águas residuais concentradas, resíduos sólidos, gases e lamas. Consiste num processo de combustão controlada, em que o resíduo é o combustível, mas com o apoio complementar de gás ou fuelóleo, destinado a estabilizar a chama. Os incineradores podem ser simples fornalhas ou fornos rotativos.

Em condições ideais a combustão é um bom processo para destruir compostos orgânicos perigosos, por outro lado, se a combustão não é completa podem resultar produtos tóxicos.

### Exemplos

- líquidos tóxicos ou perigosos;
- resíduos com risco biológico.

### - NEUTRALIZAÇÃO

Esta operação tem como objectivo a neutralização do pH de resíduos básicos e ácidos.

### Substâncias-alvo/contaminantes

Ácidos e bases

### Cuidados

As neutralizações devem ser efectuadas na hotte, deve ser usada máscara de protecção, luvas e óculos à prova de salpicos.

### Procedimento

Efectuar as reacções de neutralização lentamente, com um banho de gelo e agitando. Adicionar gradualmente à substância ácida/básica uma quantidade determinada de base/ácido.

### Exemplos

- Soluções de ácidos inorgânicos (como o ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido perclórico, ácido fosfórico, bifosfatos)

Podem diluir-se com água (juntando o ácido lentamente à água) e neutralizar até pH 6 – 8, juntando

## Fichas de operações de tratamento

lentamente, e com agitação contínua, hidróxido de sódio ou potássio em solução ou pastilhas (ler o pH com um medidor de pH adequado). Pode também usar-se bicarbonato de sódio ou hidróxido de cálcio.

À medida que se liberta calor, adicionar gelo. Esta solução, depois de novamente diluída, pode ser despejada na rede de esgotos, deixando correr água abundantemente.



- Soluções de ácidos nítrico ou perclórico

Diluir cuidadosamente com água (1 parte de ácido para 10 partes de água), neutralizar de igual forma com uma solução de hidróxido de potássio, dando origem à formação de um precipitado branco de perclorato de potássio. Este precipitado pode ser despejado na rede de esgotos com o resto da solução, depois de muito diluída.

- Soluções ácidas contendo ião fluoreto

Diluir lentamente a solução ácida em água e misturar hidróxido de cálcio, agitando a solução resultante. Verificar a alteração de pH. Pode formar-se um precipitado de fluoreto de cálcio que pode ser despejado na rede de esgotos com o resto da solução, se não ultrapassar as 100g de fluoreto de cálcio. Não esquecer diluir a solução obtida.

- Soluções ácidas concentradas (como por exemplo, o ácido fórmico, clorídrico e bromídrico)

Colocar lentamente o ácido sobre água. Misturar e agitar com solução de hidróxido de potássio ou de sódio 6M, lendo continuamente o pH. Quando for atingido um pH >2, a solução pode ser diluída com 20 volumes idênticos de água e despejada na rede de esgotos.

- Bases, aminas, sais básicos e soluções básicas (como por exemplo, a dietilamina, hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, carbonato de potássio, carbonato de sódio, hidróxido de amónio)

Diluir com água (2 l de solução básica/soluções de aminas por cada 10 l de água) e neutralizar até pH = 6-8, adicionando lentamente ácido sulfúrico diluído ou ácido clorídrico (concentração 6M). Dilui-se a solução resultante a 1:10 e despeja-se na rede de esgotos, deixando correr água abundantemente.

**Nota: As soluções alcalinas envelhecidas produzem efervescência**

**Nota importante: No caso das soluções de aminas nunca usar ácido nítrico ou perclórico**

Bases vulgarmente usadas

Hidróxido de amónio (15 Molar)
Hidróxido de cálcio (usado sob a forma de pó para neutralizar ácidos)
Hidróxido de magnésio (usado sob a forma de pó para neutralizar ácidos)
Hidróxido de potássio solução 6N (dissolver 336g de KOH em 1l de H <sub>2</sub> O)
Bicarbonato de sódio
Carbonato de sódio
Hidróxido de sódio 6N (dissolver 240g de NaOH em 1l de H <sub>2</sub> O)

Retirado de: Pereira, M. M., *Curso de segurança em Laboratórios de Química*, FCT Universidade Nova de Lisboa, 2000

