

# ODORES EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Rosa Antunes <sup>1</sup>; António P. Mano <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng.<sup>a</sup> Sanitarista, Projectista, [rantunes@hidroprojecto.pt](mailto:rantunes@hidroprojecto.pt).

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Sanitária, Professor Auxiliar da UNL/FCT, Director Técnico, [amano@hidroprojecto.pt](mailto:amano@hidroprojecto.pt).

HIDROPROJECTO – ENGENHARIA E GESTÃO, S.A., Portugal  
Av. Marechal Craveiro Lopes, N.º 6, 1749-010 Lisboa  
Telefone: +351 217 513 000; Fax: +351 217 513 001

## RESUMO

A emissão de odores associada às estações de tratamento de águas residuais urbanas (ETAR), constitui, actualmente, um dos impactes ambientais mais sensíveis, quer em novas instalações, quer em reabilitações/reconfigurações, nomeadamente em meios urbanos. Por outro lado, alguns dos compostos odoríficos podem constituir, quando em concentrações elevadas, uma ameaça para a segurança e saúde dos trabalhadores que a eles estão expostos, para além de contribuírem para uma rápida deterioração quer dos equipamentos electromecânicos quer da construção civil. Consequentemente, o seu controlo e, também, a sua minimização, constituem uma preocupação crescente quer das entidades que gerem e exploram este tipo de infra-estruturas, quer, também, dos projectistas e consultores.

Os odores que ocorrem numa ETAR têm origem, fundamentalmente, em compostos sulfurados ou azotados, incluindo o ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), que se forma em consequência da redução do sulfato, que é a principal forma sob a qual o enxofre se apresenta nas águas residuais, e, também, da decomposição anaeróbia da matéria orgânica que potencia a libertação de mercaptanos (CH<sub>3</sub>SH) e de amoníaco (NH<sub>3</sub>). O potencial de formação e libertação de odores em ETAR depende da composição da água residual bem como da extensão e das condições de escoamento na rede de drenagem.

Neste trabalho apresentam-se as principais características dos compostos odoríficos mais significativos, nomeadamente no que respeita aos seus limites de detecção e de exposição, bem como à perigosidade que lhes estão associadas. Por outro lado, identificam-se os locais onde, numa ETAR, é mais frequente a presença de odores, e quais as faixas de concentração expectáveis. Resumem-se, para cada um daqueles locais, as taxas de renovação mínima que é necessário respeitar, bem como as principais tecnologias associadas ao seu tratamento, nomeadamente os processos por lavagem química, carvão activado e biofiltração, tendo-se procurado estabelecer as faixas de aplicabilidade para cada uma delas em função do volume de ar a tratar. Referem-se igualmente as vantagens e as desvantagens que comumente lhes estão associadas, nomeadamente no que respeita a custos de exploração.

**Palavras-chave:** odor, emissões, compostos odoríficos, ETAR.

## 1 ORIGEM E NATUREZA DOS ODORES

Os odores em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) tem origem na degradação anaeróbia da matéria orgânica, presente nas águas residuais urbanas e, ou em descargas de efluentes industriais que contenham compostos odoríficos. A ocorrência de condições sépticas propícias à formação de compostos odoríficos pode ocorrer durante o transporte dos afluentes e, ou na ETAR, sendo potenciada com o aumento da temperatura, presença de cargas orgânicas elevadas e de compostos químicos reduzidos, que conduzem à diminuição do oxigénio dissolvido e contribuem para a criação de condições de anaerobiose.

Uma vez produzidos, os compostos odoríficos têm tendência a serem libertados para a atmosfera, originando odores normalmente em locais de elevada turbulência ou em locais onde a interface água - ar seja significativa, como sejam câmaras de transição entre condutas elevatórias / emissários e estações elevatórias, nas redes de drenagem, e obras de entrada, lagoas anaeróbias, descarregadores, processos de armazenamento e tratamento de lamas, nas ETAR.

Numa ETAR, a ocorrência e a intensidade de odores pode ser agravada pela recirculação interna associada a algumas das operações, nomeadamente, espessamento e desidratação das lamas.

O conjunto de odores abrange compostos de natureza mineral e orgânica, principalmente azotados e sulfurados, entre os quais se destacam os seguintes:

- Amoníaco;
- Sulfureto de hidrogénio;
- Compostos orgânicos sulfurados, nomeadamente, mercaptanos;
- Aminas;
- Subprodutos da fermentação anaeróbia, nomeadamente ácidos gordos voláteis.

Entre estes compostos, destacam-se, o amoníaco, o sulfureto de hidrogénio e o mercaptano de metilo, cujas características principais se apresentam no Quadro 1.

Quadro 1. Características dos principais compostos odoríficos associados às águas residuais<sup>3</sup>.

| Composto odorífero      | Fórmula química    | Peso molecular (g/mole) | Volatilidade a 25°C (ppm <sub>v</sub> ) | Valor Limite (ppm <sub>v</sub> ) |                   | Descrição do odor     |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|---|----------------------------------|-------------------|-----------------------|
|                         |                    |                         |   | de Detecção                      | de Reconhecimento |                       |
| Amoníaco                | NH <sub>3</sub>    | 17,04                   | gás                                     | 17                               | 37                | Acre                  |
| Sulfureto de hidrogénio | H <sub>2</sub> S   | 34,08                   | gás                                     | 0,0005                           | 0,0047            | Ovos podres           |
| Mercaptano de metilo    | CH <sub>3</sub> SH | 48,11                   | gás                                     | 0,0005                           | 0,0010            | Couve em decomposição |

A produção e a libertação de odores pode ocorrer na generalidade das operações e processos associados a uma ETAR, apresentando-se no Quadro 2 um resumo em que se indicam os principais locais onde ocorrem. Por outro lado, apresenta-se no Quadro 3, para as várias etapas de tratamento, as faixas expectáveis de concentração de odores.

<sup>3</sup> Adaptado de WEF/ASCE, 1995.

Quadro 2. Identificação dos locais e, ou órgãos onde ocorrem odores<sup>4</sup>.

| Local ou Órgão                               | Origem e motivo  | Potencial odorífico |
|--|--|---------------------|
| Obra de entrada                              | Libertação de compostos odoríficos gerados no sistema de recolha e drenagem de águas residuais devido à turbulência nos canais e em pontos de transição  | Elevado             |
| Gradagem                                     | Libertação de compostos odoríficos a partir da matéria putrescível removida nas grades   | elevado             |
| Remoção de areia                             | Libertação de compostos odoríficos devido à remoção de matéria orgânica com a areia  | elevado             |
| Tanques de equalização                       | Libertação de compostos odoríficos devido à acumulação de escumas e sólidos sedimentados   | elevado             |
| Recepção dos conteúdos de fossas sépticas    | Libertação de compostos odoríficos   | elevado             |
| Retorno de escorrências                      | Libertação de compostos odoríficos a partir das escorrências associadas aos processos de tratamento de lama  | elevado             |
| Decantação primária                          | Libertação de compostos odoríficos no espelho de água e nos descarregadores associados à presença de matéria orgânica em decomposição  | moderado / elevado  |
| Processos biológicos por biomassa fixa       | Septicidade devido à oxigenação insuficiente, elevada carga orgânica, ou colmatação do meio filtrante  | moderado / elevado  |
| Tanques de arejamento                        | Lamas recirculadas em estado séptico, caudais de escorrências odoríficas, elevada carga orgânica, mistura deficiente, oxigénio dissolvido insuficiente, deposição de sólidos                               | baixo / moderado    |
| Decantação secundária                        | Libertação de compostos odoríficos associados à presença de escumas e de lamas   | baixo / moderado    |
| Espessamento, tanques de retenção de sólidos | Libertação de compostos odoríficos associados à presença de sólidos e de escumas na superfície dos órgãos, nos deflectores e caleiras, à turbulência nos deflectores e caleiras, ao aumento da temperatura | moderado / elevado  |
| Digestão anaeróbia                           | Libertação generalizada de compostos odoríficos  | moderado / elevado  |
| Armazenamento de lama                        | Libertação de compostos odoríficos associada a uma mistura deficiente ou inexistente e à ocorrência de escumas   | moderado / elevado  |
| Desidratação mecânica                        | Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos desidratados devido ao teor em matéria putrescível. A adição de químicos promove a libertação de amoníaco  | moderado / elevado  |
| Trasfega de lama                             | Libertação de compostos odoríficos durante a trasfega das lamas armazenadas para os veículos de transporte   | elevado             |
| Instalações de compostagem                   | Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos compostados devido ao arejamento insuficiente e, ou à ventilação inadequada  | elevado             |
| Estabilização química                        | Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos estabilizados devido à produção de amoníaco resultante da reacção com a cal  | moderado            |
| Leitos de secagem de lama                    | Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos desidratados devido ao excesso de matéria putrescível e, ou à estabilização insuficiente   | moderado / elevado  |

<sup>4</sup> Adaptado de Metcalf&Eddy, 2003.

Quadro 3. Faixas de concentração dos odores associadas às várias etapas de tratamento<sup>5</sup>.

| Local ou Órgão          | Concentração no ar (mg/m <sup>3</sup> ) |                  |                                  |
|-------------------------|---|------------------|----------------------------------|
|                         | NH <sub>3</sub>                         | H <sub>2</sub> S | Mercaptanos (CH <sub>3</sub> SH) |
| Obra de entrada         | 1 a 3                                   | 1 a 3            | 0,5 a 1                          |
| Decantação Primária     | 1 a 3                                   | 0,5 a 1          | 0,2 a 0,5                        |
| Poço de Lamas Primárias | -                                       | 10 a 500         | 2 a 250                          |
| Tanque de arejamento    | -                                       | < 1              | < 0,5                            |
| Decantação Secundária   | -                                       | < 1              | < 0,5                            |
| Espessamento            | 2 a 10                                  | 5 a 30           | 2 a 10                           |
| Desidratação            | 5 a 25                                  | 10 a 50          | 2 a 15                           |

## 2 PRINCIPAIS PROBLEMAS ASSOCIADOS À PRESENÇA DE ODORES

### 2.1 Considerações gerais

Os principais problemas associados à presença de odores dizem respeito aos efeitos na saúde dos trabalhadores das ETAR ou das pessoas que ocasionalmente a elas se deslocam. Os efeitos na saúde das populações vizinhas e nos ecossistemas poderão ter igualmente algum significado, dependendo das condições locais topográficas e climáticas, mas estão fora do âmbito do presente artigo.

As consequências para a saúde dos trabalhadores dependem das concentrações de exposição e do tempo a que se está exposto a essas concentrações. De acordo com [ATSDR, 2002], os efeitos na saúde podem ser agrupados em três períodos de exposição:

- exposição aguda, de duração igual ou inferior a 14 dias;
- exposição intermédia, de duração entre 15 e 364 dias;
- exposição crónica, de duração igual ou superior a 365 dias.

As concentrações de exposição são avaliadas e definidas de acordo com os seus efeitos na saúde em função do tempo de exposição distinguindo-se as concentrações médias ponderadas (MP)<sup>6</sup> num período de exposição de 8 h/dia ou 40 h/semana e as concentrações máximas para curtos períodos de exposição (CP)<sup>7</sup>, até 15 minutos contínuos, no máximo de quatro exposições por dia e espaçadas de, pelo menos, 60 minutos entre exposições sucessivas, não excedendo o valor limite de exposição com base na média ponderada.

Por outro lado, os principais parâmetros que regulamentam as concentrações de poluentes na atmosfera são os seguintes:

- Nível admissível de concentração (NAC)<sup>8</sup> – valor da concentração abaixo da qual se admite que a maioria dos trabalhadores podem ser expostos sucessivamente, dia após dia, sem efeitos adversos na sua saúde. Este valor pode ser expresso para a média ponderada do período de exposição (MP) ou para o curto período de exposição (CP);
- Concentração máxima (CM)<sup>9</sup> – valor de concentração que nunca deve ser excedida mesmo instantaneamente;

<sup>5</sup> Adaptado de Degremont, 1989.

<sup>6</sup> equivalente ao Time Weighted Average (TWA)

<sup>7</sup> equivalente ao Short-Time Exposure Limit (STEL)

<sup>8</sup> Norma Portuguesa NP1796 de 1983

<sup>9</sup> Norma Portuguesa NP1796 de 1983

- Valor Limite de Exposição (VLE)<sup>10</sup> – valor de significado semelhante ao NAC;
- Valor de Concentração Perigosa (VCP)<sup>11</sup> – valor da concentração ambiente de um contaminante em que, para um tempo de exposição inferior a 30 minutos, não ocorre qualquer sintoma ou efeito irreversível na saúde.

Em França, o valor da concentração de poluentes atmosféricos, denominado por Valor Médio de Exposição (VME), refere-se à concentração média em 8 h/dia para a qual o trabalhador pode estar exposto, enquanto que na Alemanha, este valor, denominado por MAK, representa a concentração para uma exposição média de 8 horas.