## Fichas de operações de tratamento

Nemerow & Dasgupta apresentam vários **métodos para neutralizar o excesso de acidez ou de alcalinidade de resíduos líquidos:**

- misturar os resíduos de forma a que a solução resultante seja uma solução de pH neutro;
- passar os resíduos ácidos através de leitos de brita calcária;
- misturar os resíduos ácidos em lamas ricas em dolomite,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ;
- adicionar as proporções adequadas de soluções concentradas de soda cáustica, NaOH, ou carbonato de sódio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , a resíduos ácidos;
- adicionar  $\text{CO}_2$  comprimido a resíduos alcalinos;
- produzir  $\text{CO}_2$  em resíduos alcalinos;
- adicionar ácido sulfúrico a resíduos alcalinos.

Nota: Os resíduos alcalinos são considerados corrosivos nos Estados Unidos com um pH superior a 12,5 e por isso classificados como perigosos.

(Nemerow, N., L., Dasgupta, A., Industrial and Hazardous waste treatment, Van Nostrand Reinhold, New York)

### - OXIDAÇÃO QUÍMICA

Tem como objectivo a conversão total ou parcial de compostos orgânicos e/ou inorgânicos em dióxido de carbono e água. No caso da conversão parcial, uma parte dos compostos orgânicos iniciais pode ser convertida em formas parcialmente oxidadas mais biodegradáveis tais como álcoois, aldeídos, cetonas ou ácidos orgânicos.

### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias inorgânicas (amónia, cianetos, sulfuretos, mercaptanos, formaldeídos), orgânicas (fenóis, hidrocarbonetos), sólidos dissolvidos (carência bioquímica e química de oxigénio, compostos orgânicos voláteis), microrganismos (bactérias, vírus).

### Procedimento

Os métodos mais utilizados incluem o ozono, cloro, dióxido de cloro, peróxido de hidrogénio, ar húmido, água em estado supercrítico ou permanganato de potássio.

### Exemplos

- tratamento de águas residuais contendo fenóis;
- remoção de hidrocarbonetos clorados, pentaclorofenol, compostos orgânicos azotados, éteres, cianetos, acetona e compostos orgânicos voláteis;
- desinfecção de água;
- destruição de resíduos de formaldeído (a concentração entre 130 e 175 ppm é letal para as bactérias no sistema de saneamento básico).

### - PERMUTA IÓNICA

Tem como objectivo a remoção de poluentes de baixa concentração numa corrente de água

### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias inorgânicas, orgânicas e sólidos dissolvidos que forem ionizáveis.

## Fichas de operações de tratamento

### Procedimento

A permuta iónica consiste numa troca reversível de iões entre um sal sólido insolúvel (resina de permuta iónica) e um líquido com sais dissolvidos, quando entram em contacto. As resinas de permuta iónica podem ser naturais ou sintéticas, e a sua actividade depende da relação massa/área superficial, pelo que se apresentam sob a forma de pequenos grãos. As resinas possuem a capacidade de se ionizarem em contacto com a água, gerando, conforme a sua natureza, aniões ou catiões. Quando os iões livres da resina permutam totalmente, esta tem de ser regenerada para utilização posterior.

### Exemplos

- tratamento de águas residuais para a remoção de metais pesados e simultaneamente, nitratos, sulfatos e cloretos.

### - PRECIPITAÇÃO

Tem como objectivo a remoção de poluentes de uma substância líquida, pela sua precipitação química.

### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias inorgânicas (metais pesados, iões metálicos tóxicos  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , à excepção do  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^{+}$  e do  $\text{Hg}^{+}$ , cianetos), orgânicas (de elevado peso molecular), sólidos dissolvidos (fluoretos, fosfatos), sólidos suspensos.

### Procedimento

A precipitação química é o processo pelo qual o equilíbrio de uma solução é alterado no sentido da redução da solubilidade de qualquer dos seus constituintes. Os compostos solúveis são convertidos em precipitados insolúveis que podem ser removidos. A precipitação química pode ser realizada por:

- adição de substâncias que reagem como o composto dissolvido, formando novos compostos menos solúveis;
- adição de substâncias que provoquem alterações no equilíbrio da solução, provocando a precipitação parcial do composto.

As técnicas de precipitação química reque-rem por vezes neutralizações prévias por adição de ácidos ou de bases.