## 2.2 Amoníaco

O amoníaco é um gás incolor com um odor acre, familiar à maioria das pessoas porque o amoníaco é utilizado em sais de cheiro e em produtos de limpeza doméstica (como por exemplo, produtos limpa vidros), que pode ser detectado no ar a partir de uma concentração de 50 ppm. Os problemas de saúde – irritação da pele, olhos, nariz, garganta e pulmões – estão normalmente associados a concentrações superiores e, ou tempos de exposição prolongados, tendo-se verificado que o corpo humano desenvolve alguma tolerância quando sujeito a exposições sucessivas [ATSDR, 2002].

De acordo com a Norma Portuguesa NP1796 (1983) o NAC para o gás NH<sub>3</sub> é de 25 ppm (18 mg/m<sup>3</sup>). Nos E.U.A [ATSDR, 1999 – CAS#7783-06-4; OSHA, 2003] os limites de exposição ao amoníaco no ar para protecção da saúde pública, nomeadamente dos trabalhadores, são:

- VLE – MP de 25 ppm (17 mg/m<sup>3</sup>);
- VLE – CP de 35 ppm (24 mg/m<sup>3</sup>);
- VCP de 300 ppm (204 mg/m<sup>3</sup>).

O VLE por inalação de amoníaco em exposição aguda é de 1,7 ppm, durante, no máximo, 14 dias, determinado a partir do VLE com observação de efeitos adversos de 50 ppm para irritação mediana dos olhos, nariz e garganta de pessoas expostas àquela concentração no ar durante 2 horas [ATSDR, 2002].

O VLE por inalação de amoníaco em exposição crónica é de 0,3 ppm, durante 365 dias ou mais, determinado a partir do VLE sem efeitos adversos observados de 12,5 ppm [ATSDR, 2002].

No quadro 4 é apresentado um resumo dos efeitos na saúde das várias concentrações de amoníaco presentes no ar ambiente.

<sup>10</sup> equivalente ao Threshold Limit Value (TLV)

<sup>11</sup> equivalente ao Immediately Dangerous to Life or Health (IDLH)

Quadro 4. Efeito na saúde dos trabalhadores associado à presença de amoníaco no ar.<sup>12</sup>

| Concentração de NH <sub>3</sub> (ppm) | Efeito na saúde dos trabalhadores   |
|---------------------------------------|---|
| ≤ 25                                  | Concentração média de exposição sem efeitos adversos para quase todos os trabalhadores, num período de 8 h/dia e 40h/semana   |
| 25 – 50                               | Odor detectável   |
| 50 – 100                              | Ligeira irritação dos olhos, nariz e garganta, podendo desenvolver tolerância em 1-2 semanas sem efeitos adversos posteriores |
| 140                                   | Irritação moderada dos olhos, sem sequelas a longo prazo para exposições inferiores a 2 horas                                 |
| 400                                   | Irritação moderada da garganta  |
| 500                                   | Valor limite, a partir do qual existe perigo de vida ou para a saúde  |
| 700                                   | Lesão imediata dos olhos  |
| 1000                                  | Lesões das vias respiratórias   |
| 1700                                  | Espasmo da laringe  |
| 2500 - 4500                           | Morte após meia hora de exposição   |
| 2500 – 6500                           | Edema pulmonar  |
| 5000                                  | Morte rápida  |

### 2.3 Sulfureto de hidrogénio

O sulfureto de hidrogénio é igualmente um gás, sendo a inalação a via de exposição mais comum [WHO, 2003]. No quadro 5 resumem-se os efeitos na saúde humana a várias concentrações de sulfureto de hidrogénio.

O sulfureto de hidrogénio afecta todos os órgãos, particularmente o sistema nervoso, dependendo a gravidade das implicações da concentração e do período de exposição. A título de exemplo, a exposição a baixas concentrações conduz à irritação dos olhos e das membranas mucosas, enquanto que elevadas concentrações (> 800 ppm) causam morte súbita. Por outro lado, concentrações acima de 150 ppm podem prejudicar o nervo olfactivo de forma que a vítima não é alertada do perigo da exposição [Mandavia, S., 2001].

Em França, o VME para o H<sub>2</sub>S é de 7 mg/m<sup>3</sup>, enquanto que na Alemanha o MAK é de 15 mg/m<sup>3</sup> e nos E.U.A [ATSDR, 1999 – CAS#7783-06-4; IPCS, 2000] os limites de exposição dos trabalhadores são:

- VLE – MP de 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>);
- VLE – CP de 15 ppm (21 mg/m<sup>3</sup>);
- VCP de 50 ppm (70 mg/m<sup>3</sup>).

Segundo a Norma Portuguesa NP1796 (1983) o NAC para o gás H<sub>2</sub>S é de 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>). Por outro lado, [Correia, 2002] recomenda que os trabalhadores não sejam expostos a concentrações de H<sub>2</sub>S superiores a 10 ppm e a 30 ppm para exposições diárias de, respectivamente, 8 horas e de 30 minutos, não devendo ser excedida em qualquer circunstância a concentração de 50 ppm.

<sup>12</sup> Adaptado de Issey, S., 2001 e de ATSDR, 2002.

Quadro 5. Efeito na saúde dos trabalhadores associado à presença de sulfureto de hidrogénio no ar<sup>13</sup>.

| Concentração de H <sub>2</sub> S (ppm <sub>v</sub> ) | Efeito nos seres humanos  |
|--|---|
| 0,1  | Odor detectável   |
| 3  | Odor ofensivo   |
| 10   | Dor de cabeça, náusea, garganta e olhos irritados                 |
| 50   | Danos nos olhos   |
| 100  | Perda de olfacto, conjuntivites, dificuldades respiratórias       |
| 300  | Edema pulmonar  |
| 500  | Forte estimulação nervosa   |
| 500 – 700  | Perda de consciência e possibilidade de morte em 30-60 minutos    |
| 700 – 1000   | Perda de consciência rápida                                       |
| 1000 – 2000  | Colapso respiratório imediato, paralisia, morte em alguns minutos |

## 2.4 Mercaptano de Metilo

O mercaptano de metilo é um gás incolor, inflamável, com um odor característico de couves em decomposição. É, também, um constituinte do corpo humano (encontra-se no sangue, cérebro e noutros tecidos) e ocorre em pequenas quantidades em alguns vegetais (como sejam o alho e a cebola). A ocorrência no ar resulta da sua libertação durante a degradação da matéria orgânica [Mitchell, 2002].