### Exemplos

- tratamento de águas residuais que careçam da remoção de dureza, fosfatos ou metais pesados.

### - SEDIMENTAÇÃO

Tem como objectivo a remoção de sólidos suspensos e de substâncias com diferentes densidades, da substância líquida.

### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias inorgânicas (metais pesados não dissolvidos em suspensão), orgânicas (areias, lamas, lodos), sólidos suspensos.

### Procedimento

As substâncias líquidas (em geral, a água) são introduzidas num reservatório que lhe proporcionam suficiente tempo de retenção e que permite a separação das várias fases. A sedimentação depende

## Fichas de operações de tratamento

da densidade entre fases. Pode ser necessário recorrer a aditivos químicos ou a ajustamentos de pH com o objectivo de quebrar emulsões.

### Exemplos

- reciclagem de águas das indústrias de celulose e de papel
- remoção de óleo em águas residuais.

### - SOLIDIFICAÇÃO

Tem como objectivo a estabilização, por solidificação dos contaminantes numa matriz sólida.

#### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias inorgânicas (metais pesados, asbestos, substâncias corrosivas, cianetos), orgânicas (não voláteis, halogenados), sólidos dissolvidos, sólidos suspensos.

#### Procedimento

A solidificação/estabilização é usada para o tratamento dos sub-produtos resultantes das outras técnicas de tratamento, que não podem ser estabilizados ou inertizados de outro modo. O resíduo concentrado é misturado com cimento e silicatos solúveis de modo a formar uma amálgama que se separa da massa de água. O resíduo sólido formado aprisiona os contaminantes e impede a libertação dos seus lixiviados. O sólido resultante pode ser depositado em aterro.

### Exemplos

- solidificação de lamas provenientes de processos de cristalização;
- confinamento de substâncias orgânicas muito tóxicas;
- confinamento de concentrados de metais pesados.

### - TRATAMENTO BIOLÓGICO

Este processo recorre a reacções químicas de oxidação-redução, de ácido-base e de quebra e formação fomalítica de ligações químicas produzidas por microrganismos vivos para estabilizar ou destruir resíduos. Pode ocorrer em ambiente aeróbio (dando origem a sulfatos, nitratos e fosfatos) ou anaeróbio (dando origem a metano e dióxido de carbono).

#### Substâncias-alvo/contaminantes

Substâncias inorgânicas (nitratos, fosfatos, cianetos, sulfitos), orgânicas, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, microrganismos.

#### Procedimento

O resíduo líquido passa através de um reactor onde é mantida uma concentração elevada de microrganismos, que podem estar em suspensão, ou fixados num suporte sólido. Os microrganismos metabolizam os compostos orgânicos, e utilizam alguns compostos inorgânicos, decompondo-os, e usando a energia para o seu crescimento. Por vezes é necessária a adição de nutrientes ao efluente para que o processo ocorra ou seja optimizado.

### Exemplos

- tratamento de águas residuais.



**Fichas de operações de tratamento****- VITRIFICAÇÃO**

Este processo tem como objectivo a transformação de substâncias sólidas, por acção do calor, ao estado vítreo.

**Procedimento**

É um processo que exige elevadas temperaturas, e por isso equipamentos dispendiosos. O produto final pode ser depositado em aterro.

**BIBLIOGRAFIA**

Nemerow, N., L., *Industrial and Hazardous Waste Treatment*, Dasgupta, A., Van Nostrand Reinhold, New York

EPA, *Engineering bulletin, solidification/stabilization of organics and inorganics*, May, 1993  
[http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4\\_10.html](http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4_10.html)

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. A., *Integrated Solid Waste Management*, McGraw Hill Inc, 1993

Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering – Treatment, Disposal, Reuse* McGraw Hill Inc, 1991

Formosinho, S., Pio, C., Barros, H., Cavalheiro, J., *Parecer Relativo ao Tratamento de Resíduos Industriais Perigosos- vol. II, volume II*, Principia, 2000

Braga, J., *As empresas Portuguesas e o Desafio Ambiental*, Monitor, 1999

Pereira, M. M., *Curso de segurança em Laboratórios de Química*, FCT Universidade Nova de Lisboa, 2000

Carvalho, A. P., Silva, M. D., *Acção formação segurança em laboratórios químicos no âmbito do PRODEP*, Departamento de química da Universidade do Porto, Junho 2001