Devido ao seu odor desagradável e ao facto de, a maioria dos seres humanos, detectar o seu odor a muito baixas concentrações (detecção de odor a partir de 0,0016 ppm), o mercaptano de metilo é utilizado para adicionar odor a alguns dos gases inodoros perigosos [Mitchell, 2002].

Em termos ocupacionais, os limites de exposição recomendados são os seguintes [Mitchell, 2002; ATSDR, 1992; OSHA, 2003]:

- VLE – MP de 0,5 ppm (1 mg/m<sup>3</sup>);
- VLE – CP de 10 ppm (20 mg/m<sup>3</sup>), valor que não deve ser excedido em qualquer circunstância;
- VCP de 150 ppm (300 mg/m<sup>3</sup>).

Segundo a Norma Portuguesa NP1796 (1983) o NAC para o gás CH<sub>3</sub>SH é de 0,5 ppm (1 mg/m<sup>3</sup>).

De acordo com [ATSDR, 1992 e Mitchell, 2002] a inalação de mercaptano de metilo está associada a problemas neurológicos e de morte mas não existe informação sobre os limites de concentrações e suas consequências para a saúde.

## 2.5 Resumo dos limites de exposição recomendados para salvaguarda da saúde humana

Os limites de exposição dos trabalhadores às substâncias odoríficas mais frequentemente presentes no ar de uma ETAR – amoníaco, sulfureto de hidrogénio e mercaptano de metilo – são apresentados no quadro 6.

<sup>13</sup> Adaptado de Correia, 2002.

Quadro 6. Valores limite de exposição dos trabalhadores ao NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S e CH<sub>3</sub> SH.

| Composto odorífero      | NAC                  |                     | VLE – CP             |                     | VCP                 |
|-------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
|                         | (mg/m <sup>3</sup> ) | (ppm <sub>v</sub> ) | (mg/m <sup>3</sup> ) | (ppm <sub>v</sub> ) | (ppm <sub>v</sub> ) |
| Amoníaco                | 18                   | 25                  | 24                   | 35                  | 300                 |
| Sulfureto de hidrogénio | 14                   | 10                  | 21                   | 15                  | 50                  |
| Mercaptano de metilo    | 1                    | 0,5                 | 20                   | 10                  | 150                 |

NAC: nível admissível de concentração (NP1796);

VLE – CP: valor limite de exposição por curto período (ATDSR);

VCP: valor de concentração perigosa (ATDSR).

### 3 MINIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ODORES

A concepção das infra-estruturas de colecta e transporte de águas residuais até ao local de tratamento deverá ter em consideração o cumprimento do Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de Agosto<sup>14</sup>. Por outro lado, a libertação de odores nos sistemas de drenagem pode ser limitada através da adição de peróxido de hidrogénio, oxigénio puro ou ar em locais críticos do sistema de drenagem ou de elevação.

No que respeita à minimização da produção de odores na ETAR, há a considerar os aspectos de concepção / dimensionamento e de operação pois, quer o sobredimensionamento quer o sub dimensionamento das operações e dos processos, podem potenciar a formação de odores como resultado, por exemplo, dos tempos de retenção excessivos nos poços de bombagem e tanques de retenção e deposição de sólidos resultando de velocidades baixas. Por outro lado, a produção de odores pode resultar igualmente da sobrecarga orgânica, fornecimento inadequado de ar / oxigénio e ventilação inapropriada dos espaços confinados.

De um modo geral, as velocidades de autolimpeza ( $\geq 0,45$  m/s ao caudal mínimo) devem poder ser garantidas em todos os circuitos hidráulicos por forma a prevenir a deposição de sólidos (U.S. EPA, 1985).

Deverá igualmente, evitar-se a turbulência em qualquer fluxo processual que possa ser séptico ou conter compostos odoríferos. Por exemplo, o retorno de escorrências ao processo de tratamento da fase líquida deve ser introduzido afogado porque as quedas hidráulicas dão origem a trocas líquido – ar, potenciando a volatilização de compostos odoríficos contidos nesses fluxos.

No Quadro 7 indicam-se, resumidamente, alguns dos aspectos associados à concepção e operação de uma ETAR com o objectivo de minimizar a produção e libertação de odores.

<sup>14</sup> Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais.

Quadro 7. Cuidados associados à concepção e operação de ETAR por forma a minimizar a produção dos odores.

| Cuidados / aspectos a reter  | Concepção | Operação |
|--|-----------|----------|
| Seleção do local adequado  | ✓         |          |
| Controlo das descargas de efluentes industriais potencialmente odoríficos  |           | ✓        |
| Redução do tempo de exposição ao ar das lamas não estabilizadas, antes do armazenamento e tratamento   |           | ✓        |
| Minimização do tempo de retenção de lamas no decantador primário, evitando o desenvolvimento de condições sépticas   | ✓         | ✓        |
| Seleção de procedimentos que minimizem as emissões gasosas durante o transporte dos afluentes  | ✓         |          |
| Redução da turbulência nos canais e descarregadores  | ✓         |          |
| Minimização dos circuitos de drenagem (como por exemplo escorrências)  | ✓         |          |
| Compacidade dos órgãos   | ✓         |          |
| Remoção de escumas e sólidos depositados em canais   |           | ✓        |
| Localizar as principais fontes de odores o mais longe possível dos receptores mais sensíveis   | ✓         |          |
| Agrupar as principais fontes de odores, permitindo a optimização das operações de controlo e tratamento  | ✓         |          |
| Prever a utilização do ar viciado de uma área como ar de processo ou de combustão de outra operação do processo, limitando as situações de corrosão conforme a qualidade do ar reutilizado | ✓         |          |

#### 4 CONTROLO DAS EMISSÕES DE ODORES E VENTILAÇÃO

O controlo das emissões de odores inclui a instalação de coberturas, bocas de recolha e equipamento de ventilação para encaminhamento dos gases odoríficos para o respectivo processo de tratamento. Em ETAR, tem sido prática comum a cobertura da obra de entrada, tanques de equalização e, ou homogeneização, decantadores primários, espessadores de lama e restantes instalações de processamento de lamas.

Com o objectivo de otimizar as soluções de tratamento e reduzir os custos de exploração é comum optar-se por sistemas independentes de ventilação para a atmosfera dos órgãos e para a atmosfera das zonas de operação, uma vez que os custos específicos de tratamento são tanto mais elevados quanto menores forem as concentrações de poluentes no ar viciado.

Os volumes de ar viciado a captar e a tratar são função do fluxo mássico associado a cada órgão (quantidade, em massa, de compostos odoríficos libertados por unidade de tempo) estimado de acordo com a expressão (1). O caudal de ar a captar em cada órgão de tratamento pode ser estimado através da expressão (2).

$$F_m = f_{em} \times A \quad (1)$$

$$Q_{ar} = F_m / C_a \quad (2)$$

Onde,

- $F_m$  – fluxo mássico (mg/h)
- $f_{em}$  – factores específicos de emissão (mg/m<sup>2</sup>/h)
- $A$  – área emissora (m<sup>2</sup>)
- $Q_{ar}$  – caudal de ar a captar (m<sup>3</sup>/h)
- $C_a$  – concentração aceitável no ar ambiente (mg/m<sup>3</sup>)

No quadro 8 resumem-se alguns dos factores específicos da emissão associado às várias operações e processos unitários. A concentração aceitável no ar ambiente diz respeito às concentrações a que os trabalhadores podem ser expostos sem prejuízo da sua saúde sendo

normalmente utilizada a concentração em H<sub>2</sub>S, por ser o composto odorífico mais frequente e ao qual estão associados maiores problemas de saúde a menores concentrações. Deste modo, é corrente admitir concentrações abaixo do NAC para o H<sub>2</sub>S (14 mg/m<sup>3</sup> – segundo a NP1796), recorrendo à concentração média de exposição (VME) de 7 mg/m<sup>3</sup>. O caudal de ar a extrair, assim obtido, deverá ser afectado de um factor de segurança, definido conforme o tipo de ventilação e que se apresenta no Quadro 9.

Quadro 8. Resumo dos factores específicos de emissão para vários órgãos de tratamento.

| Órgão  | Factores específicos de emissão<br>(mg / m <sup>2</sup> plano de água / hora) |                  |                    |
|--|---|------------------|--------------------|
|  | NH <sub>3</sub>   | H <sub>2</sub> S | CH <sub>3</sub> SH |
| Desengorduramento                                  |   |                  |                    |
| Espelho de água                                    | 1   | 160              | 2                  |
| Caleira  | 10  | 300              | 20                 |
| Decantação Primária                                |   |                  |                    |
| Espelho de água                                    | -   | 3                | -                  |
| Caleira  | -   | 10               | 0,3                |
| Câmaras de distribuição de caudais                 | -   | 10               | 0,3                |
| Estações elevatórias de lamas primárias            | 10  | 300              | 20                 |
| Espessador   |   |                  |                    |
| Espelho de água                                    | 1   | 160              | 2                  |
| Caleira  | 10  | 300              | 20                 |
| Trasfega de lamas e do conteúdo de fossas sépticas | 10  | 300              | 20                 |
| Edifício de desidratação                           | 1   | 160              | 2                  |

Quadro 9. Factores de segurança associados ao dimensionamento da capacidade de ventilação.

| Tipo de ventilação            | Factor de segurança |
|-------------------------------|---------------------|
| Inclui extracção              | 3                   |
| Inclui insuflação / extracção | 1,5 a 2             |

Em alternativa, o caudal de ar a extrair pode igualmente ser estimado através do número de renovações por hora ( $T_{ren}$ ) e do volume de ar correspondente ao espaço confinado ( $V$ ), segundo a expressão (3). O número de renovações por hora é, normalmente, estabelecido de acordo com a classificação do espaço a ventilar (ver Quadro 10). Este processo de cálculo, é iterativo, por forma a que, admitindo factores de emissão, se garantam os valores de concentração no ar que salvaguardem a saúde dos trabalhadores.

$$Q_{ar} = T_{ren} \times V \quad (3)$$

Quadro 10. Número de renovações por hora segundo o espaço confinado a ventilar.

| Espaço a ventilar                              | N.º de renovações por hora |
|--|----------------------------|
| Zonas onde, regularmente, operam trabalhadores | 8 - 10                     |
| Restantes zonas                                | 2 - 5                      |

## 5 SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO DE ODORES

### 5.1 Considerações gerais

A concepção de instalações de tratamento de odores envolve, normalmente, os seguintes aspectos:

- Caracterização do ar a tratar (fluxo, temperatura, pressão, composição, teor em humidade, matéria particulada, fluidez, compostos presentes, solubilidade, absorvância, combustibilidade);
- Definição do quadro de qualidade relativamente aos gases tratados;
- Avaliação das condições climáticas e atmosféricas locais;
- Selecção das tecnologias de tratamento de odores;
- Concepção e dimensionamento das várias tecnologias equacionadas;
- Avaliação económica de cada uma das tecnologias equacionadas.

Actualmente, as tecnologias com maior aplicação no tratamento de ar nas ETAR são as seguintes:

- Adsorção gás-líquido, no qual se promove o contacto entre o ar e um líquido (água com ou sem aditivos químicos) por forma a que os compostos odoríficos sejam adsorvidos pelo líquido (lavagem química);
- Adsorção gás-sólido, processo similar ao anterior onde o material adsorvente é sólido, com características específicas que garantem a adsorção de compostos gasosos (adsorção em carvão activado);
- Tratamento biológico, processos onde a intervenção de microrganismos é responsável pela remoção dos compostos odoríficos do ar através da sua decomposição e incorporação na biomassa (biofiltros, simples ou humidificados);
- Tratamento térmico, utilização de processos de combustão ou oxidação a elevadas temperaturas por forma a destruir os compostos odoríficos presentes num ar viciado (oxidação térmica, oxidação catalítica e oxidação térmica com recuperação e regeneração).

### 5.2 Caracterização e critérios de dimensionamento

#### 5.2.1 Absorção gás-líquido (lavagem química)

O objectivo das torres de lavagem química é garantir o contacto entre o ar, a água e os químicos (quando utilizados) por forma a que os compostos odoríferos sejam oxidados ou arrastados. As torres de lavagem funcionam, normalmente, em contracorrente (com meio de enchimento e, ou com pulverização fina) sendo constituídas por uma câmara de contacto, um pulverizador de líquido, um sistema de recirculação, um compressor de ar, tubagens e autómatos. O ar a tratar entra na torre de lavagem pela parte inferior e passa através do meio de enchimento onde as partículas do gás entram em contacto com o líquido de lavagem, que é recolhido no fundo da câmara de contacto e é recirculado.

Dependendo do tipo de poluente atmosférico a remover, podem ser utilizados vários tipos de reagentes, cujo consumo pode ser estimado estequiometricamente. Os reagentes que mais frequentemente se utilizam na remoção de odores em ETAR incluem:

- soluções ácidas, por exemplo com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), para neutralização do amoníaco e das aminas;

- soluções oxidantes, por exemplo com hipoclorito de sódio (NaOCl), permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) ou peróxido de hidrogénio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), para absorção dos sulfuretos e mercaptanos;
- soluções básicas, por exemplo com hidróxido de sódio (NaOH), para absorção dos produtos de oxidação e ácidos orgânicos;
- soluções redutoras, por exemplo com Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, para eliminação de cloro residual.

No quadro 11 referem-se os critérios de dimensionamento de torres de lavagem química com meio de enchimento e em contracorrente.

Quadro 11. Critérios de dimensionamento de torres de lavagem química com meio de enchimento e em contracorrente.

| Parâmetro   | Unidade  | Valor              |
|---|--|--------------------|
| Profundidade do meio de enchimento                | m  | 1,8 – 3            |
| Velocidade de passagem máxima                     | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /s  | 2,1                |
| Velocidade de saída nas chaminés                  | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /s  | 5                  |
| Tempo de retenção do gás                          | s  | 1,3 – 2,0          |
| Tempo de contacto mínimo com o meio de enchimento | s  | 1,2                |
| Caudal de recirculação das soluções de lavagem    | m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> de área de coluna                         | 20                 |
| Taxa do líquido de lavagem                        | kg H <sub>2</sub> O / kg ar<br>L/s por m <sup>3</sup> /s de ar             | 1,5 – 2,5<br>2 – 3 |
| Caudal água                                       | L/s por kg H <sub>2</sub> S a pH11<br>L/s por kg H <sub>2</sub> S a pH12,5 | 0,075<br>0,004     |
| pH  | -  | 11 – 12,5          |
| Temperatura                                       | °C   | 15 – 40            |
| Consumo específico de reagentes                   |  |                    |
| Ácido sulfúrico                                   | g / g NH <sub>3</sub>  | 2 – 4              |
| Hipoclorito de sódio                              | g / g H <sub>2</sub> S   | 8 – 10             |
| Permanganato de sódio                             | g / g H <sub>2</sub> S   | 6 – 7              |
| Peróxido de hidrogénio                            | g / g H <sub>2</sub> S   | 1 – 4              |
| Hidróxido de sódio                                | g / g H <sub>2</sub> S   | 2 – 3              |

No quadro 12 resumem-se as eficiências de remoção típicas para estágios únicos de lavagem, sendo no entanto normal o recurso a lavagens sucessivas em série (multiestágios).

Quadro 12. Eficiências da lavagem química com NaOCl na remoção de vários gases odoríferos

| Gás  | Eficiência de remoção estimada (%) |
|--|------------------------------------|
| Amoníaco (NH <sub>3</sub> )                | 98                                 |
| Sulfureto de hidrogénio (H <sub>2</sub> S) | 98                                 |
| Mercaptanos                                | 90                                 |
| Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )      | 95                                 |
| Outros compostos oxidáveis                 | 70 – 90                            |

Por exemplo, num sistema de lavagem química em três estágios, o primeiro estágio funciona como pré-tratamento utilizado para aumentar o pH, para que parte dos gases odoríficos (p.ex. sulfureto de hidrogénio) seja reduzida antes do tratamento com hipoclorito, nos segundo e terceiro estágios.

Para reduzir os problemas de manutenção associados à precipitação é recomendável que a água de processo tenha uma dureza baixa (menos do que 50 mg/L expressa em CaCO<sub>3</sub>).

### 5.2.2 Adsorção gás-sólido

O meio adsorvente utilizado na adsorção gás-sólido pode incluir grânulos de carvão activado (virgem ou quimicamente impregnado), alumina activada, alumínio activado com permanganato de potássio e, ou sílica gel. No entanto, o meio de adsorção mais frequentemente utilizado é, actualmente, o carvão activado.

A taxa de adsorção para diferentes constituintes do ar depende da natureza dos compostos e a remoção continuada de odores, obriga à regeneração ou substituição do carvão, pelo que é comum utilizar a adsorção em carvão activado como a segunda etapa num sistema multietapas de tratamento de gases.

A este tipo de sistema encontram-se associados ventiladores ou compressores, filtros, camas de meio adsorvente (de uma ou mais fases), tubagem resistente à corrosão e os autómatos necessários. O meio de adsorção é regenerado por solubilização à temperatura ambiente, regeneração química no local, ou uso de vapor a elevadas temperaturas numa atmosfera redutora.

### 5.2.3 Tratamento biológico

Os principais processos biológicos usados no tratamento de gases odoríficos incluem:

- **Biofiltros**; constituídos por um sistema de distribuição de ar e um meio de enchimento onde se fixam microrganismos, principalmente bactérias, actinomicetas e fungos. Ocorrem, simultaneamente processos de absorção / adsorção e de bioconversão.
- **Biofiltros humidificados**; idênticos aos biofiltros com a excepção da humidade ser fornecida, em contínuo ou intermitentemente, através da aplicação de um líquido sobre o meio de enchimento (por exemplo pulverização de água residual tratada). Esse líquido é recirculado, prevendo-se, normalmente, a adição de nutrientes.

Em processos de biomassa em suspensão, o reactor de lamas activadas pode igualmente ser utilizado para oxidar o sulfureto de hidrogénio. No entanto, esta operação não é muito utilizada por causa dos problemas de corrosão que lhe está associada.

Os aspectos mais relevantes associados ao dimensionamento dos biofiltros incluem:

- tipo e composição do meio de enchimento.
- sistema para distribuição do gás afluente;
- manutenção da humidade no interior do biofiltro;
- controlo da temperatura.

O meio de enchimento deve ter uma porosidade elevada e ser constituído por partículas de dimensões uniformes, igualmente com elevada área superficial específica [WEF, 1995], reportando-se, normalmente a materiais como o húmus, a turfa e também, a meios sintéticos. A porosidade do húmus e da turfa nos biofiltros é mantida recorrendo a materiais estruturantes, como por exemplo, lascas de madeira, casca de árvore, e uma variedade de materiais cerâmicos e plásticos.

As características físicas óptimas para o meio de enchimento incluem um pH entre 7 e 8, espaço intersticial entre 40 a 80% e um teor em matéria orgânica de 35 a 55%. Quando se usa húmus, deverá adicionar-se periodicamente mais húmus para repor as perdas devido à conversão biológica. A profundidade do leito pode ir até 1,8 m e, dado que a remoção se dá nos primeiros 20% do leito, o uso de leitos mais profundos não é aconselhado [Metcalf&Eddy, 2003].

O sistema de distribuição de gás afluente ao biofiltro inclui tubos perfurados, sistemas de drenagem pré-fabricados e sistema de ventilação. Os tubos perfurados são normalmente colocados sobre uma camada de gravilha e por debaixo do meio de enchimento, dimensionados de modo a assegurar uma distribuição uniforme. Os sistemas de drenagem pré-fabricados permitem o movimento do gás no sentido ascendente através do meio de enchimento e a recolha e drenagem das

escurências. Os sistemas de ventilação equilibram a pressão de ar e garantem que o fluxo ascendente seja uniforme através do meio de enchimento (as dimensões do sistema de ventilação variam normalmente entre 200 a 500 mm).

O ponto crítico da operação de um biofiltro é, normalmente, o controlo e manutenção do teor em humidade no interior do meio filtrante que deverá situar-se entre os 50 e 65%. Os biofiltros operam entre 15 e 45°C, com um óptimo entre os 25 e 35°C.

A dimensão dos biofiltros é normalmente baseada no tempo de residência do gás no leito, na taxa hidráulica por unidade de ar e na capacidade de eliminação dos constituintes. Os parâmetros de dimensionamento e de avaliação do meio de enchimento dos biofiltros são resumidos no Quadro 14 e 15.

Quadro 14. Parâmetros de dimensionamento e avaliação do meio de enchimento dos biofiltros.

| Parâmetro                    | Unidade                           | Equação                             |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Tempo de retenção em vazio   | h                                 | $T_{r\text{vazio}} = Vt / Q$        |
| Tempo de retenção real       | s                                 | $Tr = Vt \times \alpha / Q$         |
| Carga hidráulica superficial | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h | $Ch = Q / A$                        |
| Carga mássica superficial    | kg/m <sup>2</sup> /h              | $Chm = Q \times C_0 / A$            |
| Carga hidráulica volúmica    | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> /h | $Cv = Q / Vt$                       |
| Carga mássica volúmica       | kg/m <sup>3</sup> /h              | $Cvm = Q \times C_0 / Vt$           |
| Eficiência de remoção        | %                                 | $ER = (C_0 - C_e) / C_0 \times 100$ |
| Capacidade de remoção        | g/m <sup>3</sup> /h               | $CR = Q \times (C_0 - C_e) / Vt$    |

Vt – volume total de contacto do meio de enchimento (m<sup>3</sup>); Q – caudal de ar (m<sup>3</sup>/h);  $\alpha$  – porosidade do meio de enchimento do biofiltro; A – área superficial (m<sup>2</sup>); C<sub>0</sub> – concentração do gás afluente (g/m<sup>3</sup>); C<sub>e</sub> – concentração do gás efluente (g/m<sup>3</sup>).

Quadro 15. Parâmetros de dimensionamento para os dois tipos de biofiltros.

| Parâmetro                               | Unidade                           | Biofiltros | Bifiltros humidificados |
|---|-----------------------------------|------------|-------------------------|
| Concentração em oxigénio                | p O <sub>2</sub> /p gás oxidado   | 100        | 100                     |
| Humidade                                |                                   |            |                         |
| Filtro com húmus                        | %                                 | 50 – 65    |                         |
| Filtro com meio sintético               | %                                 | 55 – 65    |                         |
| Temperatura óptima                      | °C                                | 15 – 35    |                         |
| pH                                      | -                                 | 6 – 8      |                         |
| Porosidade                              | %                                 | 35 – 50    |                         |
| Tempo de retenção real                  | s                                 | 30 – 60    |                         |
| Profundidade do meio                    | m                                 | 1 – 1,25   |                         |
| Concentração dos gás odorífero afluente | g/m <sup>3</sup>                  | 0,01 – 0,5 |                         |
| Carga hidráulica superficial            | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h | 10 – 100   |                         |
| Carga hidráulica volúmica               | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> /h | 10 – 100   |                         |
| Taxa de aplicação de líquido            | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> /h |            | 0,75 – 1,25             |
| Capacidade de remoção                   |                                   |            |                         |
| H <sub>2</sub> S (em filtro com húmus)  | g/m <sup>3</sup> /h               | 80 – 100   |                         |
| Outros compostos odoríferos             | g/m <sup>3</sup> /h               | 20 – 100   |                         |
| Pressão máxima                          | mm coluna de água                 | 50 – 100   |                         |

#### 5.2.4 Tratamento térmico

Os processos de tratamento térmico de gases incluem três técnicas:

- oxidação térmica;
- oxidação catalítica;
- oxidação térmica de recuperação e regeneração.

A oxidação térmica envolve um pré-aquecimento dos gases odoríferos antes de os passar para a câmara de combustão para que se possa atingir a combustão completa. A combustão ocorre a temperaturas entre 425 e 760°C. A oxidação térmica é utilizada, mais frequentemente, para fluxos de resíduos (incineração de resíduos). A queima dos gases odoríferos é um processo de combustão térmica relativamente novo e pouco desenvolvido, e, dependendo do projecto das incineradoras, pode ocorrer combustão incompleta devido a variações no fluxo de gás. Para que este método de controlo de odores seja viável, o ar viciado conter cerca de 50% do valor combustível do gás a ser combustado.

A oxidação catalítica é um processo de oxidação sem chama que ocorre entre os 310 e os 425°C na presença de catalizador. Os catalizadores comuns incluem platina, paládio e rubídio. O decréscimo de temperatura quando comparada com a oxidação térmica completa reduz significativamente os requisitos energéticos. No entanto, devido ao agente catalítico poder tornar-se insuficiente, o gás a ser oxidado não deverá conter partículas ou constituintes que venham a produzir um resíduo.

A oxidação térmica recuperativa e regenerativa é utilizada para reduzir o consumo de combustível através do pré-aquecimento do ar afluente e é normalmente aplicada em grandes instalações. No processo recuperativo, a transferência de calor entre o ar de exaustão e o ar afluente é assegurada pelo revestimento das paredes com tubos finos, enquanto que no processo regenerativo, essa transferência é assegurada por um meio de enchimento cerâmico. O óptimo de recuperação de calor é mantido através da deslocação alternada e cíclica dos fluxos de ar de exaustão e ar afluente.

A combustão ou oxidação a elevadas temperaturas do ar a tratar pode ser um processo eficiente na destruição de odores. A instalação de um processo de combustão específico para o tratamento de ar viciado tem-se mostrado dispendiosa.

No quadro 16 resumem-se as principais vantagens e desvantagens associadas aos vários processos de tratamento de odores.

Quadro 16. Vantagens e desvantagens associadas aos processos de tratamento de odores<sup>15</sup>.

| Tecnologia                                | Aplicação  | Factores de custo   | Vantagens   | Desvantagens   |
|---|--|---|---|--|
| Lavagem química com meio de enchimento    | Intensidade dos odores: moderada a elevada; Dimensão da instalação: média a grande | Custos de investimento e O&M moderados  | Eficiente e fiável; período de funcionamento longo            | Deposição final adequada dos produtos químicos utilizados; elevado consumo químico                                   |
| Lavagem química com pulverização fina     | Intensidade dos odores: moderada a elevada; Dimensão da instalação: média a grande | Custos de investimento mais elevados do que nas torres com meio de enchimento                   | Consumo químico reduzido                                      | a água para pulverizar, necessita de ser amaciada; "larger scrub vessel"   |
| Adsorção em carvão activado               | Intensidade dos odores: baixa a moderada; Dimensão da instalação: pequena a grande | A relação custos: eficiência depende da frequência com que o carvão é regenerado ou substituído | Simples; poucas partes móveis                                 | Apenas aplicável a fluxo de ar relativamente diluído; a longevidade do carvão é difícil de prever                    |
| Biofiltração                              | Intensidade dos odores: baixa a moderada; Dimensão da instalação: pequena a grande | Custos de investimento e O&M baixos   | Simples; O&M mínimas  | Crítérios de dimensionamento não estão bem definidos; pode não ser apropriado para odores de intensidade muito forte |
| Oxidação térmica                          | Intensidade dos odores: elevada; Dimensão da instalação: grande                    | Custos de investimento e O&M muito elevados   | Eficiente na remoção de odores e compostos orgânicos voláteis | Apenas económico para grandes fluxos de ar e difíceis de tratar em grandes instalações                               |
| Difusão em reactores de lamelas activadas | Intensidade dos odores: baixa a moderada; Dimensão da instalação: pequena a grande | Solução económica se se puderem utilizar os compressores e difusores de ar existentes           | Simples; O&M mínimas; eficiente                               | Possível corrosão do compressor de ar; pode não ser apropriado para odores de intensidade muito forte                |
| Aplicação de agentes desodorizantes       | Intensidade dos odores: baixa a moderada; Dimensão da instalação: pequena a grande | Os custos dependem da dosagem química   | Baixos custos de investimento                                 | Eficiência de redução de odores limitada (<50%)  |

## 6 CONCLUSÕES

A ocorrência de odores em ETAR tem origem na degradação da matéria orgânica presente nas águas residuais e, ou em descargas de afluentes industriais que contenham compostos odoríferos. Actualmente, o controlo e a limitação da ocorrência de odores constitui uma das maiores preocupações associadas à concepção e dimensionamento da ETAR, por um lado por questões que se relacionam com o impacto ambiental e, por outro, por questões de segurança e saúde quer dos trabalhadores, quer dos visitantes ocasionais.

O controlo de odores é efectuado, na generalidade dos casos, através do recurso a técnicas de adsorção gás-líquido (lavagem química), adsorção gás-sólido (carvão activado), ou biofiltração, por

<sup>15</sup> Adaptado de EPA, 1994.

forma a garantir uma redução significativa das concentrações de amoníaco, sulfureto de hidrogénio e de mercaptano de metilo.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- ATSDR. *Draft toxicological profile for ammonia*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Public Health Science. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, September, 2002.
- ATSDR. *Toxicological profile for methyl mercaptan*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Public Health Science. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, September, 2002.
- ATSDR. *Ammonia – CAS#7664-41-7*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs. Public Health Science, U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, July, 1999.
- ATSDR. *Methyl mercaptan – CAS#74-93-1*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs. Public Health Science, U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, July, 1999.
- ATSDR. *Toxicological profile for hydrogen sulfide*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Public Health Science. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, July, 1999.
- ATSDR. *Hydrogen sulfide – CAS#7783-06-4*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs. Public Health Science, U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, June, 1999.
- Correia, M.. *Sistemas públicos de saneamento de águas residuais urbanas*. IDICT, Lisboa, 2002.
- Degremont. *Memento Technique de L'Eau*. 9ª Ed. Degremont, 1989.
- EPA. *Biosolids and Residuals Management Fact Sheet, Odor control in biosolids Management*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2000.
- EPA. *Guide to Septage Treatment and Disposal*. Chapter 12 Odor Control. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1994.
- EPA. *Design Manual: Odor and Corrosion Control in Sanitary Sewerage Systems and Treatment Plants*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1985.
- IPCS. *Hydrogen sulfide – CAS#7783-06-4*. International Programme on Chemical Safety (IPCS) and European Commission. IPCS. October, 2000.
- Issey, S. and Lang, E.. *Toxicity, Ammonia from Emergency Medicine / Toxicology*. Boston Publishing Corporation, USA. July, 2001. [www.emedicine.com](http://www.emedicine.com)
- Mandavia, S.. *Toxicity, Hydrogen sulfide*. May, 2001. [www.emedicine.com](http://www.emedicine.com)
- Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 4th Ed., McGraw-Hill, Inc., 2003.
- Mitchell, F. L.. *A report on the health consequences of the July, 2001 ATOFINA Incident*. FACOEM. Atlanta, Georgia, May 14, 2002.
- OSHA. *Safety and Health Topics: Ammonia*. U.S. Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration (OSHA), 2003.
- OSHA. *Safety and Health Topics: Methyl Mercaptan*. U.S. Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration (OSHA), 2003.
- Sawyer, Clair N.; McCarty, Perry L.; Parkin, Gene F. (1994). *Chemistry for Environmental Engineering*. 4th Ed., McGraw-Hill, Inc.

WEF/ASCE. *Odor Control in Wastewater Treatment Plants*. Water Environmental Federation (WEF) manual of practice n°22; American Society of Civil Engineers (ASCE) manuals and reports on engineering practice n°82. WEF/ASCE, USA. 1995.

WHO. *Hydrogen sulfide: Human Health Aspects*. Concise International Chemical Assessment Document 53 (cicad53). World Health Association (WHO), Geneva, 2003.